

## Анализ надежности системы теплоснабжения на примере теплосети п. Аэропорт г. Волгограда

*Д.С. Иванов, Т.В. Ефремова*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье дан анализ технического состояния и надежности существующей сети теплоснабжения. Приводятся расчет и оценка общей надежности трубопроводов и источника теплоснабжения. Обосновываются экономические требования для реконструкции существующих трубопроводов.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, надежность системы теплоснабжения, гидравлический расчет, коэффициент надежности, ветхость сети теплоснабжения.

Проблема ветхости трубопроводов тепловых сетей в нынешнее время является одним из главных вопросов обеспечения бесперебойной подачи тепла потребителям. Количество трубопроводов, превысивших свой срок службы, в России находится в диапазоне от 60 до 70% [1]. В г. Волгограде этот показатель стремится к отметке в 90%. Сеть теплоснабжения была заложена еще во времена СССР и большая часть ее трубопроводов не подвергалась реконструкции.

В связи с этим возникла необходимость анализа состояния одной из существующих сетей теплоснабжения. Рассматриваемая сеть территориально располагается в п. Аэропорт г. Волгограда, обеспечивает теплом 29 жилых домов и имеет общую протяженность 1,98 км.

Сеть теплоснабжения введена в эксплуатацию в 1992 г. Установленная мощность котельной составляет 26,75 Гкал/ч, располагаемая мощность составляет 12,28 Гкал/ч, подключенная нагрузка составляет 6,374 Гкал/ч. Схема теплоснабжения – тупиковая двухтрубная, не имеет резервных переемычек. Тепловая энергия используется для обеспечения отопления потребителей. Расчетный расход составляет 342 т/ч с температурным графиком 95-70<sup>o</sup>С. Сортамент трубопроводов варьируется от 32x2,5 мм до

273x5 мм. Скорость подачи теплоносителя по трубопроводу на каждом участке ограничена 3,5 м/с.

Во время проведения анализа технических и эксплуатационных характеристик теплосети, выявлено, что существующая сеть трубопроводов имеет срок службы 29 лет при нормативном значении 25 лет. В отопительный период поступают регулярные жалобы от потребителей на отсутствие отопления или несоответствие параметрам подаваемого теплоносителя, что создает нестабильные микроклиматические показатели у потребителей в холодное время года [2].

Местность для прокладки трубопровода не имеет резких ландшафтных перепадов высот, относится к степным равнинам, подземные грунтовые воды отсутствуют, поэтому влияние рельефа при расчете не учитывается [3].

Для определения устойчивости гидравлического режима трубопровода выполнен поверочный гидравлический расчет [4]. Расчет проведен в соответствии с СП 124.13330.2012 «Тепловые сети».

Потери давления, определенные путем гидравлического расчета, должны обеспечивать невязку параллельных ветвей сети в диапазоне 10% [5].

Анализ гидравлического расчета существующей системы теплоснабжения показал, что действительные диаметры трубопроводов не имеют возможности обеспечить пиковую нагрузку при максимальных расходах горячей воды. В результате увязки магистралей и участков получены потери давления, которые не обеспечивают 10% невязки. На большей части участков показатель невязки магистрали и ответвлений превышает требуемый диапазон в десятки раз: минимальный процент невязки в системе составляет 72%, что превышает требуемый диапазон на 62%. На одном из ответвлений зафиксирован нереально высокий уровень невязки, который составляет 1281747%. Ни один из участков не попадает в

---

требуемый диапазон потерь давления. При таких значениях не обеспечивается стабильный и оптимальный гидравлический режим системы, что вызывает регулярное недовольство потребителей [6].

Надежность системы обеспечения теплоэнергией формируется из надежной работы всех элементов системы теплоснабжения, включая внешние факторы, такие, как: системы электро-, водо-, топливоснабжения - источников производства тепловой энергии [7].

Проводится оценка существующей сети с использованием комплексных показателей надежности, которые учитывают не только состояние трубопроводов системы, но и резервирование других показателей [8].

Опираясь на приказ Минрегиона России «Об утверждении Методических указаний по анализу показателей, используемых для оценки надежности систем теплоснабжения» от 26. 07. 2013г., определены показатели надежности существующей системы теплоснабжения:

а) резервирование электроснабжения источника ( $K_3$ ) - основывается на наличие запасного источника электроэнергии котельной. Принимаем  $K_3=1,0$ . На котельной имеется резервный источник электроэнергии.

б) резервирование водоснабжающих источников ( $K_в$ ) - основывается на наличие запасных источников водоснабжения котельной. Принимаем  $K_в=0,6$ . Котельная не имеет резервного водоснабжения.

в) резервирование топливных ресурсов ( $K_т$ ) - основывается на наличие запасного источника топливоснабжения. Принимаем  $K_т=0,5$ . Отсутствует резервное топливоснабжение.

г) возможность полного обеспечения потребителей тепловой энергией ( $K_6$ ) - процентный показатель тепловой нагрузки, которая не может быть предоставлена потребителю из-за ограниченной производительности котельной и/или недостаточной пропускной способности трубопроводов.

---

Принимаем  $K_6=0,5$ . Система не может обеспечить пиковые нагрузки потребителей.

д) использование закольцовывания системы или применение перемычек ( $K_p$ ) – отношение резервирования тепловой энергии к суммарным расчетным расходам потребителей. Принимаем  $K_p=0,2$ . В системе отсутствует кольцевание, а резервирование путем перемычек не предусмотрено.

е) физическое состояние трубопроводов сети ( $K_c$ ) – доля трубопроводов с истекшим сроком службы или имеющих неудовлетворительное состояние определяется по формуле:

$$K_c = \frac{S_c^{\text{экспл}} - S_c^{\text{ветх}}}{S_c^{\text{экспл}}}, \quad (1)$$

где  $S_c^{\text{экспл}}$  - протяженность тепловых сетей, находящихся в эксплуатации;

$S_c^{\text{ветх}}$  - протяженность ветхих тепловых сетей, находящихся в эксплуатации.

$$K_c = \frac{1,98 - 1,98}{1,98} = 0,$$

ж) интенсивность отказов в системах теплоснабжения:

1) показатель интенсивности отказов тепловых сетей ( $I_{\text{отк.тс}}$ ), намеренный вывод из эксплуатации участков. Ограничение подачи теплоносителя или выполнение ремонтных работ:

$$I_{\text{отк.тс}} = \frac{n_{\text{отк}}}{S}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{отк}}$  - количество отказов за предыдущий год;

$S$  - протяженность тепловой сети (подающий и обратный трубопровод), км.

$$I_{\text{отк.тс}} = \frac{13}{3,96} = 3,96,$$

Коэффициент  $K_{\text{отк.тс}}=0,5$ . Так как количество отказов превышает 1,2.

2) показатель интенсивности отказов теплового источника, намеренный вывод из эксплуатации котельной. Ограничение подачи теплоносителя или

выполнение ремонтных работ ( $I_{\text{отк.ит}}$ ):

$$I_{\text{отк.ит}} = \frac{K_3 + K_B + K_T}{3}, \quad (3)$$
$$I_{\text{отк.ит}} = \frac{1 + 0,6 + 0,5}{3} = 0,7.$$

Принимаем  $K_{\text{отк.ит}}=0,6$ . Так как  $K_{\text{отк.ит}}$  в диапазоне от 0,6 - 1,2 включительно.

з) аварийное ограничение подачи теплоносителя ( $K_{\text{нед}}$ ) связанных с непредвиденным выводом из эксплуатации теплопотребляющих установок потребителей определяется по формуле:

$$Q_{\text{нед}} = \frac{Q_{\text{откл}}}{Q_{\text{факт}} * 100 [\%]}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{откл}}$  - недоотпуск тепла;

$Q_{\text{факт}}$  - фактический отпуск тепла системой теплоснабжения.

$$Q_{\text{нед}} = \frac{80,5}{24739,5 * 100} = 0,3 \%,$$

Принимаем  $K_{\text{нед}}=0,8$ . Недоотпуск находится в диапазоне от 0,1% до 0,3% включительно.

и) наличие персонала обслуживания по ремонту ( $K_{\text{п}}$ ) определяется как отношение реальной численности к численности по действующим нормативам, но не более 1,0.

По данным теплоснабжающей организации принимаем  $K_{\text{п}}=1,0$ . Тепловая сеть обеспечена персоналом в полной мере.

к) оснащенность различными машинами и специальным оборудованием ( $K_{\text{м}}$ ) - отношение фактического наличия к количеству, определенному по нормативам, по основной номенклатуре.

$$K_{\text{м}} = \frac{K_{\text{м}}^f + K_{\text{м}}^n}{n}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{м}}^f$ ,  $K_{\text{м}}^n$  - показатели, относящиеся к данному виду машин, механизмов, оборудования;

$n$  - число показателей, учтенных в числителе.

По данным теплоснабжающей организации принимаем  $K_M=1,0$ . Тепловая сеть обеспечена различными машинами и специальным оборудованием в полной мере.

л) наличие запасных запчастей для ремонтно-восстановительных работ сетей теплоснабжения ( $K_{тр}$ ) по формуле (5). Значения, используемые для расчета  $K_{тр}$ , не должны быть выше 1,0. По данным теплоснабжающей организации принимаем  $K_{тр}=1,0$ . В резерве имеется достаточное количество запчастей.

м) наличие передвижных источников электропитания ( $K_{ист}$ ) для ведения аварийно-восстановительных работ - отношение наличия данного оборудования (кВт) к потребности. По данным теплоснабжающей организации принимаем  $K_{ист}=1,0$ . Количество передвижных источников достаточное.

н) возможность теплоснабжающей организации провести восстановительные работы основывается на показателях:

наличие персонала обслуживания по ремонту;

оснащенность различными машинами и специальным оборудованием;

наличие запасных запчастей для ремонтно-восстановительных работ;

наличие передвижных источников электропитания.

Общий показатель готовности теплоснабжающих организаций к проведению восстановительных работ в системах теплоснабжения к выполнению аварийно-восстановительных работ определяется следующим образом:

$$K_{\text{гот}} = 0,25 \cdot K_{\text{п}} + 0,35 \cdot K_M + 0,3 \cdot K_{\text{тр}} + 0,1 \cdot K_{\text{ист}}, \quad (6)$$

$$K_{\text{гот}} = 0,25 \cdot 1 + 0,35 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 = 1,$$

Результаты определения коэффициентов представлены в табл.1.

Таблица № 1

## Коэффициенты надежности

Кэ	Кв	Кт	Кб	Кр	Кс	Котк.тс	Котк.ит	Кнед	Кп	Км	Ктр	Кист	Кгот
1	0,6	0,5	0,5	0,2	0	0,5	0,6	0,8	1	1	1	1	1

На основе приказа Минрегиона России «Об утверждении Методических указаний по анализу показателей, используемых для оценки надежности систем теплоснабжения» можно сделать вывод, что готовность системы находится в удовлетворительном состоянии, так как  $K_{\text{гот}}$  в диапазоне 0,85 – 1,0;  $K_{\text{п}}$ ,  $K_{\text{м}}$ ,  $K_{\text{тр}}$  в диапазоне 0,75 и более.

Значение  $K_{\text{тс}}$  является среднеарифметическим показателем надежности и имеет значение:

$$K_{\text{тс}} = \frac{K_{\text{э}} + K_{\text{в}} + K_{\text{т}} + K_{\text{б}} + K_{\text{р}} + K_{\text{с}} + K_{\text{отк.тс}} + K_{\text{отк.ит}} + K_{\text{нед}} + K_{\text{п}} + K_{\text{м}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{ист}} + K_{\text{гот}}}{14}, \quad (7)$$

$$K_{\text{тс}} = \frac{1+0,6+0,5+0,5+0,2+0,5+0,6+0,8+1+1+1+1+1}{14} = 0,69.$$

Значение  $K_{\text{тс}} = 0,69$  попадает в диапазон 0,5 – 0,74 и признается как малонадежное.

Общая оценка выводится из наихудшей оценки надежности, что приводит к выводу – система малонадежна.

Общая оценка системы по данным коэффициентам приведена в табл.2.

Таблица № 2

## Общая оценка надежности

Готовность	Оценка надежности	$K_{\text{тс}}$	Надежность ТС	Общ. оценка
удовлетворительно	надежная	0,69	малонадежная	малонадежная

Система трубопроводов теплоснабжения на базе котельной «п. Аэропорт», как и большая часть трубопроводов г. Волгоград, находится в

удручающем состоянии [9]. На рис.1 показаны границы участков сети по результатам оценки надежности участков.

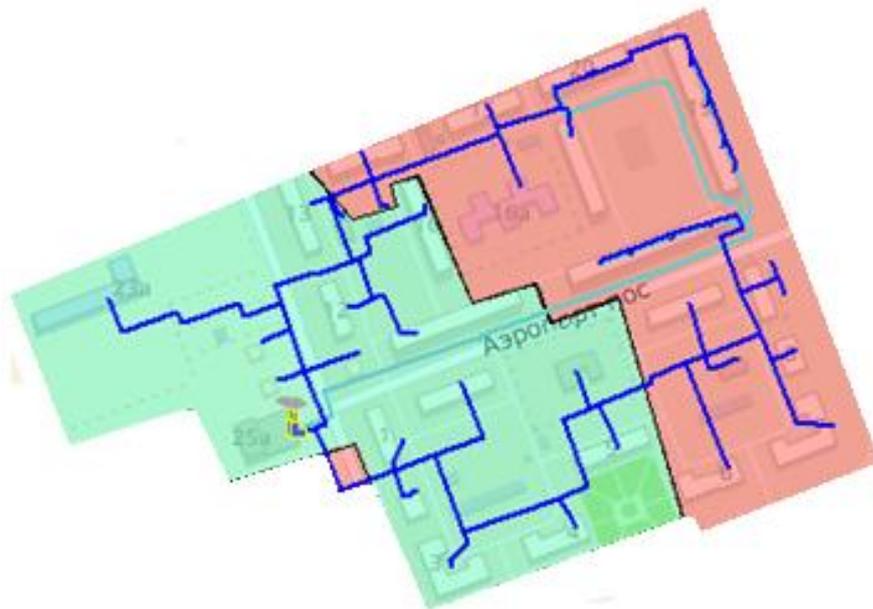


Рис.1. - Зонирование территории поселка по результатам оценки:  
зеленый цвет – зона надежного теплоснабжения, красный цвет – зона  
ненадежного теплоснабжения.

48,3% зоны теплоснабжения котельной следует отнести к категории ненадежной, что связано со следующими причинами:

- 1) высокой средневзвешенной интенсивностью отказов, которая составляет 0,00013479 шт./((км/ч);
- 2) высоким средневзвешенным сроком службы тепловых сетей, который составляет 29 лет;
- 3) исходя из общей оценки надежности сети, она является малонадежной.

Для приведения системы теплоснабжения к соответствию показателям требуется выполнить реконструкцию сети [10].

Стоимость требуемых работ рассчитывается исходя из базовых цен НЦС 81-02-13-2021 от 01.01.2021. Величина необходимых инвестиций в

сфере теплоснабжения на территории п. Аэропорт города Волгоград указана в табл.3.

Таблица № 3

Величина необходимых инвестиций в сфере теплоснабжения п.  
Аэропорт

Диаметр газопровода	Длина, км	Стоимость, тыс. руб.
Перекладка		
до 50 мм	0,381	297,86
70мм	0,373	314,75
80 мм	0,198	176,79
100 мм	0,037	34,23
200 мм	0,363	717,74
250-300 мм	0,650	1917,18
400	0,006	24,52
Итого	1,98	3483,07

В соответствии с разработанной схемой теплоснабжения общий объем финансовых затрат на развитие системы централизованного теплоснабжения п. Аэропорт в 2021-2023 годах составляет 3,484 млн. руб.

На основании проведенного анализа, можно констатировать, что система теплоснабжения п. Аэропорт нуждается в реконструкции. Показатели системы не соответствуют нормам надежности, что приводит к нестабильной работе теплосети и регулярным жалобам от потребителей.

#### Литература

1. Героева А.М., Зильберова И.Ю. Прогнозирование и диагностика технического состояния объектов коммунальной инфраструктуры // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 (часть1). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074).

2. Корчков А.П. Микроклимат помещений // Вестник магистратуры. 2020. №2-1 (101). URL: [cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-pomescheniy](http://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-pomescheniy)
  3. Губанов Н.Н., Иванов В.А., Крымская Е.Я., Есипов В.Е. Влияние внешних факторов на долговечность инженерных подземных коммуникаций // Сервис в России и за рубежом. 2013. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-inzhenernyh-podzemnyh-kommunikatsiy](http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-inzhenernyh-podzemnyh-kommunikatsiy).
  4. Савастиенок А.Я. Оптимизация трубопроводных инженерных сетей гидравлического расчета // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2006. №4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-truboprovodnyh-inzhenernyh-setey-gidravlicheskogo-rascheta](http://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-truboprovodnyh-inzhenernyh-setey-gidravlicheskogo-rascheta).
  5. Дикоп В.В., Бухтияров А.В., Коваленко А.Г., Котов В.В., Кудинов В.А. Исследование гидравлических режимов работы циркуляционной системы ТЭЦ Волжского автомобильного завода на компьютерной модели // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2005. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gidravlicheskih-rezhimov-raboty-tsirkulyatsionnoy-sistemy-tets-volzhskogo-avtomobilnogo-zavoda-na-kompyuternoy-modeli](http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gidravlicheskih-rezhimov-raboty-tsirkulyatsionnoy-sistemy-tets-volzhskogo-avtomobilnogo-zavoda-na-kompyuternoy-modeli).
  6. Бабярз Б. Введение в оценку надежности систем теплоснабжения // Международный журнал сосудов под давлением и трубопроводов, 2006, том №83, выпуск №4. С. 230-235.
  7. Андреев Ю., Греков М., Проскурин В., Новикова О. Надежность и эффективность систем теплоснабжения Ленинградской области // Журнал физики. Актуальные вопросы теплоэнергетики и теплотехники, 2020, серия конференций. 1683 042027. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1683/4/042027](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1683/4/042027).
-

8. Горбунова Т.Г., Ванькова Ю.В., Политова Т.О. Расчет и оценка показателей надежности при проектировании тепловых сетей // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228).

9. Гевлич С.О., Гевлич Д.С., Васильев К.А., Макарова Н.В., Мирзонов М.В. Диагностика тепловых сетей и городских водопроводов // Технические науки – от теории к практике. 2015. №9 (45). URL: [cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-teplovyyh-setey-i-gorodskih-vodoprovodov](http://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-teplovyyh-setey-i-gorodskih-vodoprovodov).

10. Волосатова Т.А. Некоторые вопросы энергоэффективности тепловых сетей в разрезе текущего состояния комплекса ЖКХ России // ИВД. 2013. №4 (27). URL: [cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-energoeffektivnosti-teplovyyh-setey-v-razreze-tekuschego-sostoyaniya-kompleksa-zhkh-rossii](http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-energoeffektivnosti-teplovyyh-setey-v-razreze-tekuschego-sostoyaniya-kompleksa-zhkh-rossii).

#### References

1. Geroyeva A.M., Zil'berova I.YU. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №4 (chast'1). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074).

2. Korchkov A.P. Vestnik magistratury. 2020. №2-1 (101). URL: [cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-pomescheniy](http://cyberleninka.ru/article/n/mikroklimat-pomescheniy).

3. Gubanov N.N., Ivanov V.A., Krymskaya Ye.YA., Yesipov V.Ye. Servis v Rossii i za rubezhom. 2013. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-inzhenernyh-podzemnyh-kommunikatsiy](http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vneshnih-faktorov-na-dolgovechnost-inzhenernyh-podzemnyh-kommunikatsiy).

4. Savastiyenok A.YA. Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG. 2006. №4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-truboprovodnyh-inzhenernyh-setey-gidravlicheskogo-rascheta](http://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-truboprovodnyh-inzhenernyh-setey-gidravlicheskogo-rascheta).

5. Dikop V.V., Bukhtiyarov A.V., Kovalenko A.G., Kotov V.V., Kudinov V.A. Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG. 2005. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/issledovanie](http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie)



gidravlicheskih-rezhimov-raboty-tsirkssistemy-tets-volzhsкого-avtomobilnogo-zavoda-na-kompyuternoy-modeli.

6. Babyarz B. Mezhdunarodnyy zhurnal sosudov pod davleniyem i truboprovodov, 2006, tom №83, vypusk №4. 230-235 p.

7. Andreyev YU., Grekov M., Proskurin V., Novikova O. Zhurnal fiziki. Aktual'nyye voprosy teploenergetiki i teplotekhniki, 2020, seriya konferentsiy. 1683 042027. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1683/4/042027](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1683/4/042027).

8. Gorbunova T.G., Van'kova YU.V., Politova T.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228).

9. Gevlich S.O., Gevlich D.S., Vasil'yev K.A., Makarova N.V., Mirzonov M.V. Tekhnicheskiye nauki – ot teorii k praktike. 2015. №9 (45). URL: [cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-teplovyyh-setey-i-gorodskih-vodoprovodov](http://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-teplovyyh-setey-i-gorodskih-vodoprovodov).

10. Volosatova T.A. IVD. 2013. №4 (27). URL: [cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-energoeffektivnosti-teplovyyh-setey-v-razreze-tekuschego-sostoyaniya-kompleksa-zhkh-rossii](http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-voprosy-energoeffektivnosti-teplovyyh-setey-v-razreze-tekuschego-sostoyaniya-kompleksa-zhkh-rossii).