

## Верификация электронной модели тепловой сети по параметру «эквивалентная абсолютная шероховатость».

*А.Л. Тихомиров, Н.А. Ананьев*

*Донской государственной технической университет г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Приведены результаты математического моделирования зависимости удельного падения давления при движении теплоносителя от эквивалентной абсолютной шероховатости внутренней поверхности стенок трубопроводов.

**Ключевые слова:** электронная модель, гидравлический режим, падение давления, теплоноситель, коэффициент гидравлического трения, эквивалентная абсолютная шероховатость, верификация.

В настоящее время все большую популярность получают разработки электронных моделей систем теплоснабжения на основе BIM и GIS технологий [1-3]. Адекватная электронная модель позволяет решать широкий круг практических задач, а современные программные комплексы с высокой точностью моделировать тепловые и гидравлические режимы систем теплоснабжения. Практическая точность решения зависит в основном от полноты и корректности задания исходных данных.

На гидравлический режим системы теплоснабжения существенное влияние оказывает удельное падение давления в трубопроводе, определяемое уравнением Дарси:

$$R_{\text{л}} = \lambda \frac{\omega^2 \rho}{2d} = 0.812 \lambda \frac{G^2}{d^5 \rho}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

$\omega$  – скорость среды, м/с;

$\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$G$  – массовый расход, кг/с.

Согласно [4] при рабочих скоростях движения теплоносителя в трубопроводах систем теплоснабжения  $Re \rightarrow \infty$  и имеет место квадратичная

зависимость падения давления в трубопроводе от расхода. Эти условия позволяют при определении коэффициента гидравлического трения применить формулу Б.Л. Шифринсона [5]

$$\lambda = 0,11\left(\frac{k_3}{d}\right)^{0,25}, \quad (2)$$

где  $k_3$  – эквивалентная абсолютная шероховатость

Совместное рассмотрение формул (1) и (2) при фиксированном диаметре трубопровода и постоянном расходе теплоносителя приводит к следующей функциональной зависимости

$$R_{\text{л}} = f(k_3)$$

При первоначальном гидравлическом расчете трубопроводов проектировщики оправданно принимают  $k_3$  для новых стальных труб [6,7,8]. Однако в процессе эксплуатации  $k_3$  изменяется в достаточно широких пределах. Причиной этого являются такие факторы, как интенсивность внутренней коррозии металла труб и химический состав транспортируемого теплоносителя. В первом приближении изменение эквивалентной абсолютной шероховатости во времени можно оценить по формуле [9]

$$k_{3t} = k_3 + \delta t,$$

где  $k_3$  – эквивалентная абсолютная шероховатость для новых труб, в начале эксплуатации, мм;

$k_{3t}$  – эквивалентная абсолютная шероховатость через  $t$  лет эксплуатации, мм;

$\delta$  – ежегодный прирост эквивалентной абсолютной шероховатости миллиметров в год, зависящий от физико-химических свойств теплоносителя.

На рис. 1 приводятся результаты численного моделирования работы участка трубопровода диаметром 0,35м, характерном для магистральных теплопроводов, с фиксированным расходом теплоносителя, при последовательном увеличении  $k_3$ .

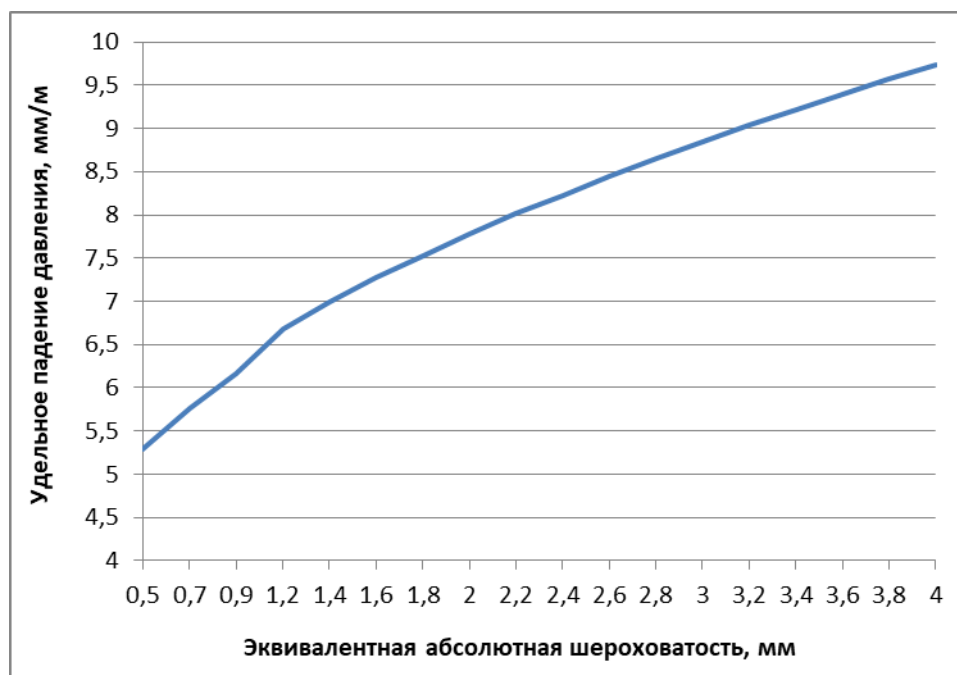


Рис.1. – Зависимость удельного падения давления от эквивалентной абсолютной шероховатости

Как видно из графика, в интервале значений эквивалентной абсолютной шероховатости от 0,5 до 4,0 мм, характерных для эксплуатируемых труб, удельное падение давления возрастает почти вдвое.

Одним из незаменимых инструментов анализа гидравлического режима тепловой сети является пьезометрический график, поскольку графическая интерпретация позволяет одновременно качественно и количественно определить поправки, которые необходимо внести в расчетную модель.

Ниже на рис. приведен совмещенный пьезометрический график для значений эквивалентной абсолютной шероховатости 0,5 и 4,0 мм соответственно

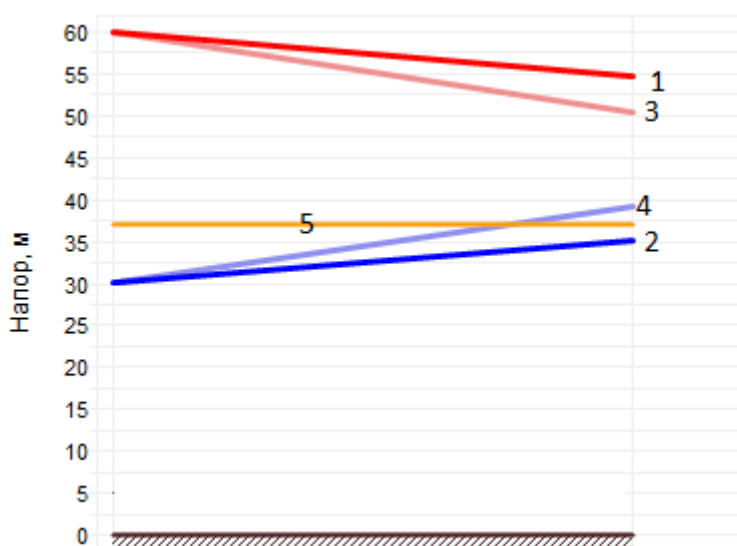


Рис. 2. – Совмещенный пьезометрический график

1,2 – линии падений давлений в подающей и обратной магистрали при  $k_3 = 0,5$  мм

3,4 – линии падений давлений в подающей и обратной магистрали при  $k_3 = 4,0$  мм

5 – линия статического давления

Как правило, при натурных замерах бывших продолжительное время в эксплуатации трубопроводах, фиксируется значительно большее падение напора, чем полученное расчетным путем в электронной модели.

Для обеспечения максимального приближения результатов математического моделирования к фактическим параметрам, определенным в реперных узлах системы теплоснабжения, производится верификация (калибровка) электронной модели [10]. В данном случае калибровка модели заключается в подборе соответствующего значения эквивалентной абсолютной шероховатости [11].



### Литература

1. Серая Е.С., Шеина С.Г., Петров К.С., Матвейко Р.Б. Интеллектуальная городская среда. Интеграция ГИС и BIM. // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_19\\_seraya\\_N.pdf\\_a8101b66f0.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19_seraya_N.pdf_a8101b66f0.pdf)
2. Льянов Д.Р. Использование BIM-технологий для создания энергоэффективного будущего //Инженерный вестник Дона. 2019. №2.URL:[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_109\\_lyanov.pdf\\_91fce9264b.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_109_lyanov.pdf_91fce9264b.pdf)
3. Avsatthi A. Energy modeling: towards energy efficient buildings. // Green modeling. 2014. pp. 17-24.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. 5-е изд. М.: Энергоиздат, 1982. 360 с.
5. Шифринсон Б.Л. Основной расчет тепловых сетей. М.: Госэнергоиздат, 1940. 280 с.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд. - М.: Недра, 1982. 224 с.
7. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
8. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 320 с.
9. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения. 3-е изд. Л.: Стройиздат. Ленинград. отд-ние, 1986. 440 с.
10. Примин О.Г., Громов Г.Н., Степанов Д.Л., Козлова О.В. Калибровка электронной модели системы водоснабжения (на примере

водопроводной сети г. Салавата) // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. - №2. с. 5-12.

11. Savic D.A., Kapelan Z.S., Jonkerguw P. M. R. Quo vadis water distribution model calibration? // Urban Water Journal. 2009. V. 6 № 1. pp. 3-22

### References

1. Seraja E.S., Sheina S.G., Petrov K.S., Matvejko R.B. Inzenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_19\\_seraya\\_N.pdf\\_a8101b66f0.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19_seraya_N.pdf_a8101b66f0.pdf)
2. L'janov D.R. Inzenernyj vestnik Dona. 2019. №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_109\\_lyanov.pdf\\_91fce9264b.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_109_lyanov.pdf_91fce9264b.pdf)
3. Avsatthi A. Energy modeling: towards energy efficient buildings. Green modeling. 2014. pp. 17-24.
4. Sokolov E.Ja. Teplofikacija i teplovyje seti [Heating and heat networks]. 5-e izd. M.: Jenergoizdat, 1982. 360 p.
5. Shifrinson B.L. Osnovnoj raschet teplovyh setej [Basic calculation of heat networks]. M.: Gosjenergoizdat, 1940. 280 p.
6. Al'tshul' A.D. Gidravlicheskie soprotivlenija [Hydraulic resistance]. 2-e izd. M.: Nedra, 1982. 224p.
7. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam [Handbook of hydraulic resistances]. 3-e izd. M.: Mashinostroenie, 1992. 672p.
8. Zinger N.M. Gidravlicheskie i teplovyje rezhimy teplofikacionnyh system [Hydraulic and thermal modes of heating systems]. 2-e izd. M.: Jenergoatomizdat, 1986. 320 p.
9. Kurganov A.M., Fedorov N.F. Gidravlicheskie raschety sistem vodosnabzhenija i vodootvedenija [Hydraulic calculations of water



supply and drainage systems]. 3-e izd. L.: Strojizdat. Leningrad. otd-nie, 1986. 440p.

10. Primin O.G., Gromov G.N., Stepanov D.L., Kozlova O.V. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2018. №2. pp.5-12.

11. Savic D.A., Kapelan Z.S., Jonkerguw P. M. R. Urban Water Journal. 2009. V. 6. № 1. pp. 3-22