

**ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ / OTHER QUESTIONS RELATED TO CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2018.10.3>

Усадский Д.Г.<sup>1</sup>, Цибизова К.А.<sup>2</sup>, Бекларян Д.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доцент, кандидат технических наук, <sup>2,3</sup>студент,  
Волгоградский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БАЛАНСИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

*Аннотация*

Современные методики гидравлического расчёта основаны на определении потерь давления на трение и в местных сопротивлениях. В данной статье представлены графики зависимости динамических потерь от скорости жидкости в трубе.

**Ключевые слова:** гидравлическое сопротивление, система отопления, потери давления, местное сопротивление, коэффициент гидравлического трения, число Рейнольдса, терморегулирующий клапан.

Usadsky D.G.<sup>1</sup>, Tsibizova K.A.<sup>2</sup>, Beklaryan D.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate professor, PhD in Engineering, <sup>2,3</sup>Student,  
Volgograd State Technical University

**INVESTIGATION OF HYDRAULIC OPERATING MODES OF BALANCING DEVICES OF HEATING SYSTEMS**

*Abstract*

Modern methods of hydraulic calculation are based on the determination of frictional pressure loss and local resistance. This article presents graphs of the dependence of dynamic losses on fluid velocity in a pipe.

**Keywords:** hydraulic resistance, heating system, pressure loss, local resistance, coefficient of hydraulic friction, Reynolds number, thermostatic valve.

**Email авторов / Author email:** usadsky@list.ru

Правильный гидравлический расчет определяет работоспособность системы отопления, основанной на следующем правиле: при установившемся движении воды работающая в системе разность давления полностью используется на преодоление гидравлического сопротивления движению. С помощью гидравлического расчета определяются потери давления на участках, рассчитываются оптимальные диаметры труб по участкам ответвления, производят увязку приборов и запорно-регулирующей арматуры сети, оцениваются расходы теплоносителя на участках.

Самый распространенный способ гидравлического расчета – по удельной линейной потере давления. Данный способ заключается в подборе диаметра труб при равных перепадах температур теплоносителя во всех стояках и ветвях, который соответствует расчетному перепаду температуры теплоносителя во всей системе.

Предварительно вычисляют расход воды на каждом участке по формуле:

$$G_{\text{уч}} = \frac{Q_{\text{уч}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot (t_r - t_o)} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{уч}}$  – тепловая нагрузка участка;  $\beta_1$  - поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь(сверх расчетной) приборов, принятых к установке;  $\beta_2$  - поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери вследствие размещения отопительных приборов у наружных ограждений;  $c = 4,187 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – удельная массовая теплоемкость воды.

Потери гидравлического давления в потоке воды вследствие линейных потерь при трении стенки трубы и местных сопротивлений из-за деформации потока в фасонных частях, арматуре и приборах на участке определяют по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p_{\text{уч}} = \frac{\lambda}{d_b} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot l_{\text{уч}} + \sum \xi_{\text{уч}} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = R \cdot l_{\text{уч}} + Z \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения;  $l_{\text{уч}}$  - длина участка, м;  $\sum \xi_{\text{уч}}$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;  $d_b$  - внутренний диаметр трубы, м;  $\rho$  - средняя плотность воды на участке,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $v$  - средняя скорость движения воды на участке, м/с;  $R = \frac{\lambda}{d_b} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$  - удельные потери давления на трение на длине 1м, Па/м;  $Z$  – потери давления на местные сопротивления, Па.

При последовательном соединении участков потери давления в циркуляционном кольце:

$$P = \sum_1^n (Rl + Z) \quad (3)$$

Где  $R$  – удельные потери на трение, Па/м;  $l$  – длина трубопровода расчетного участка, м;  $Z$  – потери давления в местных сопротивлениях, Па. Исходя из экономических требований, значения параметра  $R$  для труб разных производителей имеют диапазон 100...250 Па/м. Соответственно скорость воды — 0,25...0,65 м/с (данные ориентировочны, т.к. зависят от диаметра труб).

Потери давления в местных сопротивлениях  $Z$  зависят от направления движения теплоносителя и изменения его скорости.

$$Z = P_d \cdot \sum \xi = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \cdot \sum \xi \quad (4)$$

Где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке,  $v$  – скорость потока, м/с;  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>.

Местные сопротивления приводят к изменению величины направления скорости движения жидкости на отдельных участках трубопровода, что всегда связано с появлением дополнительных потерь напора.

Основные виды местных потерь напора бывают:

- потери, связанные с изменением сечения потока (расширение, сужение, а так же расширения и сужения потока);
- потери, вызванные изменением направления потока ( колена, отводы, угольники);
- потери, через арматуру различного типа ( вентили, краны, обратные клапаны и т.д.);
- потери, связанные с отделением одной части потока от другой и слияние потоков в один общий (тройники, крестовины и т.д.).

Местные потери напора выражаются в виде эквивалентной длины  $l_3$  прямого участка трубопровода, сопротивление трения которого по величине равно:

$$\lambda \frac{l_3}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса  $Re$ . Число Рейнольдса  $Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu_{ж}}$  – характеризует характер движения жидкости около твердой стенки и определяет соотношение сил инерции и сил вязкости (внутреннего трения) в потоке жидкости;  $\omega$  – скорость движения жидкости, м/с;  $l$  – определяющий геометрический размер, м;  $\nu_{ж}$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с. Первая область малых  $Re$ , лежит в диапазоне

$$4000 < Re < 10 \left( \frac{d}{\Delta_3} \right) \quad (6)$$

Где коэффициент  $\lambda$  не зависит от шероховатости, а определяется числом  $Re$ .

Коэффициент  $\lambda$  определяется по формуле

$$\lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (7)$$

Где  $d$  – внутренний диаметр,  $\Delta_3$  – эквивалентная абсолютная шероховатость

Во второй области, коэффициент  $\lambda$  зависит от числа  $Re$  и относительной шероховатости.

$$\lambda_T = 0,11 \left( \frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (8)$$

Третья область – область больших  $Re$ , где коэффициент  $\lambda$  не зависит от числа  $Re$ , а определяется лишь шероховатостью труб, где  $\lambda$  :

$$\lambda_T = 0,11 \left( \frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Гидравлический расчет по удельной линейной потере давления раскрывает физическую картину распределения сопротивлений в системе, но выполняется с невязками потерь давления в смежных циркуляционных кольцах. Вследствие этого на практике после окончания монтажных работ требуется проводить пусконаладочное регулирование системы во избежание нарушения расчетного распределения воды по отопительным приборам.

В качестве исследования используется регулирующий клапан типа Ra-N. Клапан Ra-N предназначен для применения насосных систем водяного отопления, оснащен встроенным устройством для предварительной настройки  $K_v$  его пропускной способности для клапана DN=15 мм  $K_v=0,04-0,73$  м<sup>3</sup>/ч.

Терморегулирующий клапан Ra-N обладает следующими свойствами:

- имеет достаточно высокое гидравлическое сопротивление в целях обеспечения гидравлической устойчивости всей системы отопления;
- имеет устройств монтажной регулировки пропускной способности, с помощью которого при выполнении наладочных работ производится расчетное распределение теплоносителя по всем отопительным приборам системы.

На основе приведенных выражений и исследуя предварительные настройки терморегулирующего клапана RA-N 15[1], были построены графики. Которые показывают зависимость динамических потерь от скорости в трубе.

Таблица 1 - Зависимость динамических потерь от скорости в трубе для 1 настройки

G, кг/ч	ΔP, кПа	Pд, кПа	V, м/с
4	1	0,0027	0,00647
6	2	0,0060	0,00971
7	3	0,0082	0,01133
10	6	0,0167	0,01619
20	25	0,0666	0,03237
30	60	0,1499	0,04856
40	100	0,2666	0,06474



Таблица 2 - Зависимость динамических потерь от скорости в трубе для 4 настройки

G, кг/ч	ΔP, кПа	Pд, кПа	V, м/с
20	1	0,067	0,03237
30	2,4	0,150	0,04856
40	4	0,267	0,06474
50	6	0,417	0,08093
70	12,5	0,816	0,11330
100	25	1,666	0,16186
200	100	6,664	0,32371



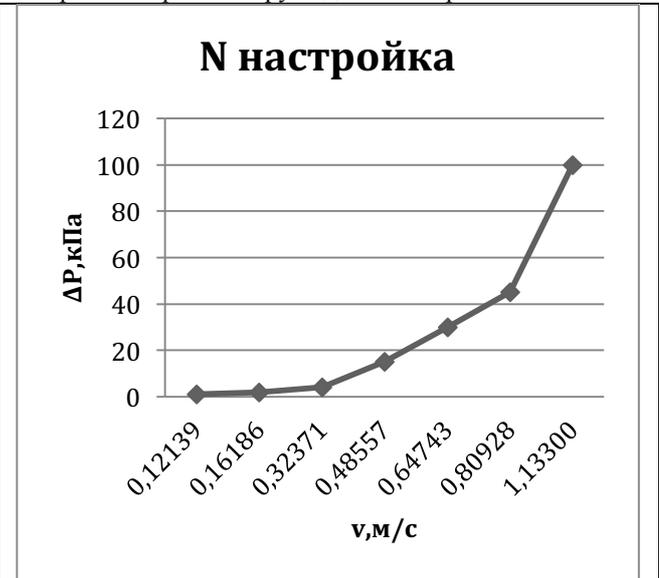
Таблица 3 - Зависимость динамических потерь от скорости в трубе для 6 настройки

G, кг/ч	Rд, кПа	Rд, кПа	V, м/с
40	1	0,267	0,06474
50	1,5	0,417	0,08093
70	3	0,816	0,11330
100	6	1,666	0,16186
200	25	6,664	0,32371
300	60	14,995	0,48557
400	100	26,657	0,64743



Таблица 4 - Зависимость динамических потерь от скорости в трубе для N настройки

G, кг/ч	ΔP, кПа	Rд, кПа	V, м/с
75	1	0,937	0,12139
100	1,8	1,666	0,16186
200	4	6,664	0,32371
300	15	14,995	0,48557
400	30	26,657	0,64743
500	45	41,652	0,80928
700	100	81,638	1,13300



В результате анализа полученных данных можно увидеть, как изменяется динамическое давление в зависимости от скорости в трубе.

Используя предлагаемый способ определения гидравлических сопротивлений, обеспечивается повышение эффективности и точности измерений, а так же возможность в моделировании гидравлических потерь на разных участках системы с различной запорно-регулирующей арматурой.

#### Список литературы / References

1. Паспорт клапаны регулирующие типа RA-N <http://www.logika-consortium.ru/wp-content/uploads/2017/01/Pasport-termoregulyatora-RA-N.pdf> (Дата обращения 31.01.2018)
2. Дьяченко А.С., Руденко Н.Н., Исследование и моделирование динамики потерь тепла, // Инженерный вестник Дона, 2017 №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4105](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4105).
3. Hans U. Fuchs. The Dynamics of Heat: A Unified Approach to Thermodynamics and Heat Transfer. 734 p.
4. Альтшуль А.Д, Киселев П.Г Гидравлика и аэродинамика ( Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975 323с.
5. Скорик Т.А., Галкина Н.И., Василенко А.И., Энергоэффективность присоединения водяного отопления к тепловым сетям, // Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4016](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4016).
6. A. Bhatia. Heat Loss Calculations and Principles ,M04-003 Continuing Education and Devekopment, NY. 52 p.
7. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – К.: ДП «Такі справи», 2010. – 304 с.: ил.

8. Снежко В.Л. Современные способы обработки данных в исследованиях гидравлических сопротивлений турбулентных потоков. Научно-технический вестник Поволжья, 2011, №1 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16313442>
9. Толстова Ю.И., Матвеев В.А. Учет потерь давления в местных сопротивлениях при гидравлическом расчете систем теплоснабжения. Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной). 2015 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24220099>
10. Альтшуль А.Д. Гидравлическое сопротивление. 2-е перераб. И доп. – М. Недра, 1982. – 224 с.
11. Пыркков В.В. Особенности современных систем водяного отопления. 2-е изд., перераб. И доп. – К.: ПДП Таки справи, 2003. – 58 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Passport klapanu reguliruyushchiye tipa RA-N [Passport. Valves Regulating Type of RA-N] <http://www.logika-consortium.ru/wp-content/uploads/2017/01/Passport-termoregulyatora-RA-N.pdf> (Reference date - 31.01.2018) [In Russian]
  2. Dyachenko A.S., Rudenko N.N., Issledovaniye i modelirovaniye dinamiki poter' tepla, [Investigation and Modeling of Dynamics of Heat Losses] // Engineering Bulletin of the Don, 2017 No.2 URL: <http://ivdon.ru/en/magazine/archive/N2y2017/4105> [In Russian]
  3. Hans U. Fuchs. The Dynamics of Heat: A Unified Approach to Thermodynamics and Heat Transfer. 734 p.
  4. Altshul A.D., Kiselev P.G. Gidravlika i aerodinamika ( Osnovy mekhaniki zhidkosti). Uchebnoye posobiye dlya vuzov [Hydraulics and Aerodynamics] (Fundamentals of Fluid Mechanics). Teaching aids for universities] 2<sup>nd</sup> rev. and add. M., Stroizdat, 1975 323p. [In Russian]
  5. Skorik T.A., Galkina N.I., Vasilenko A.I. Energoeffektivnost' prisoyedineniya vodyanogo otopleniya k teplovym setyam [Energy Efficiency of Water Heating, Connection to Heat Networks] // Engineering Bulletin of Don, 2017, No. 1 URL: <http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n1y2017/4016> [In Russian]
  6. A. Bhatia. Heat Loss Calculations and Principles, M04-003 Continuing Education and Devekopment, NY. 52 p.
  7. Pyrkov V.V. Gidravlichekoye regulirovaniye sistem otopleniya i okhlazhdeniya [Hydraulic Control of Heating and Cooling Systems. Theory and Practice] – К.: DP "Таки справи", 2010. - 304 p.:ill. [In Russian]
  8. Snezhko V.L. Sovremennyye sposoby obrabotki dannykh v issledovaniyakh gidravlicheskiykh soprotivleniy turbulentnykh potokov. Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzh'ya [Modern Methods of Data Processing in Studies of Hydraulic Resistances of Turbulent Flows] // Scientific and Technical Herald of the Volga Region, 2011, No.1 URL: <https://library.ru/item.asp?id=16313442> [In Russian]
  9. Tolstova Yu.I., Matveev V.A. Uchet poter' davleniya v mestnykh soprotivleniyakh pri gidravlicheskom raschete sistem teplosnabzheniya [Accounting for Pressure Losses in Local Resistances for Hydraulic Calculation of Heat Supply Systems]. Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference (correspondence). 2015 URL: <https://library.ru/item.asp?id=24220099> [In Russian]
  10. Altshul A.D. Gidravlicheskoye soprotivleniya [Hydraulic Resistance] 2<sup>nd</sup> rev. and add. – M. Nedra, 1982. – 224 p. [In Russian]
  11. Pyrkov V.V. Osobennosti sovremennykh sistem vodyanogo otopleniya [Features of Modern Systems of Water Heating]. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and add. – К.: DP "Таки справи", 2003. – 58 p. [In Russian]
- 
-