

ПРИНЦИП ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С МНОЖЕСТВОМ УЧАСТКОВ

В.И. Щербаков, Х.К. Нгуен

Воронежский государственный технический университет
Московский пр-т, 14, Воронеж, Россия, 394026

Существующие методы гидравлического расчета кольцевых сетей водоснабжения рассматривают в основном магистральные и распределительные линии, не учитывая тупиковые участки. При проектировании водопроводных сетей необходимо учитывать площадь и конфигурацию территории, плотность населения, высоту зданий, нормы водопотребления и другие параметры, влияющие на гидравлический расчет водопроводных сетей. Принцип энергетического эквивалентирования позволяет объединить множество тупиковых участков, обозначив их как фиктивные линии подсистемы, что значительно упрощает всю схему расчета полноразмерной гидравлической системы.

Ключевые слова: планировка, водопроводная сеть, тупиковые участки, энергетическое эквивалентирование

Существующие методы гидравлического расчета для наружных сетей водоснабжения рассматривают только отбор воды в узлах, обеспечивающих необходимый расход, но не всегда обеспечивают требуемый напор воды в диктующих точках. Определение требуемых напоров в узлах зависит не только от гидравлических параметров, но и правильно выбранного расположения сетей в зависимости от планировки города и наличия тупиковых участков.

При развитии новых районов г. Лоди (США) требуется расширение водопроводной сети. На плане города (рис. 1) существующие трубопроводы распределительной сети имеют диаметры 200—250 мм и участки соединены друг с другом по принципу кольцевой водопроводной сети, к которой должны присоединяться проектируемые сети новых районов [4].

Проектируемая часть сети обладает собственными двумя подземными источниками (точки Р), обеспечивающими необходимые расходы и требуемые напоры воды в период максимального водопользования с учетом расходов воды на тушения пожара в диктующем узле. При трехэтажной застройке кварталов проектируемый водопровод обеспечивает напор $h = 14$ м в самой удаленной диктующей точке сети [4].

Водопроводная сеть г. Лоди равномерно распределена по территории города, при этом расстояние от любого дома до распределительного трубопровода составляет не более 200 м.

Планировка квартала г. Хэмилтон (Новая Зеландия), с плотностью населения 1500 чел/км², характерна тем, что улицы соединяются друг с другом в несколько необычной форме (рис. 2). При проектировании оптимальной водопроводной

сети было намечено 12 колец, соединяемых с существующей сетью и множество тупиковых участков. Средняя высота застройки зданий в городе составляет 4—7 м, средняя ширина улиц и обочин — 18—28 м, что позволяет прокладывать трубопроводы открытым способом [3]. Можно отметить, что такое расположение улиц также создает трудности при проектировании водопроводных сетей и потокораспределении воды по участкам сети.



Рис. 1. Проектируемые водопроводные сети г. Лоди
[Projected water supply systems in the city of Lodi]



Рис. 2. Улично-дорожная сеть квартала г. Хэмильтон
[Road network in the city of Hamilton]

Рассматривая различия систем водоснабжения г. Хошимина (Вьетнам) с другими городами и сравнивая известные методы гидравлического расчета сетей, можно заметить некоторые различия, позволяющие определить единый способ расчета водопроводных сетей на основе принципов энергетического эквивалентирования.

Система водоснабжения квартала района Тху Дык (г. Хошимин) характерна для крупных городов Вьетнама, имеющих большую плотность застройки, при

этом площадь улично-дорожной сети составляет только 4—5% (общепринятый стандарт 20%).

Из-за хаотичной застройки квартала без учета перспективы развития коммуникаций водопроводная сеть имеет большое количество тупиковых участков ($\varnothing = 100\text{—}150\text{ мм}$), ответвленных от распределительных сетей на расстояние до 1000 м (рис. 3), что негативно влияет на обеспечение потребителей водой.

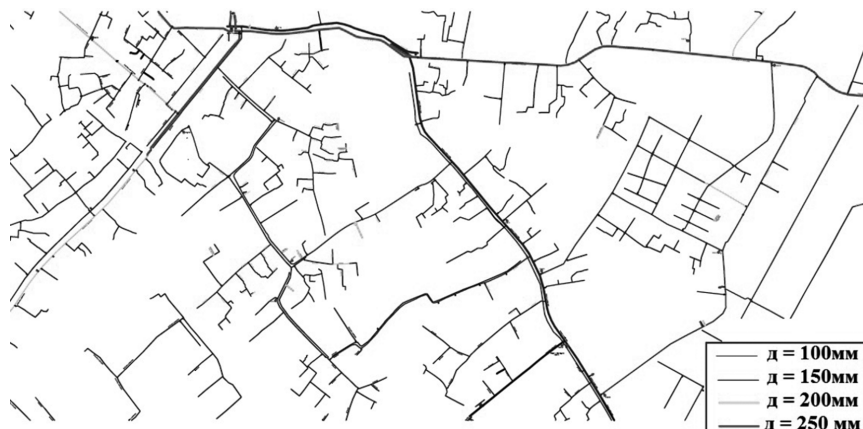


Рис. 3. Водопроводная сеть квартала района Тху Дык (г. Хошимин)
[Water supply network Quarter Thu Duc district in Ho Chi Minh City]

Жилой квартал района Тху Дык г. Хошимин, занимает площадь 6,26 км², где проживает 68 000 человек, а суммарная длина водопроводной сети составляет 79 862 м, при этом количество тупиковых участков с диаметром труб 100—150 мм в сотни раз превышает количество участков кольцевой сети (рис. 4). Для такой сети достаточно сложно выполнить гидравлический расчет по традиционной методике [2].



Рис. 4. Генплан квартала района Тху Дык
[The general plan of the quarter Thu Duc District]

Таким образом, при проектировании водопроводных сетей необходимо учитывать площадь и конфигурацию территории, плотность населения, высоту зданий, нормы водопотребления и другие параметры, влияющие на гидравлический расчет водопроводных сетей (таблица).

Таблица

Необходимые параметры для проектирования сети водоснабжения
[The required parameters for the design of water supply network]

Параметр	Квартал г. Хэмилтон	Квартал г. Лоди	Квартал района Тху Дык г. Хошимин
Площадь, км ²	2	2	2
Плотность населения, чел/км ²	1 500	1 700	10 875
Высота зданий, м	4—7	4—7	4—22
Норма водопотребления, л/сут	224	757	210
Длина тупиковых участков, м	50—250	50—200	50—1 550
Диаметр участков, мм	100—160	200—250	100—150
Минимальный требуемый напор, м	10	13,7	1
Количество колец, шт.	12	18	4
Максимальное расстояние до кольцевой сети, м	130	125	500
Средняя ширина улиц с обочинами, м	18—28	15—25	5—14

Из таблицы видно, что система водоснабжения района Тху Дык находится в наиболее неблагоприятном состоянии. Достаточно сложно управлять такой системой водоснабжения и обеспечивать потребителей водой. Для гидравлического расчета водопроводных сетей в этих агломерациях, необходимо иметь метод расчета, который позволял бы быстро получать реальную картину потокораспределения и давлений на участках сети.

Сравнение существующих методов гидравлического расчета

Предлагается новая модель определения расчетной схемы района. Как видно из рис. 5, к транзитным трубопроводу присоединен фрагмент сети в узле 1 для снабжения водой нескольких потребителей. К этому узлу подключены несколько разветвленных тупиковых участков.

Гидравлический расчет разветвленной водопроводной сети. После трассировки распределительная водопроводная сеть разбивается на расчетные участки. Начало и конец каждого участка нумеруются. Узлы на сети назначаются в точках подключения водоводов от насосной станции и от водонапорной башни, в местах отбора воды крупными водопотребителями и местах пересечений и ответвлений магистральных линий.

Гидравлический расчет разветвленной водопроводной сети, позволяет определить расход и напор воды на тупиковых участках, обозначенных штриховой линией (рис. 6).

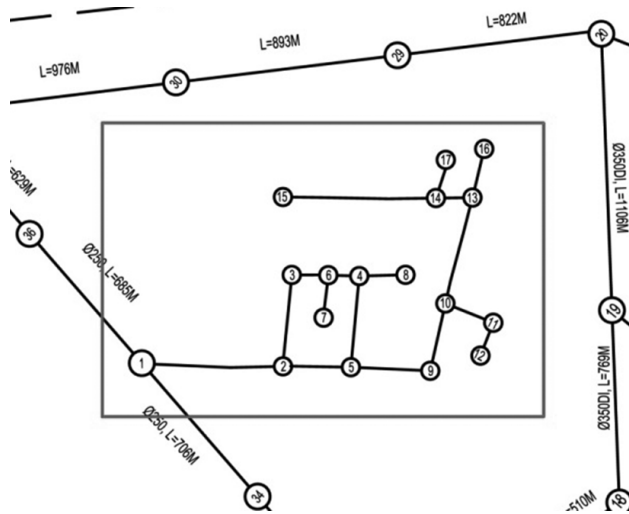


Рис. 5. Схема подключения тупиковой сети
[Wiring diagram for a stub network]

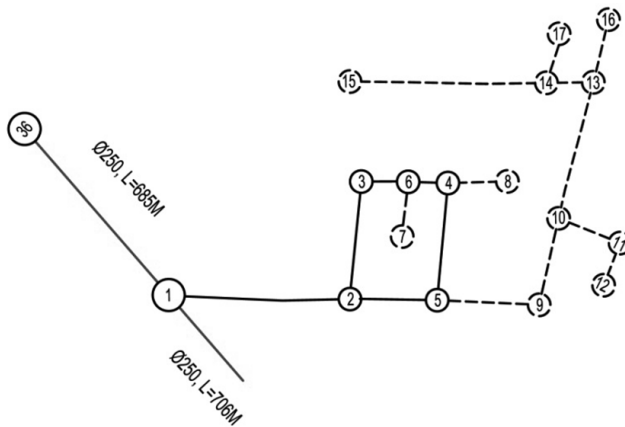


Рис. 6. Расчетная схема разветвленной сети
[A design scheme for a branched network]

Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети. Расчет кольцевых водопроводных сетей для всех колец и узлов сети должен удовлетворять следующим условиям: в каждом узле должен соблюдаться баланс расходов (первый закон Кирхгофа); в каждом кольце и по внешнему контуру сети суммарные потери напора должны быть равны нулю

$$\begin{cases} \sum Q = 0, \\ \sum h = 0. \end{cases} \quad (1)$$

По гидравлическому расчету кольцевой водопроводной сети, можно также определить расход и напор воды на каждом участке кольца, обозначенные штриховой линией на рис. 7.

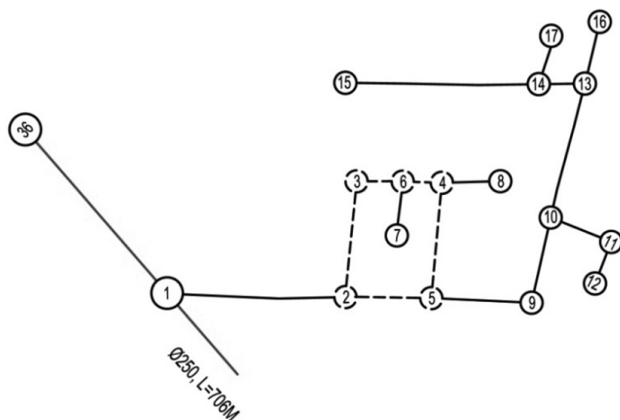


Рис. 7. Расчетная схема кольцевой сети [A design scheme for a ring network]

Совмещая два принципа расчета разветвленной и кольцевой водопроводной сети, возможно суммировать все расходы на ответвленных участках и отнести их к узлу 1 находящемуся на магистральной сети (рис. 8). Обычно потери напора не суммируются как расходы, а считаются как средняя величина для всех тупиковых участков. В таком случае количество расчетных участков на всей сети квартала значительно сокращается, а ко всем узлам магистральной сети присоединяются эквивалентные тупиковым участкам расходы. Предлагается для гидравлического расчета таких сетей использовать принцип энергетического эквивалентирования.

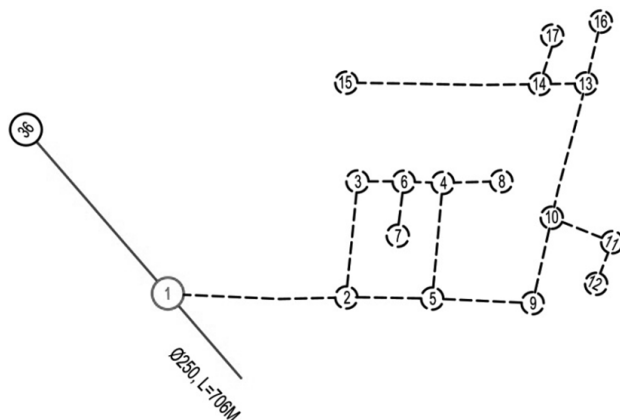


Рис. 8. Схема подключения фиктивных участков к узлу [Wiring diagram for fictitious plots to the node]

Принцип энергетического эквивалентирования. В узлах магистральной сети (энергоузлах) при заданных напорах в исследуемом фрагменте водопроводной сети моделируется невозмущенное состояние расчетной зоны (P3). Формирование полноразмерной гидравлической системы (ПГС) на основе P3 с фиксированными узловыми потенциалами переводит задачу анализа возмущенного состояния в область определения с последующей трансформацией структурного графа ПГС в его аналог — МПГС (модель полноразмерной гидравлической системы), позволяет получить упрощенный вид сети (рис. 9) [1].

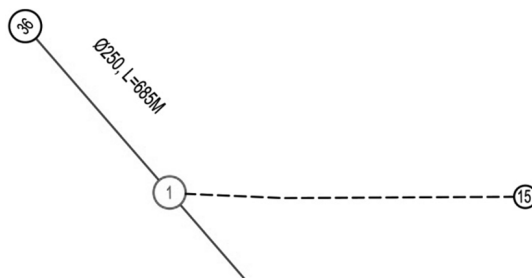


Рис. 9. Расчетная схема эквивалентных участков
[The design scheme is equivalent plots]

Обозначив множество тупиковых участков как фиктивные линии подсистемы, можно значительно упростить всю схему расчета полноразмерной гидравлической системы [4]

$$\sum_{j=1}^{m_z} \sum_{i=1}^{N_{psi}} \int_0^{Q_{ij}} S_{ij} Q_{ij}^{\alpha} dQ_{ij} = \sum_{j=1}^{m_z} \int_0^{Q_{jз}} S_{jз} Q_{jз}^{\alpha} dQ_{jз}, \quad (2)$$

где N_{psi} — множество участков подсистемы, отнесенных к ЭУ j расчетной зоны; S_{ij} , Q_{ij} — коэффициент гидравлического сопротивления и расчетный расход участка i из множества N_{psi} ; $S_{jз}$, $Q_{jз}$ — то же для эквивалентного участка j ; m_z — множество энергоузлов.

Условие (2) устанавливает адекватность подобного преобразования, позволяя определить гидравлические характеристики фиктивных линий, т.е. расходы и потери напора на всех участках системы.

Сравнение планировок жилых кварталов г. Лоди, г. Хэмптон и г. Хошимин позволяет заключить, что кольцевые сети водоснабжения имеют значительное количество примерно однотипных тупиковых участков, что усложняет гидравлический расчет и определение оптимальных параметров потокораспределения при этом обеспечивая требуемый расход и напор непосредственно у потребителей.

Применение принципа энергетического эквивалентирования позволяет упростить гидравлический расчет системы водоснабжения города, имеющего высокую плотность населения и хаотичную застройку, что приводит к совершенствованию управления и сокращению расходов на эксплуатацию водопровода.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Панов М.Я., Левадный А.С., Щербаков В.И., Стогней В.Г. Моделирование, оптимизация и управление системами подачи и распределения воды. Воронеж: ВГАСУ, 2005. 489 с.
- [2] Щербаков В.И., Нгуен Х.К. Модернизация водопроводной сети на основе оптимизации гидравлических параметров при аварии на магистралях // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 115–126.
- [3] Hamilton City Council. A guide to Hamilton's water supply river to the tap [Internet]. New Zealand: Hamilton City Council, 2010. URL: <http://www.hamilton.govt.nz/our-services/water/water/Documents/RIVER%20TO%20TAP%20FOR%20WEB.pdf>. Дата обращения: 23.11.2016.
- [4] Lodi City Council. City of Lodi Water Master Plan [Internet]. California: Lodi City Council, 2012. URL: http://www.lodi.gov/public_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf. Дата обращения: 22.11.2016.

THE ENERGY EQUIVALENCE PRINCIPLE FOR CALCULATION OF WATER SUPPLY NETWORKS WITH MANY AREAS

V.I. Shcherbakov, H.C. Nguyen

Department of the hydraulics, water supply and wastewater disposal
Voronezh State Technical University
Moscow str., 14, Voronezh, Russia, 394026

Existing methods of hydraulic calculation of water supply looped networks is considered mainly transmission and distribution lines, without considering dead-and areas. In the design of water supply systems must take into account the area and configuration of the area, population density, height of buildings, standards of water consumption and other parameters that influence the hydraulic calculation of water supply networks. The principle of energy equivalenting allows to unite a plurality of dead-and areas, designating them as a fictitious line subsystem, which greatly simplifies the calculation of the whole scheme of the full length of the hydraulic system.

Key words: layout, water supply network, dead-and areas, energy equivalenting

REFERENCES

- [1] *Panov M.Ya., Levadnyy A.S., Shcherbakov V.I., Stogney V.G.* Modelirovanie, optimizatsiya i upravlenie sistemami podachi i raspredeleniya vody [Modeling, optimization and control of supply and distribution system water]. Voronezh: VGASU, 2005. 489 p.
- [2] *Shcherbakov V.I., Nguyen H.C.* Modernizatsiya vodoprovodnoi seti na osnove optimizatsii gidravlicheskiikh parametrov pri avarii na magistralyakh [Modernization of Water Supply System Basing on Optimization of Hydraulic Parameters in Case of Accidents on Main Lines]. *Vestnik moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015. № 10. Pp. 115—126.
- [3] Hamilton City Council. A guide to Hamilton's water supply river to the tap [Internet]. New Zealand: Hamilton City Council, 2010. Available from: <http://www.hamilton.govt.nz/our-services/water/water/Documents/RIVER%20TO%20TAP%20FOR%20WEB.pdf>. [cited 2016 Nov 23].
- [4] Lodi City Council. *City of Lodi Water Master Plan* [Internet]. California: Lodi City Council, 2012. Available from: http://www.lodi.gov/public_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf. [cited 2016 Nov 22].