

## БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ И ИХ СРАВНЕНИЕ

*В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
vgnovoseltsev@yandex.ru

### **Аннотация**

Перерасход теплоносителя в отдельных частях системы водяного отопления приводит к недостаточному расходу в других частях системы. Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20–40% тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования. В Республике Беларусь новый норматив, вступивший в действие в сентябре 2020 года, определил область применения балансировочной арматуры в проектируемых системах отопления.

В настоящем исследовании рассматривались варианты наладки двухтрубной тупиковой системы отопления с термостатическими и балансировочными клапанами: увеличение напора насоса для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки; балансировка: а) с увеличением напора насоса, б) пропорциональным или компенсационным методом.

Исследования показали недостатки увеличения напора насоса (или замены существующего на насос с бóльшим напором) для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом. Балансировка пропорциональным или компенсационным методом позволяет получить оптимальные условия работы системы водяного отопления и уменьшить потребление тепловой и электрической энергии, увеличить срок службы циркуляционного насоса.

**Ключевые слова:** система водяного отопления, балансировка, пропорциональный метод, циркуляционный насос.

## **BALANCING OF WATER HEATING SYSTEMS BY VARIOUS METHODS AND THEIR COMPARISON**

*U. G. Navaseltsau, D. V. Navaseltsava*

### **Abstract**

Overspending of the heat carrier in certain parts of the water heating system leads to insufficient consumption in other parts of the system. Balancing the water heating system allows you to save 20-40% of heat, ensure good control of the temperature regime of buildings, long-term operation of equipment. In the Republic of Belarus, a new standard, which came into effect in September 2020, defined the scope of application of balancing valves in designed heating systems.

In this study, we considered options for setting up a two-pipe dead-end heating system with thermostatic and balancing valves: increasing the pump head to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing;

balancing: a) with an increase in the pump head, b) by a proportional or compensation method.

Studies have shown the disadvantages of increasing the pump head (or replacing the existing one with a pump with a large head) to achieve the necessary flow in the elements of the system with insufficient flow without balancing: overheating of other parts of the water heating system and increased consumption of electric energy consumed by the circulation pump. Balancing by the proportional or compensation method allows you to obtain optimal operating conditions for the water heating system and reduce the consumption of heat and electric energy, increase the service life of the circulation pump.

**Keywords:** water heating system, balancing, proportional method, circulation pump.

**Введение.** Основная цель систем отопления – создание теплового комфорта в помещениях при минимуме потребления энергоресурсов. В действительности даже самые современные системы отопления не всегда справляются с этой задачей. Существуют несколько причин отклонений расходов от реальных величин:

1. Ошибки при проектировании, погрешности расчётов.

2. Отклонения от проекта при монтаже, ошибки.

3. Появление дополнительных сопротивлений в системах отопления из-за появления отложений в трубопроводах, нагревательных приборах.

Перерасход теплоносителя в отдельных частях системы водяного отопления приводит к недостаточному расходу в других частях системы. Это значит, что часть помещений будет перегретой, а часть недогретой. Известно, что повышение температуры в помещении выше уровня  $20^{\circ}\text{C}$  на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к перерасходу тепла на 6–10 %, на  $2^{\circ}\text{C}$  – на 15%, на  $3^{\circ}\text{C}$  – более чем на 20%. В средней части Европы каждый градус выше уровня в  $20^{\circ}\text{C}$  увеличивает стоимость тепловой энергии не менее, чем на 8%. Хорошо сбалансированная система снижает как инвестиционные, так и эксплуатационные затраты. Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20-40% тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования [1–3].

Вопросам балансировки и мониторингу работы систем водяного отопления специалистами уделяется достаточно много внимания [1,4–9,11], многие крупные европейские компании, производители оборудования для балансировки предлагают написанную при их содействии литературу для обучения специалистов-наладчиков систем отопления и теплоснабжения [2, 3, 7, 8].

Рассмотрение особенностей балансировки для систем водяного отопления применительно к условиям Республик Беларусь является целью данного исследования.

**Используемые методы балансировки.** Методы балансировки, в основном, основаны на закономерностях распределения потоков в параллельных участках систем водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. В системах отопления широкое распространение получили методы

температурного перепада, предварительной настройки клапанов, пропорциональный, компенсационный, компьютерный.

Метод температурного перепада. Сущность метода заключается в том, что в сбалансированной системе отопления разность температур теплоносителя на входе и выходе всех отопительных приборов должна быть одинаковой. При отклонении расходов теплоносителя в отопительных приборах от расчетных она изменяется. Балансировку осуществляют до требуемого перепада температур теплоносителя настройкой термостатического либо запорно-регулирующего клапана в узле обвязки отопительного прибора. Данный метод балансировки очень не точен. Из-за тепловой инерции системы и здания процедура балансировки требует значительного времени. Несмотря на все недостатки, данный метод является единственно возможным для балансировки теплообменных приборов в пределах стояка либо приборной ветки, если в узлах обвязки этих приборов отсутствуют балансировочные клапаны со штуцерами для отбора импульсов давления теплоносителя.

Метод предварительной настройки клапанов. Метод основан на балансировке по гидравлическому расчету при проектировании системы до ее монтажа. Увязку циркуляционных колец осуществляют настройкой каждого регулирующего и термостатического клапана. У данного метода есть недостаток: он не учитывает отклонения, возникающие при монтаже системы отопления. Кроме того, определение потерь давления в элементах систем является сложной процедурой и не всегда соответствует реальности. Поэтому данный метод, хотя и является основополагающим при проектировании, в то же время не исключает необходимости корректировки настроек клапанов после монтажа системы.

Пропорциональный метод. Пропорциональный метод основан на закономерностях распределения потоков в параллельных участках системы водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. Суть его в том, что вначале достигается одинаковая разбалансировка стояков или ветвей. Затем регулировкой «общего» клапана обеспечивается проектный расход в стояках или ветвях.

На первом этапе балансировки системы водяного отопления для уменьшения потерь давления на перекачивание теплоносителя полностью открывают регулирующие клапаны ветви (стояка). Затем определяют перепад давления  $\Delta P$  и расход  $G$  на каждом клапане. Сопоставляют полученные значения  $G$  с проектными расходами  $G_{пр}$ . У клапана «основного» циркуляционного кольца соотношение  $G/G_{пр}$  будет наименьшим.

Задача второго этапа состоит в обеспечении на остальных клапанах путем их частичного прикрывания примерно такого же отношения  $G/G_{пр}$ , как у клапана «основного» циркуляционного кольца. Равенства этих отношений достигают методом последовательных приближений.

Третий этап является окончательным в балансировке ветви (стояка) системы водяного отопления. Регулировкой «общего» клапана модуля выставляют на нем по перепаду давления  $\Delta P$  проектный расход, т. е.  $G/G_{пр}=1$ .

По закону пропорциональности на всех клапанах модуля установится  $G/G_{пр}=1$ . На этом регулировка ветви (стояка) закончена. Сбалансировав ветви (стояки) таким методом, в конечном итоге, устраняют несоответствие реальных и проектных расходов теплоносителя в циркуляционных кольцах.

Пропорциональный метод балансировки осуществляют один либо два наладчика. Основным недостатком является необходимость многократных измерений и определений для последовательного приближения к необходимому результату [1–3].

Компенсационный метод. Компенсационный метод является усовершенствованием пропорционального метода. Суть метода состоит в том, что регулирующий клапан основного циркуляционного кольца устанавливают на фиксированный перепад давления (обычно 3 кПа). Данный клапан называют опорным или эталонным. Он, как правило, является последним. Все клапаны, подлежащие регулированию, при этом должны быть открыты.

Балансировку выполняют 3 наладчика, что является недостатком данного метода. На протяжении всего процесса балансировки системы необходимо поддерживать на эталонном клапане установленного перепада давления. Один из наладчиков переходит от одного регулирующего клапана к другому после того, как на регулируемом клапане будет достигнут номинальный расход теплоносителя, а на эталонном клапане установлен заданный перепад давления.

Элементы систем отопления для осуществления балансировки. Для осуществления балансировки в современных системах отопления используют балансировочные клапаны, которые делят на две группы:

- 1 - ручные балансировочные клапаны (статические регуляторы);
- 2 - автоматические балансировочные клапаны (динамические регуляторы).

Ручные балансировочные клапаны применяют для гидравлической увязки циркуляционных колец, обеспечивая расчётные расходы теплоносителя на стояках или горизонтальных ветвях любых систем отопления. Все вышеуказанные методы применимы, как правило, для систем (или ветвей) с ручными балансировочными клапанами.

Автоматические балансировочные клапаны предназначены для установки на стояках или горизонтальных ветвях СВО с термостатическими клапанами. Автоматические балансировочные клапаны применяются для поддержания постоянной разности давлений между подающим и обратным трубопроводами регулируемых систем, а также для обеспечения ограничения расхода перемещаемой по трубопроводу среды. Это позволяет термостатическим клапанам функционировать в оптимальном режиме и исключить шумообразование [1, 12, 13].

В Республике Беларусь новый норматив, вступивший в действие в сентябре 2020 года [14] определил область применения балансировочной арматуры в системах отопления. В соответствии с ним (п. 6.4.20) в вертикальной системе на стояках, а в горизонтальной – на ветках следует обеспечивать соответствующими автоматическими балансировочными клапанами один из следующих видов автоматического регулирования параметров теплоносителя:

а) стабилизация перепада давления с или без ограничения максимального расхода теплоносителя в системе с переменным гидравлическим режимом (двухтрубная);

б) стабилизация расхода в системе с постоянным гидравлическим режимом (однотрубная, двухтрубная);

в) ограничение максимального расхода со стабилизацией или с регулировкой температуры теплоносителя на выходе из стояка или ветки в системе с переменным гидравлическим режимом, которая имеет замыкающие или обводные участки в узлах обвязки отопительных приборов.

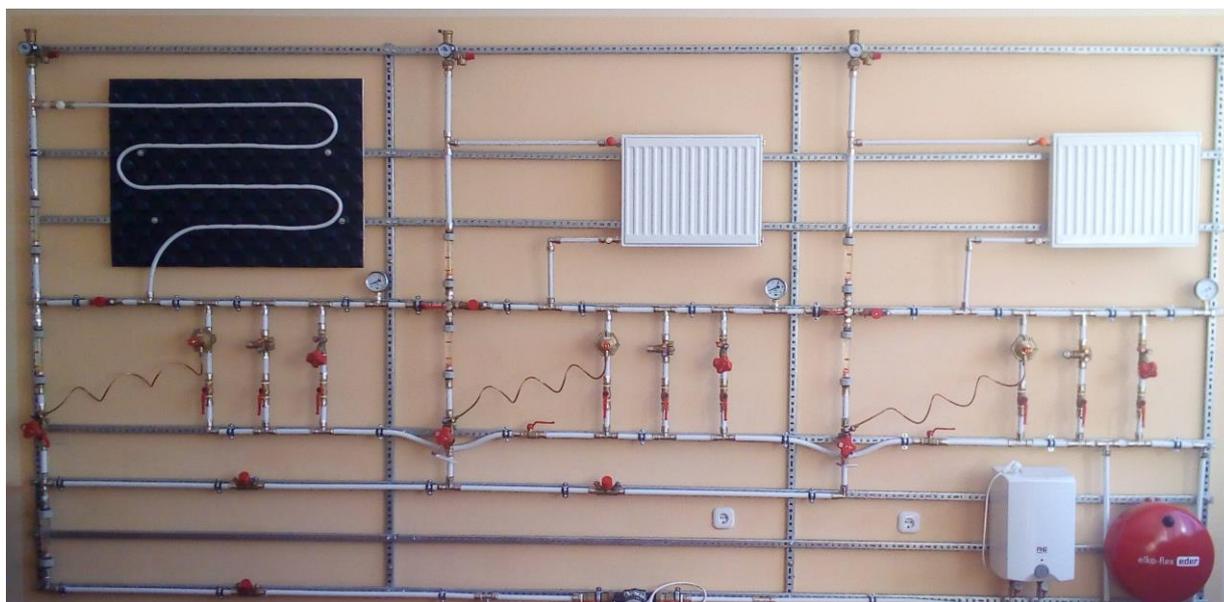
Регулирующую арматуру, указанную в перечислениях а), б), в), разрешается не предусматривать в системах многоквартирного жилого здания или с одной веткой или одним стояком.

Таким образом, область применения систем отопления с ручными балансировочными клапанами в новом строительстве сократилась. Однако большое количество существующих систем отопления либо имеют ручные балансировочные клапаны либо не имеют балансировочной арматуры.

Зачастую для устранения недогрева удалённых частей системы отопления, устанавливается циркуляционный насос с бóльшим напором (или выставляется большая скорость существующего насоса), что может привести к перерасходу в системе отопления тепла и электроэнергии.

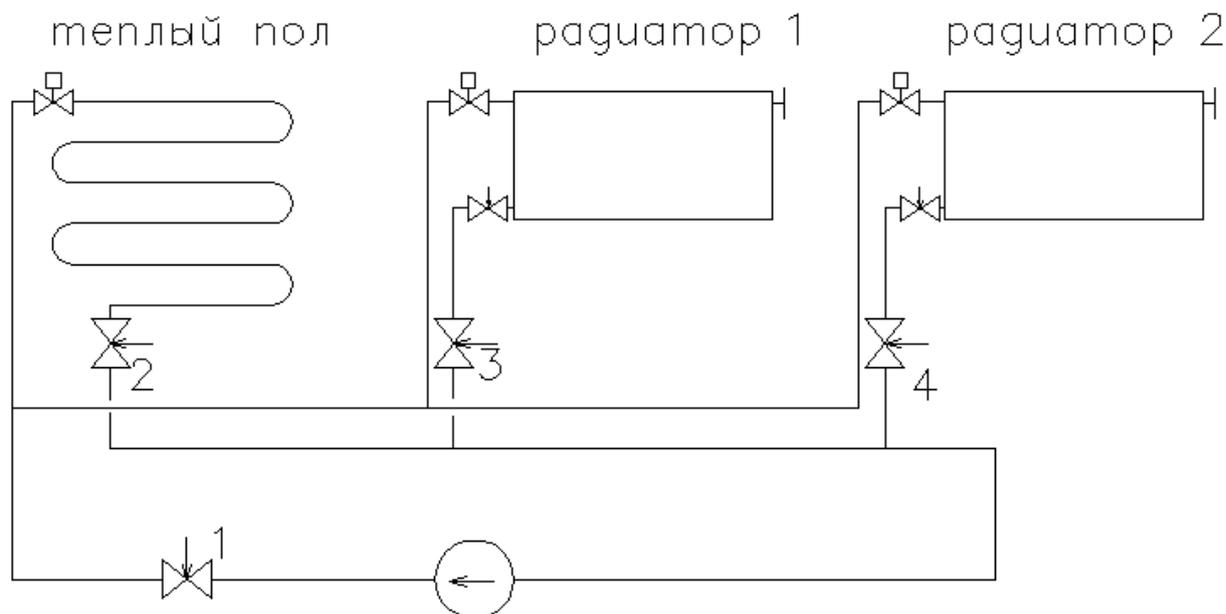
В связи с этим в настоящем исследовании рассматривались варианты балансировки: а) с увеличением напора насоса, б) пропорциональным или компенсационным методом. Для исследования выбрана наиболее применяемая в настоящее время в Республике Беларусь двухтрубная тупиковая система отопления с термостатическими и балансировочными клапанами.

Исследования выполнялись на лабораторном стенде «ГЕРЦ» кафедры теплогасоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета (рисунок 1). Стенд содержит ручные и автоматические балансировочные клапаны и позволяет производить исследования как двухтрубных, так и однотрубных систем отопления. Для определения расходов теплоносителя в контурах используются ротаметры. Для управления насосом ALPHA 3 компании ГРУНДФОСС использовалась программа «Grundfos GO Remote».



**Рисунок 1** – Экспериментальный стенд «ГЕРЦ»

На лабораторном стенде «ГЕРЦ» выполнена балансировка двухтрубной тупиковой системы отопления вышеуказанными методами. Данные по расходам теплоносителя в несбалансированной системе приняты следующие: фактический общий расход теплоносителя – 400 л/ч, проектные расходы: контур теплового пола – 100 л/ч, радиатор 1 – 125 л/ч, радиатор 2 – 175 л/ч.



**Рисунок 2** – Схема балансируемой системы отопления (1–4 – балансировочные клапаны для увязки циркуляционных колец)

### **Методика выполнения исследований.**

Увеличение напора без балансировки и балансировка с увеличением напора насоса

1. Все термостатические и ручные балансировочные клапаны устанавливаются в максимально открытое положение.

2. На насосе в режиме работы «фиксированная скорость вращения» (режим нерегулируемого насоса) устанавливается производительность для достижения проектного расхода в системе, записывается в таблицу данных №1 количество потребляемой электрической энергии насосом и расходы через контур теплого пола и радиаторы, а также общий расход теплоносителя в системе.

3. Постепенным изменением производительности насоса выставляется проектный расход в системе отопления на самом разбалансированном контуре. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

4. Насос настраивается, как указано в пункте 2. Выполняется настройка каждого циркуляционного кольца в отдельности на соответствующий проектный расход при помощи ручных балансировочных клапанов. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

5. Постепенным изменением производительности насоса получают проектный общий расход в системе отопления. Полученные после балансировки данные заносятся в таблицу данных № 1.

#### Балансировка пропорциональным или компенсационным методом

1. Пункты 1 и 2 аналогичны предыдущему эксперименту.

2. При балансировке пропорциональным методом высчитывается соотношение  $G/G_{пр}$  по всем контурам, а затем «основное» циркуляционное кольцо (с наименьшим  $G/G_{пр}$ ). Определяются необходимые расходы, исходя из этого соотношения, и заносятся в таблицу данных № 2. Поочередной регулировкой клапанов на двух контурах, кроме контура «основного» циркуляционного кольца, выставляются полученные расходы. Фактические расходы через контур теплого пола и контуры радиаторов заносятся в таблицу данных № 2.

3. Вариант 1. Регулировкой «общего» балансировочного клапана выставляется в системе отопления проектный расход. Фактические расходы через контур теплого пола и контуры радиаторов заносятся в таблицу данных № 2. Определяется соотношение  $G/G_{пр}$  по всем контурам для оценки полученной погрешности расходов результата балансировки. При этом следует учитывать, что приемлемая невязка по перепаду давления 10...15 %, по расходу 3...4 %.

Вариант 2. Открывается полностью «общий» балансировочный клапан. Постепенным изменением производительности насоса выставляется проектный общий расход в системе отопления.

4. При балансировке компенсационным методом попеременно переходим от регулирующего клапана 4 к клапану 2 после того, как на регулируемом клапане будет достигнут номинальный расход теплоносителя, а при помощи эталонного клапана (или регулировкой насоса) будет установлен заданный расход.

Все полученные данные заносятся в таблицу данных № 2.

**Результаты и обсуждение.** Все экспериментальные данные сведены в таблицу данных № 1.

**Таблица 1** – Таблица данных балансировки с увеличением напора насоса

Характеристика данных	Расход теплоносителя, л/ч				Настройка насоса, % от макс.	Количество потребляемой электрической энергии, Вт
	Общий	контур теплого пола	радиатор 1	радиатор 2		
1	2	3	4	5	6	7
Проектные значения расходов	400	100	125	175	-	-
Фактические значения расходов до балансировки	500	190	165	145	70	19
Увеличение напора без балансировки	605	230	200	175	83	30
<b>Балансировка с увеличением напора насоса</b>						
Настройки балансировочных клапанов	-	0,45	0,6	1,4	-	-
Фактические значения расходов после настройки	350	90	105	155	70	17
Фактические значения расходов после окончания балансировки	400	100	125	175	80	24
<b>Балансировка пропорциональным методом</b>						
Настройки балансировочных клапанов	-	0,6	0,95	4,7	-	-
Фактические значения расходов после окончания балансировки	400	100	125	175	68	16

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение напора насоса без балансировки системы водяного отопления значительно увеличивает расход электроэнергии, потребляемой насосом (в рассматриваемом случае на 37%) и приводит к перегреву несбалансированных контуров (в рассматриваемом случае расходы в контурах увеличились в 1.1–1.2 раза выше необходимых значений).

2. Потребление электрической энергии в системе водяного отопления при балансировке с увеличением напора насоса возрастает (в рассматриваемом случае на 20%). При балансировке пропорциональным или компенсационным методом возможно перейти на более низкую скорость насоса, что уменьшает потребление энергии и увеличивает срок службы насоса. Эти данные согласуются с данными, полученными другими авторами [10].

3. Сравнение количества потребляемой электрической энергии насосом в сбалансированной пропорциональным методом системе водяного отопления по вариантам 1 и 2, а также до балансировки показывает, что регулировка насосом по сравнению с регулировкой общим клапаном имеет преимущество за счет сокращения расхода электроэнергии (в рассматриваемом случае на 16%).

**Заключение.** Исследования показали недостатки увеличения напора насоса (или замены существующего на насос с большим напором) для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом. Балансировка пропорциональным или компенсационным методом позволяет получить оптимальные условия работы системы водяного отопления и уменьшить потребление тепловой и электрической энергии, увеличить срок службы циркуляционного насоса.

#### Список цитированных источников

1. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – Киев, изд. «Такі справи», 2010. – 304 с.
2. Балансировка гидравлических контуров. Издание компании Tour Andersson – 52 с. <https://teplo116.com/images/rekomendacii/balansirovka-gidravlicheskih-konturov.pdf> – Дата доступа : 24.08.2021.
3. Балансировка систем распределения. Издание компании Tour Andersson – 69 с. [https://www.studmed.ru/andersson-tour-balansirovka-sistem-raspredeleniya\\_cd7791fd47b.html](https://www.studmed.ru/andersson-tour-balansirovka-sistem-raspredeleniya_cd7791fd47b.html) – Дата доступа : 24.08.2021.
4. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>
5. Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes/ Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>
6. The use of mechanical ventilation systems with heat recovery to ensure air quality in residential premises/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Vitali Khaletski – E3S Web Conf. Volume 136, 2019, 2019 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913605007>
7. Торреджанни, Р. Балансировка систем отопления и охлаждения. Практическое руководство.– изд. компании Giacomini S.p.A., 2018. – 173 с.
8. Покотилов, В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения. – Вена, 2017. – 228 с.
9. Лебедев, Н. И. Балансировка гидравлических контуров / Н. И. Лебедев // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2004. – № 11. <https://www.c-o-k.ru/articles/balansirovka-gidravlicheskih-konturov> – Дата доступа : 25.08.2021.

10. Фролов, А. М. Предварительный выбор и преднастройка балансировочных вентилей ГЕРЦ / А. М. Фролов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2009. – № 12. <https://www.c-o-k.ru/articles/predvaritel-nyy-vybor-i-prednastroyka-balansirovochnyh-ventiley-gerc> – Дата доступа : 25.08.2021.
11. Махов, Л. М. Гидравлический режим системы водяного отопления / Л. М. Махов, С. М. Усиков // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 1(133). – С. 72-73.
12. Настольная книга проектировщика. Издание компании HERZ Armaturen GmbH – Вена, 2008. – 192 с.
13. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления. – Вена, 2008. – 159с.
14. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.

УДК 621.9.08:004.514.62

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ДОЖДЕВОГО СТОКА НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Д. О. Петров<sup>1</sup>, А. А. Волчек<sup>1</sup>, Н. В. Лапицкая<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, [rolegdo@gmail.com](mailto:rolegdo@gmail.com)

<sup>2</sup> УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, [lapan@bsuir.by](mailto:lapan@bsuir.by)

### **Аннотация**

Представленная работа описывает гидравлические клеточные автоматы и их совместную работу для упрощенного комплексного моделирования движения водных потоков как по цифровой модели урбанизированной территории, так и по связанной с ней модели системы ливневой канализации.

**Ключевые слова:** уравнения мелкой воды, дождевой сток, ливневая канализация, клеточный автомат.

## **SIMULATION OF RAIN RUNOFF TRANSFORMATION IN URBANIZED TERRITORY**

*D. O. Petrov, A. A. Volchak, N. V. Lapitskaya*

### **Abstract**

The presented work describes hydraulic cellular automata and their joint work for a simplified complex modeling of the movement of water flows both on a digital model of an urbanized area and on a related model of a storm sewer system.

**Keywords:** shallow water equations, rain surface runoff, storm sewer system, cellular automaton.

**Введение.** Для урбанизированных территорий становится характерным возникновение внештатных ситуаций, вызванных резким увеличением дождевого стока. Целью представленной работы является разработка упрощенной двумерной модели движения водных потоков по цифровым моделям рельефа (ЦМР)