

УДК 697.132.2

МЕТЕОПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

К.О. Мешик

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь
e-mail: kmeshyk@gmail.com

В статье представлены основные аспекты работы системы отопления с использованием метеоданных, полученных на краткосрочной основе. Изложен анализ температурных данных в пределах отопительного периода с оценкой возможностей адаптации температурных параметров подающего и обратного направления системы отопления. Отражены факторы, позволяющие установить энергетическую и экономическую эффективность реализации данного подхода.

Ключевые слова: система отопления, энергопотребление, теплоноситель, метеопрогностическое регулирование, погодозависимое отопление

METEOPROGNOSTIC OPTIMIZATION OF THE HEATING SYSTEM OPERATION

K. Meshyk

Brest State Technical University, Republic of Belarus
e-mail: kmeshyk@gmail.com

The article presents the main aspects of the operation of the heating system using meteorological data obtained on a short-term basis. The analysis of the temperature data of the heating period with an assessment of the possibilities of adapting the temperature parameters of the supply and return directions of the heating system is presented. The factors that allow to establish the energy and economic efficiency of this approach implementation are reflected.

Keywords: heating system, energy consumption, coolant, meteoroprostic regulation, weather-compensated heating.

Введение. На сегодняшний момент объемы требуемой теплоты для современных условий жизнедеятельности человека закономерно увеличились в связи с глобальным ростом численности населения и производственных нужд. Исчерпаемость используемых энергоресурсов для ее производства является одной из основных причин внедрения энергосберегающих подходов в процессах теплотребления.

В Республике Беларусь за последние пять лет для субсидируемых и всецело возмещаемых экономически обоснованные затраты на оказание жилищно-коммунальных услуг тарифов на тепловую энергию (ТЭСГ и ТЭВВ) сохраняется тенденция роста. Тарифная ставка на ТЭСГ для нужд отопления и горячего водоснабжения увеличилась на 29,06%, ТЭВВ – на 31,49% (см. рисунок 1, 2) [1]. В этой связи необходимость рационализации энергозатрат как на этапе подготовки теплоносителя, так и в процессе эксплуатации систем теплотребления возрастает. Оптимизация уровня энергопотребления с сохранением требуемых условий комфорта для современных систем отопления предполагает разработку и ввод в эксплуатацию средств автоматизированного контроля и управления, целесообразность которых обуславливается высокой степенью изменчивости факторов влияния на параметры микроклимата помещений.

В пределах отопительного сезона температурные колебания внешней среды оказывают существенное воздействие на эффективность теплотребления. Регулирование парамет-

ров теплоносителя с их учетом сокращает объемы затрат на топливно-энергетическое обеспечение. Однако для увеличения степени интенсификации возникает необходимость предопределения закономерностей изменений температуры наружного воздуха, что потенциально увеличивает полную энергоэффективность эксплуатации системы.

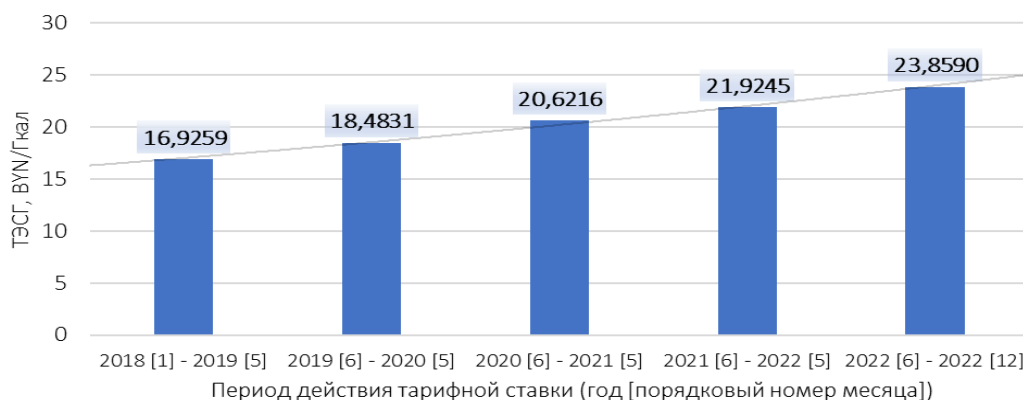


Рисунок 1. – Динамические показатели тарифной ставки на субсидируемую тепловую энергию для нужд отопления и горячего водоснабжения 2018 – 2022 гг.

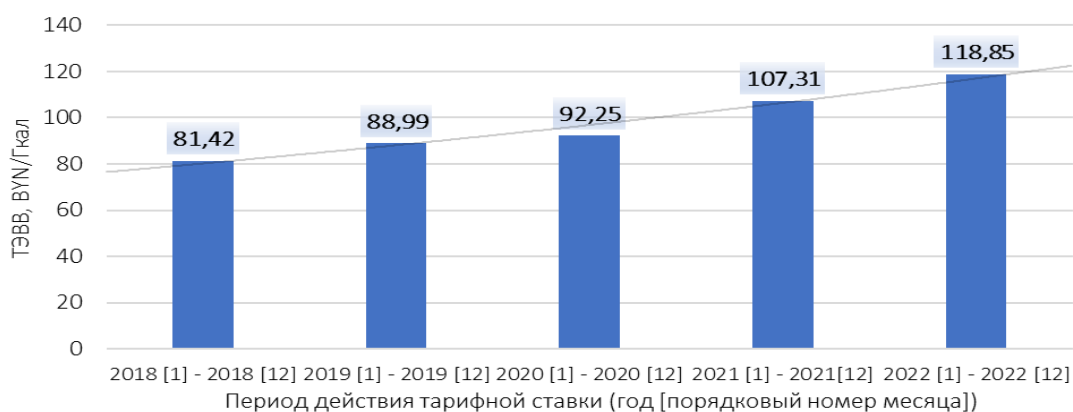


Рисунок 2. – Динамические показатели тарифной ставки на тепловую энергию для нужд отопления и горячего водоснабжения, обеспечивающая полное возмещение экономически обоснованных затрат 2018 – 2022 гг.

Современные решения погодозависимого управления параметрами систем отопления основаны на использовании фактических данных температуры внешней среды, получаемых напрямую со стороны датчиков наружного температурного режима. Эффективность данного подхода в весомой степени наблюдается в рамках индивидуальных объектов эксплуатации, где тепловые потери на транспортировку теплоносителя минимальны. Экономическая целесообразность в большей степени проявляется при использовании электрических теплоагрегатов (до 20% окупаемости в пределах отопительного сезона), так как полезная эксплуатация напрямую зависит от текущей тарифной ставки [2].

Развитие подобного подхода регулирования может достигаться благодаря использованию метеоданных, полученных на краткосрочной основе, для перехода из адаптационного режима управления в предиктивный [3]. Реализация может осуществляться посредством применения алгоритмов удаленной передачи предполагаемых уровней изменения температуры метеоресурсами. Обоснованная динамика обращений выступает в качестве гаранта синхронизации цикла подготовки параметров микроклимата для будущего температурного режима в пространственных пределах объекта эксплуатации. При этом датчики температуры

наружного воздуха могут применяться в качестве точностных регуляторов полученных прогностически температур для выявления закономерностей отклонений реальных показателей от предполагаемых. Теоретическое преимущество метеопрогностического управления параметрами теплоносителя заключается в нивелировании тепловой инерционности объекта эксплуатации, что позволит формировать периоды эффективной реализации аккумулированной теплоты в циклах суточного потепления.

Основная часть. Временной период заблаговременного управления должен включать в себя возможность полного перехода от исходных параметров микроклимата помещений объекта эксплуатации к полученным на предиктивной основе. Исследование проводилось для многоквартирного жилого дома в г. Бресте (географические координаты: 52.054673 СШ, 23.689739 ВД).

Устанавливаемая цикличность определяется из условий полноты реализации теплоносителем функций теплообеспечения во временных пределах интервала обновления получаемых метеоданных. Для рассматриваемого объекта эксплуатации с учетом реальных теплотерь оптимальный интервал обращений к метеоресурсу составил 180 минут, во временных пределах которого учтена тепловая инерционность и период адаптации параметров микроклимата до рассчитанных заблаговременно. В качестве расчетного временного периода используем данные температурного режима наружного воздуха 01.02.2022-28.02.2022 для обозначенных географических координат в пределах оптимального интервала обращений (таблица 1).

Таблица 1. – Результаты мониторинга температурного режима в оптимальном периоде обращений 01.02.2022-28.02.2022, °С

	00:00	03:00	06:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00
01.02.2022	-10,3	-11,2	-12,2	-10,1	-5,7	-6,1	-9,1	-8,8
02.02.2022	-7,9	-6,6	-6	-2,9	0,1	1,5	1,3	1,4
03.02.2022	1,6	1,2	1,2	1,8	2,5	2,4	2,6	2,6
04.02.2022	2,4	2,4	3,3	4,5	-1,1	-1,8	-4,4	-4,5
05.02.2022	-4,6	-5,3	-6,5	-6,3	-3,8	-3,8	-6,2	-8,2
06.02.2022	-8,9	-8,4	-8,3	-8,6	-7,6	-9,3	-12	-13,3
07.02.2022	-14,9	-15,6	-15,2	-13,4	-12	-12	-12,1	-12,3
08.02.2022	-12,3	-11,8	-11,3	-10,4	-9,3	-9	-8,7	-8,2
09.02.2022	-8	-8	-8,1	-7,3	-6	-6	-6,8	-6,9
10.02.2022	-8,1	-8,9	-8,8	-6,5	-5,1	-4,9	-6,7	-7,1
11.02.2022	-7,5	-7,3	-8,2	-8,1	-7,7	-9,1	-10,5	-11,8
12.02.2022	-12,8	-13,2	-13,3	-11,5	-11,5	-10,8	-11	-11,6
13.02.2022	-11,9	-12,4	-12,9	-8,4	-5,1	-3,1	-2,1	-1,7
14.02.2022	-1,8	-2,1	-2,5	-1,5	-0,4	-0,9	-0,9	-0,8
15.02.2022	-2,1	-3,4	-5,9	-3,9	-2,9	-4	-5	-5,8
16.02.2022	-5,9	-5,8	-5,5	-3,8	-2,2	-3,1	-4,8	-5,8
17.02.2022	-5,8	-5,7	-6,5	-5,7	-2,6	-3,5	-5,3	-8,1
18.02.2022	-11,1	-14	-12,7	-9,4	-9,1	-8,2	-11	-11,9
19.02.2022	-14	-14,4	-13,9	-7,3	-2,4	-1,6	-3,2	-2
20.02.2022	-0,1	0,9	1,1	1,9	2,8	2,8	1,3	0,5
21.02.2022	-0,2	-0,2	-0,8	1	5,7	6,5	3,6	1,6
22.02.2022	0,2	-0,6	-1,3	3,5	8,9	8,9	4	0,5
23.02.2022	-1,5	-2,1	-2,1	3,7	8	5,4	1,4	1
24.02.2022	1,8	2,7	3,8	7,2	10,5	11	8,2	6
25.02.2022	5,4	4,4	4	8,6	13,7	13,6	8,9	6,8
26.02.2022	5,4	4,4	3,8	9,1	10,5	6	4,4	3,7
27.02.2022	4,1	3,7	3,9	5,4	7,5	6,7	4,4	2,5
28.02.2022	0,6	-0,3	0,1	2,1	6,3	2,9	3,8	3,4

В результате анализа температурных данных в пределах 180 минут установлено 119 колебаний в диапазоне от 0 °С до 1 °С, 51 колебание – от 1 °С до 2 °С, 24 колебания – от 2 °С до 3 °С, 12 колебаний – от 3 °С до 4 °С, 12 колебаний – от 4 °С до 5 °С, 5 колебаний – от 5 °С до 6 °С и 1 колебание – от 6 °С до 7 °С. Минимальное отклонение составило 0 °С, максимальное – 6,6 °С.

Температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы отопления при метеопрогностически определенной температуре наружного воздуха можно представить в следующем виде:

$$T_n = T_{вп} + 0,5 \cdot (T_{пр} - T_{ор}) \cdot q + 0,5 \cdot (T_{пр} + T_{ор} - 2 \cdot T_{вп}) \cdot q^{1+n}, \quad (1)$$

$$T_o = T_{вп} - 0,5 \cdot (T_{пр} - T_{ор}) \cdot q + 0,5 \cdot (T_{пр} + T_{ор} - 2 \cdot T_{вп}) \cdot q^{1+n}, \quad (2)$$

где $T_{вп}$ – температура внутри здания, °С;

$T_{пр}$ – температура воды в подающем трубопроводе при минимальной температуре наружного воздуха, °С;

$T_{ор}$ – температура воды в обратном трубопроводе при минимальной температуре наружного воздуха, °С;

n – показатель нелинейности теплоотдачи приборов отопления;

q – относительный тепловой поток.

Все представленные параметры, за исключением относительного теплового потока, являются проектными значениями системы отопления. Для того, чтобы определить относительный тепловой поток q , как составляющую температуры теплоносителя, воспользуемся следующей формулой:

$$q = \frac{T_{вп} - T_n}{T_{вп} - T_{нр}}, \quad (2)$$

где T_n – прогнозируемая в оптимальном диапазоне температура воздуха, °С

$T_{нр}$ – минимальная температура наружного воздуха, °С.

Результаты скорректированных температур теплоносителя в рамках подающего и обратного трубопроводов с привязкой к температурному режиму наружного воздуха во временных пределах февраля 2022 года для г. Бреста представлены в табличном виде (таблица 2). Пиковая экономия энергоресурсов в сравнении с нерегулируемой системой, где температура теплоносителя в подающем трубопроводе составляет 90 °С, в обратном трубопроводе – 70 °С, составляет 53,67% (25.02.2022). Однако такой случай не отражает реальное управление системой, поскольку в пределах отопительного сезона целесообразно видоизменять график температуры теплоносителя в рамках планируемого долгосрочного потепления.

В рамках модуля коррекции, устанавливаемого в соответствии с пятиградусными отклонениями температуры наружного воздуха в динамике ближайших 48 часов по среднесуточным изменениям (см. таблицу 3), средняя экономия за февраль составила 23,44 %. При этом график тепловой нагрузки трансформировался 8 раз в течение месяца.

Сравнение экономии подготовки теплоносителя в рамках метеопрогностического и погодозависимого подхода для многоквартирного жилого дома трудновыполнимо, так как необходимо с высокой степенью точности учитывать тепловую инерционность объекта. На основе имеющихся данных погодозависимая автоматика на 5-10 % требует больше затрат в процессе подготовки теплоносителя [4].

В рамках исследования разработан программный модуль, в рамках которого реализован функционал удаленного получения метеоданных, предоставляемых со стороны API Яндекс.Погоды [5] с заданной периодичностью обновления в 180 минут. Проработана возможность установления географических координат объекта эксплуатации и получения данных о температуре наружного воздуха в рамках конкретной территориальной области (рисунок 3).

Таблица 2. – Температуры теплоносителя в моменты времени адаптации в рамках метеопрогностического подхода 01.02.2022-28.02.2022, °С

01.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	73,70	75,11	76,67	73,39	66,34	66,99	71,81	71,33
$T_o, ^\circ\text{C}$	59,19	60,14	61,19	58,98	54,19	54,63	57,91	57,59
02.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	69,89	67,80	66,83	61,73	56,65	54,22	54,57	54,40
$T_o, ^\circ\text{C}$	56,61	55,19	54,52	51,01	47,47	45,76	46,01	45,88
03.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	54,05	54,74	54,74	53,70	52,46	52,64	52,29	52,29
$T_o, ^\circ\text{C}$	45,64	46,13	46,13	45,39	44,51	44,64	44,39	44,39
04.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	52,64	52,64	51,04	48,88	58,70	59,88	64,21	64,38
$T_o, ^\circ\text{C}$	44,64	44,64	43,50	41,95	48,90	49,73	52,73	52,84
05.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	64,54	65,69	67,64	67,32	63,22	63,22	67,16	70,37
$T_o, ^\circ\text{C}$	52,95	53,74	55,08	54,86	52,05	52,05	54,75	56,94
06.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	71,49	70,69	70,53	71,01	69,41	72,12	76,36	78,38
$T_o, ^\circ\text{C}$	57,69	57,15	57,05	57,37	56,29	58,12	60,98	62,32
07.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	80,83	81,90	81,29	78,53	76,36	76,36	76,52	76,83
$T_o, ^\circ\text{C}$	63,96	64,67	64,26	62,43	60,98	60,98	61,08	61,29
08.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	76,83	76,05	75,27	73,86	72,12	71,65	71,17	70,37
$T_o, ^\circ\text{C}$	61,29	60,77	60,24	59,30	58,12	57,80	57,48	56,94
09.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	70,05	70,05	70,21	68,93	66,83	66,83	68,13	68,29
$T_o, ^\circ\text{C}$	56,72	56,72	56,83	55,96	54,52	54,52	55,41	55,52
10.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	70,21	71,49	71,33	67,64	65,36	65,04	67,96	68,61
$T_o, ^\circ\text{C}$	56,83	57,69	57,59	55,08	53,52	53,29	55,30	55,74
11.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	69,25	68,93	70,37	70,21	69,57	71,81	74,02	76,05
$T_o, ^\circ\text{C}$	56,18	55,96	56,94	56,83	56,39	57,91	59,40	60,77
12.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	77,60	78,22	78,38	75,58	75,58	74,49	74,80	75,74
$T_o, ^\circ\text{C}$	61,81	62,22	62,32	60,45	60,45	59,72	59,93	60,56
13.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	76,21	76,98	77,76	70,69	65,36	62,06	60,39	59,72
$T_o, ^\circ\text{C}$	60,87	61,39	61,91	57,15	53,52	51,24	50,08	49,61
14.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	59,88	60,39	61,06	59,38	57,51	58,36	58,36	58,19
$T_o, ^\circ\text{C}$	49,73	50,08	50,55	49,38	48,07	48,67	48,67	48,55
15.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	60,39	62,56	66,67	63,39	61,73	63,56	65,20	66,51
$T_o, ^\circ\text{C}$	50,08	51,59	54,41	52,16	51,01	52,27	53,41	54,30
16.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	66,67	66,51	66,02	63,22	60,56	62,06	64,87	66,51
$T_o, ^\circ\text{C}$	54,41	54,30	53,97	52,05	50,20	51,24	53,18	54,30
17.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	66,51	66,34	67,64	66,34	61,23	62,73	65,69	70,21
$T_o, ^\circ\text{C}$	54,30	54,19	55,08	54,19	50,66	51,70	53,74	56,83
18.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	74,96	79,45	77,45	72,28	71,81	70,37	74,80	76,21
$T_o, ^\circ\text{C}$	60,03	63,04	61,70	58,23	57,91	56,94	59,93	60,87

Окончание таблицы 2.

19.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	79,45	80,07	79,30	68,93	60,89	59,55	62,23	60,22
$T_o, ^\circ\text{C}$	63,04	63,45	62,94	55,96	50,43	49,50	51,36	49,96
20.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	56,99	55,27	54,92	53,52	51,93	51,93	54,57	55,96
$T_o, ^\circ\text{C}$	47,71	46,50	46,25	45,26	44,14	44,14	46,01	46,98
21.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	57,16	57,16	58,19	55,09	46,67	45,18	50,50	54,05
$T_o, ^\circ\text{C}$	47,83	47,83	48,55	46,37	40,37	39,28	43,12	45,64
22.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	56,48	57,85	59,04	50,68	40,57	40,57	49,78	55,96
$T_o, ^\circ\text{C}$	47,35	48,31	49,14	43,25	35,91	35,91	42,60	46,98
23.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	59,38	60,39	60,39	50,32	42,33	47,23	54,40	55,09
$T_o, ^\circ\text{C}$	49,38	50,08	50,08	42,99	37,20	40,77	45,88	46,37
24.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	53,70	52,11	50,14	43,86	37,37	36,34	41,94	46,12
$T_o, ^\circ\text{C}$	45,39	44,26	42,86	38,32	33,52	32,75	36,91	39,96
25.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	47,23	49,06	49,78	41,16	30,47	30,70	40,57	44,62
$T_o, ^\circ\text{C}$	40,77	42,08	42,60	36,34	28,27	28,45	35,91	38,87
26.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	47,23	49,06	50,14	40,18	37,37	46,12	49,06	50,32
$T_o, ^\circ\text{C}$	40,77	42,08	42,86	35,62	33,52	39,96	42,08	42,99
27.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	49,60	50,32	49,96	47,23	43,29	44,81	49,06	52,46
$T_o, ^\circ\text{C}$	42,47	42,99	42,73	40,77	37,90	39,01	42,08	44,51
28.02.2022	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
$T_n, ^\circ\text{C}$	55,79	57,34	56,65	53,17	45,56	51,75	50,14	50,86
$T_o, ^\circ\text{C}$	46,86	47,95	47,47	45,01	39,56	44,01	42,86	43,37

Таблица 3. – Скорректированные значения температур теплоносителя для г. Бреста

$T_n, ^\circ\text{C}$	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
$q, \text{ед.}$	1,10	0,97	0,85	0,72	0,59	0,46	0,33	0,21
$T_n, ^\circ\text{C}$	95,9	88,5	81,0	73,2	65,2	56,8	48,0	38,4
$T_o, ^\circ\text{C}$	73,8	69,0	64,1	58,9	53,4	47,6	41,3	34,3

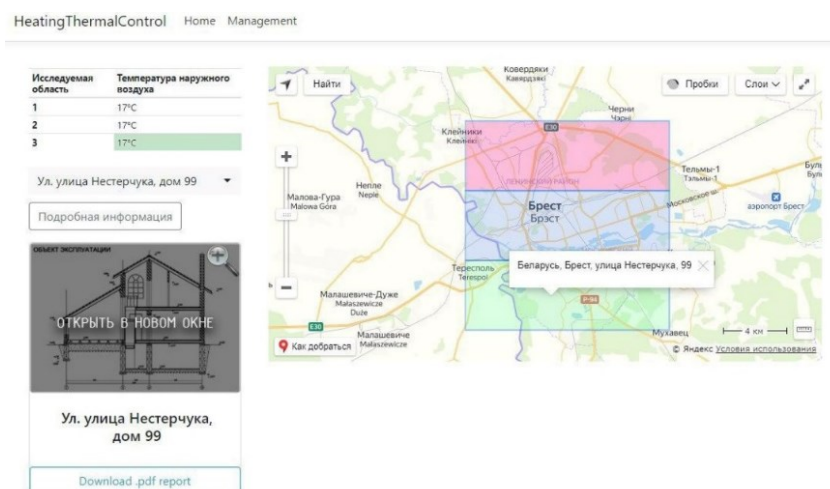
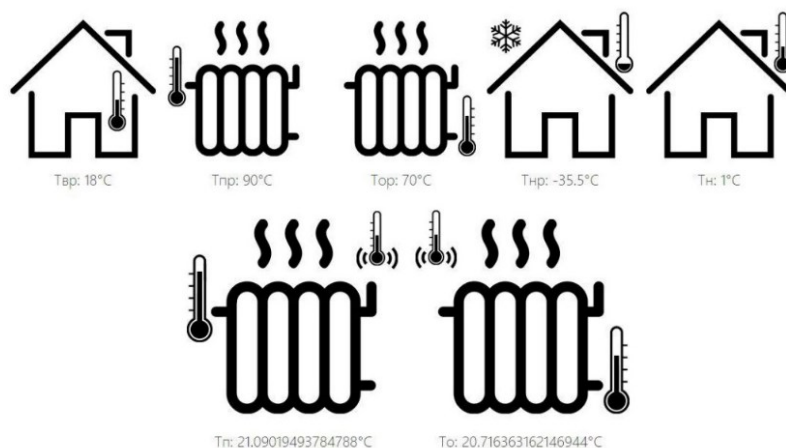


Рисунок 3. – Программный модуль метеопрогностического управления системой отопления (начало, окончание – С. 143)



© 2020 - HeatingThermalControl

Рисунок 3. – Окончание.

В процессе тестирования установлена точность прогностически получаемых температурных значений в пределах 95%. Данный показатель напрямую влияет на энергетическую эффективность регулирования.

Заключение. Текущие результаты исследования обосновывают нивелирование тепловой инерционности отопительной системы, что способствует улучшению экономического эффекта при эксплуатации систем умного управления отоплением с учетом температурных параметров внешней среды. В дальнейшем предполагается обоснование корреляционной взаимосвязи внешней температуры, осадков и ветровой нагрузки с целью более глубокой оптимизации систем отопления посредством применения метеопрогностической концепции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарифы в Беларуси. Действующие тарифы / 2022 Тарифы в Беларуси [электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <http://www.tarify.by>. – Дата доступа: 15.04.2022.
2. Галюжин, С. Д. Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов / С. Д. Галюжин, Н. В. Лобикова, О. М. Лобикова // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С. 88–101.
3. Dounis A.I. and Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* – 2009. – №13(7). – P. 1246-1261.
4. Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В. С. Северянин, К. О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 74–77.
5. API Яндекс.Погоды. Документация / API Яндекс.Погоды [электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://yandex.ru/dev/weather/doc/dg/concepts/about.html>. – Дата доступа: 15.04.2022.