

УДК 697.547

## ВЫБОР БАЗИСНОГО ПЕРИОДА ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Д-р техн. наук А. М. Тарадай, канд. техн. наук А. В. Гвоздецкий,  
асп. С. В. Фомич (ХНУСА)

## ВИБІР БАЗИСНОГО ПЕРІОДУ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ

Д-р техн. наук О. М. Тарадай, канд. техн. наук О. В. Гвоздецький,  
асп. С.В. Фоміч (ХНУБА)

## CHOICE OF BASE PERIOD FOR STATISTICAL DESIGN OF UNEVENNESS OF WATER CONSUMPTION

Dr. sc. sciences O.M. Taraday, phd. tehn. O.V. Gvozdetskiy, pg. S.V. Fomich

*Приведены статистические данные по расходу горячей воды на нужды жилых микрорайонов от котельной. Проведено исследование фактических показателей работы системы централизованного горячего водоснабжения. Проведено статистическое моделирование неравномерности потребления горячей воды. В результате исследования установлено, что снижение расхода в системе горячего водоснабжения в летний период года составляет 20 % по сравнению с зимним периодом года и увеличение расхода горячей воды в выходные дни по сравнению с рабочими днями возрастает до 15 %.*

**Ключевые слова:** базисный период, система горячего водоснабжения, логическая фильтрация, статистическое моделирование, неравномерность водопотребления.

*Наведено статистичні дані витрат гарячої води на потреби житлових мікрорайонів від котельної. Досліджено фактичні показники роботи системи централізованого гарячого водопостачання. Проведено статистичне моделювання нерівномірності споживання гарячої води. У результаті дослідження встановлено, що зниження витрати в системі гарячого водопостачання в літній період року становить 20 % порівняно із зимовим і збільшення витрати гарячої води у вихідні дні порівняно з робочими днями зростає до 15 %.*

**Ключові слова:** базисний період, система гарячого водопостачання, логічна фільтрація, статистичне моделювання, нерівномірність водоспоживання.

*We collected statistical data on the expense of hot water on the needs of dwellings microregions, from a boiler room. A study of actual indexes of work of the centralized hot water system is undertaken. In the process of research an array treated from 79000 sentinel indexes, an integral method is create an array from 3300 daily allowance values and an array is formed 470 a week's values for further treatment. In general complication an analysis plugged in itself treatment more than 600000 separate values and indexes. We are conduct the statistical design of unevenness of consumption of hot water. Approximating functions are certain a least squares method for every separate array of data. It is set as a result of research, that a decline of expense the hot water system in a summer period of year is 20 % as compared to the winter period of year, and the increase of expense of hot water at the weekend, as compared to working days, increases to 15 %.*

**Keywords:** base period, hot water system, logical filtration, statistical design, unevenness of water consumption.

**Введение.** Система горячего водоснабжения предназначена для удовлетворения гигиенических и бытовых нужд потребителей. Неравномерность потребления горячей воды приводит к неравномерности тепловой нагрузки системы горячего водоснабжения в течение суток и дней недели, что в свою очередь приводит к изменению расхода теплоносителя в тепловых сетях и на абонентских вводах потребителя [1, 2]. При расчетах абонентских вводов ориентируются на соотношение нагрузок систем отопления и горячего водоснабжения. Если расчетное значение отличается от фактического, то у потребителя наблюдается отклонение температур воздуха внутри помещений. Проведенные исследования позволят уточнить данные о расходах и нагрузках систем горячего водоснабжения, а также баланс нагрузок систем отопления и горячего водоснабжения у потребителей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы, связанные с работоспособностью систем горячего водоснабжения, – одно из направлений работы системы теплоснабжения в целом [3–7]. В течении 2003–2017 годов проведены приборные измерения расходов горячей и холодной воды. По итогам собранной информации водопотребления после ее обработки сделан вывод, что общее водопотребление холодной и горячей воды на одного человека за 2003 год составляет  $9,8 \div 10,6 \text{ м}^3/\text{чел}$ . Расходы воды на одного человека за 2016–2017 годы снизились на  $30 \div 35 \%$  по сравнению с 2003 годом [8, 9]. Значительный рост цены на тепловую энергию приводит к частичной децентрализации систем горячего водоснабжения. Происходит снижение расходов централизованного горячего водоснабжения жилым фондом. Рассматривая сегодняшнюю ситуацию можно сделать вывод, что расчетная тепловая нагрузка системы горячего

водоснабжения будет выше фактической за счет децентрализации систем горячего водоснабжения и экономии потребления горячей воды потребителем, связанного с платежеспособностью населения. Вопрос снижения водопотребления горячей воды влияет на планирование расхода топлива на источнике теплоснабжения.

**Определение цели и задачи исследования.** Определить характерные периоды водопотребления жилых микрорайонов централизованного горячего водоснабжения путем статистического моделирования неравномерности водопотребления, методом наименьших квадратов определить аппроксимирующие функции для каждого отдельного массива данных. Получить процентное соотношение увеличения или уменьшения водопотребления по дням недели и периоду года [10, 11].

**Основная часть исследования.** С целью определения наиболее характерных (базисных) периодов водопотребления по каждому из районов централизованного горячего водоснабжения было проведено исследование фактических показателей работы существующих систем централизованного горячего водоснабжения (ГВС). В процессе исследования был обработан массив из 79000 часовых показателей, интегральным методом создан массив из 3300 суточных значений и сформирован массив 470 недельных значений для дальнейшей обработки. В общей сложности анализ включал в себя обработку более чем 600000 отдельных значений и показателей. Тип, марка приборов, применяемых для измерения расходов горячей воды, приведены в табл. 1.

Для выявления основных показателей и особенностей водопотребления было выполнено статистическое моделирование неравномерности потребления горячей воды.

Анализ выполнялся в два основных этапа.

Таблица 1

## Перечень приборов учета, используемых при исследовании

Котельная	Приборы учета	
	горячей воды	холодной воды на нужды ГВС
Василия Сергиенко, 7	Двухканальный ультразвуковой тепловосчетчик СВТУ-10М (М1) производства ООО "Фирма СЕМПАЛ Ко ЛТД" (Киев)	Расходомерный комплекс ИРКА производства ООО НПП "Водомер" (Харьков)
	Расходомерный участок Ду-500 – на трубопроводе подачи ГВС потребителю ( $Q_{min} = 71 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_t = 141 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_{max} = 7100 \text{ м}^3/\text{ч}$ )	Расходомерный участок Ду-250 ( $Q_{min} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_t = 31,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_{max} = 1870 \text{ м}^3/\text{ч}$ )
	Расходомерный участок Ду-250 – на циркуляционном трубопроводе ГВСот потребителя ( $Q_{min} = 18 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_t = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; $Q_{max} = 1800 \text{ м}^3/\text{ч}$ )	Пределы допускаемой относительной погрешности теплосчетчика при измерении объема (массы) теплоносителя составляют, в интервалах диапазона: от $Q_{min}$ (включительно) до $Q_t - \pm 3 \%$ ; от $Q_t$ (включительно) до $Q_{max} - \pm 1 \%$
	Пределы допускаемой относительной погрешности теплосчетчика при измерении объема (массы) теплоносителя составляют, в интервалах диапазона: от $Q_{min}$ (включительно) до $Q_t - \pm 3 \%$ ; от $Q_t$ (включительно) до $Q_{max} - \pm 1 \%$	

*Первый* – логическая фильтрация для исключения из выборки данных «аномальных» результатов. Таким образом, были исключены из дальнейшего рассмотрения все «недели», имеющие особенности технологического происхождения (полная или частичная

остановка подачи горячей воды, внештатные и аварийные ситуации на источниках теплоснабжения, тепловых сетях и др.).

В результате логической фильтрации массивы данных были сокращены в среднем на 28 % (табл. 2).

Таблица 2

## Результат логической фильтрации данных

Котельная	Данные от котельной		
	Исходное количество элементов массива	Конечное количество элементов массива	Процент сокращения данных
ул. Василия Сергиенко, 7	156	113	72

Второй – определение «базисного» периода методом наименьших квадратов.

Массив недельных данных, сформированный в результате логической фильтрации, был разделен на две группы по показателю «средняя температура

холодной воды за неделю» и приведен в табл. 3. Данное разделение характеризует особенности режимов работы системы ГВС в отопительный и неотопительный периоды.

Таблица 3

Разделение массива данных по критерию « $t_{х.в.}$ »

Котельная	Данные от котельной	
	Массив данных с $t_{х.в.} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Массив данных с $t_{х.в.} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
ул. Василя Сергиенко, 7	48	65

Используя полученные массивы данных, были построены графики по критериям зависимости показателей «Удельный расход горячей воды», т/Гкал, от фактической температуры холодной воды,  $^{\circ}\text{C}$ . Методом наименьших квадратов определены аппроксимирующие функции для каждого отдельного массива данных. В качестве примера приведены результаты

обработки массива данных котельной по ул. Василя Сергиенко, 7 и построен график № 1 аппроксимирующей функции (экспоненциальная функция) в массиве данных удельных расходов горячей воды при температуре холодной воды до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 1) и аналогичный график № 2 при логарифмической функции ( $y = 5,6335 \ln(x) + 1,9147$ ) (рис. 2).

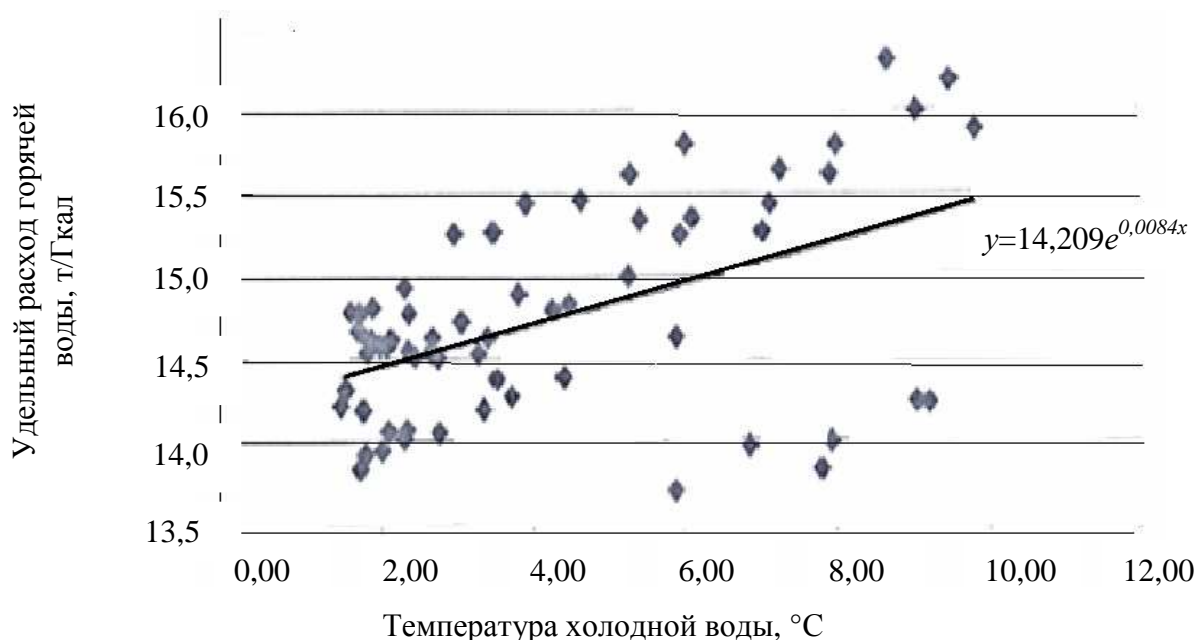


Рис. 1. График функций № 1

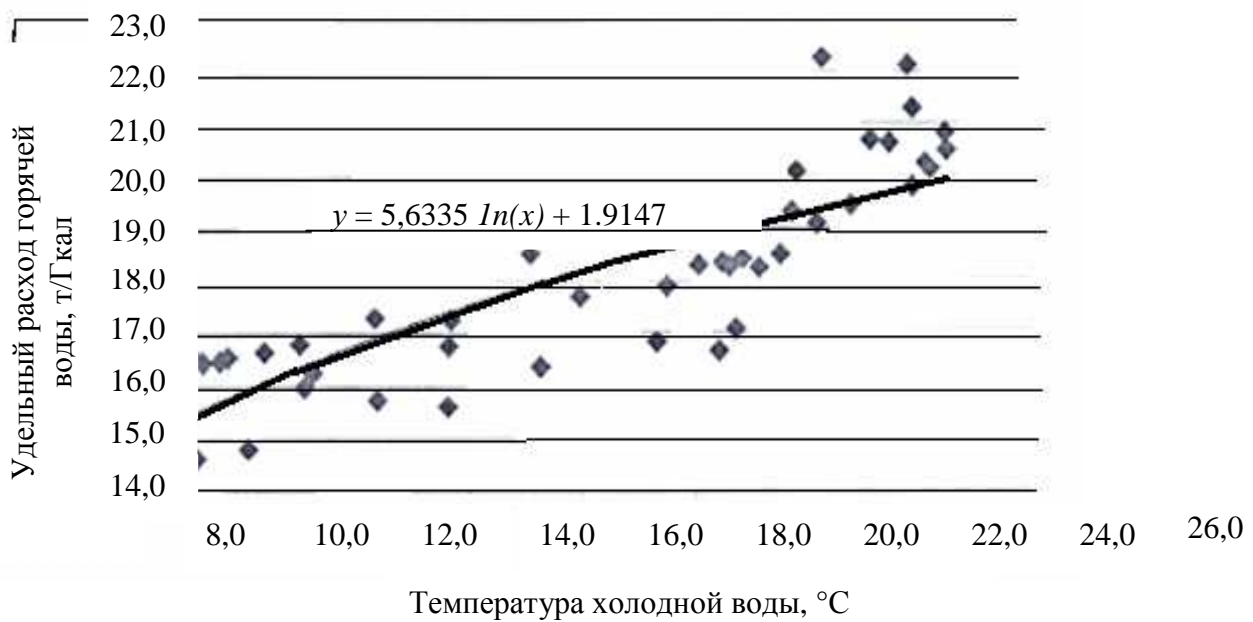


Рис. 2. График функций № 2

Расчет аппроксимирующей функции в каждой точке, соответствующей элементу массива данных, позволил выявить собственно «базисные» недели водопотребления. В качестве «базисных» были выбраны среднестатистические недели, которые имели наименьшее отклонение от значения функции в соответствующей точке.

Для дальнейшего анализа используются массивы часовых и суточных показателей «базисных» недель.

Изучение режима потребления в системе централизованного горячего водо-

снабжения начинается с анализа «базисной» недели по среднесуточным значениям. Выполняя анализ часовых значений потребления горячей воды, необходимо учитывать как особенности режима по дням недели, так и влияние сезонности.

Результатом изучения особенностей режимов водопотребления может служить построение безразмерного графика суточного потребления горячей воды.

В табл. 4 представлены данные «базисной» недели, определенной методом наименьших квадратов.

Таблица 4

Суточное потребление ГВС в разрезе «базисной» недели, т

День недели	Период по температурам холодной воды	
	t х.в. < 10	t х.в. > 10
Понедельник	7528	6408
Вторник	7408	6211
Среда	7367	6248
Четверг	7358	6295
Пятница	7209	6151
Суббота	7566	6245
Воскресенье	7960	6599
ВСЕГО	52396	44157

Для анализа изменения расхода в системе горячего водоснабжения по дням недели, периодам года построены графики

суточных значений водопотребления «базисной» недели (рис. 3, 4).

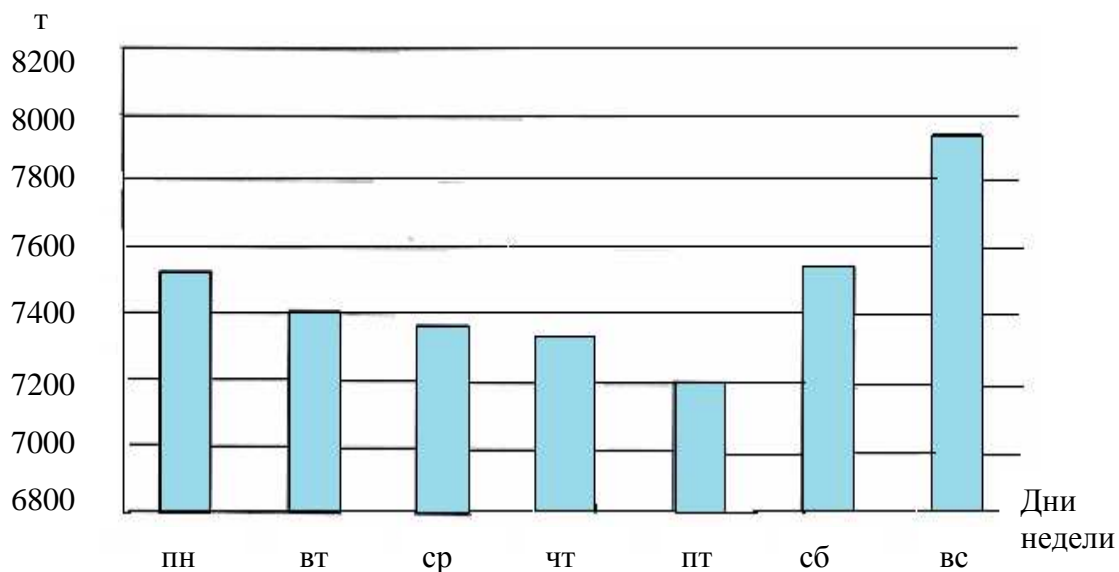


Рис. 3. График суточного потребления ГВС на котельной по ул. Василя Сергиенко, 7 «базисной» недели при температуре холодной воды ниже +10 °С: пн – понедельник; вт – вторник; ср – среда; чт – четверг; пт – пятница; сб – суббота; вс – воскресенье

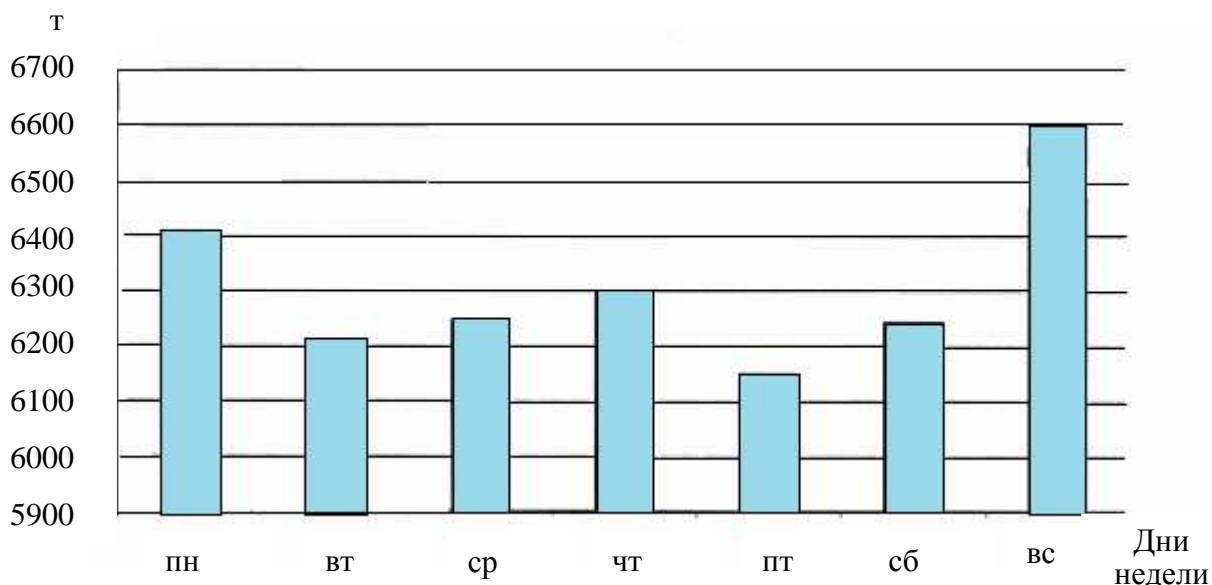


Рис. 4. График суточного потребления ГВС на котельной по ул. Василя Сергиенко, 7 «базисной» недели при температуре холодной воды выше +10 °С: пн – понедельник; вт – вторник; ср – среда; чт – четверг; пт – пятница; сб – суббота; вс – воскресенье

Анализ, представленный в табл. 5 и на вышеприведенных графиках, явно

указывает на увеличение расхода горячей воды в выходные дни.

Таблиця 5

## Анализ суточного потребления ГВС в разрезе недели, %

Дни недели	Период по температурам холодной воды	
	$t_{х.в.} < 10$	$t_{х.в.} > 10$
Понедельник	14.4	14.5
Вторник	14.1	14.1
Среда	14.1	14.1
Четверг	14.0	14.3
Пятница	13.8	13.9
Суббота	14.4	14.1
Воскресенье	15.2	14.9
ВСЕГО	100	100

Для более наглядной иллюстрации увеличения потребления горячей воды в выходные дни проанализировано отношение среднесуточного потребления горячей

воды в выходные (суббота – воскресенье) и рабочие (понедельник – пятница) дни (табл. 6, рис. 5).

Таблиця 6

## Анализ потребления ГВС в рабочие и выходные дни

Потребление	Период по температурам холодной воды	
	$t_{х.в.} < 10$	$t_{х.в.} > 10$
Среднесуточное потребление в рабочие дни, т/ч	7374	6263
Среднесуточное потребление в выходные дни, т/ч	7763	6422
Отношение среднесуточного потребления в выходные и рабочие дни, %	5	3

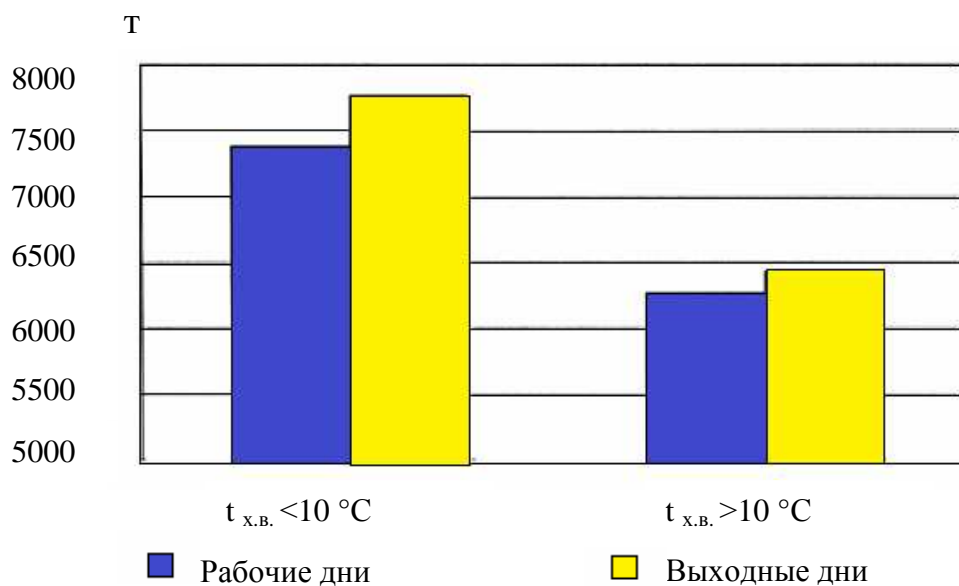


Рис. 5. Среднесуточный расход ГВС в рабочие и выходные дни «базисной» недели при температуре холодной воды ниже  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  и выше  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$

Изученные данные свидетельствуют о том, что на режим потребления горячей воды оказывает влияние не только день недели, но и время года. Так, совершенно очевидно, что в теплое время года ( $t_{х.в.} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) расход в системе горячего водоснабжения снижается по сравнению с расходом в холодное время года ( $t_{х.в.} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Это связано в первую очередь с изменением температуры холодной воды, которая может

колебаться в значительных пределах (ориентировочно от 1 до 24  $^{\circ}\text{C}$ ). Кроме того, значительная часть городского населения летом в субботные и воскресные дни выезжает в загородные зоны, т. е. в те дни, когда в жилом секторе зимой наблюдаются максимальные разборы горячей воды.

Сравнение расходов горячей воды «базисной» недели в холодное и теплое время года (рис. 6).

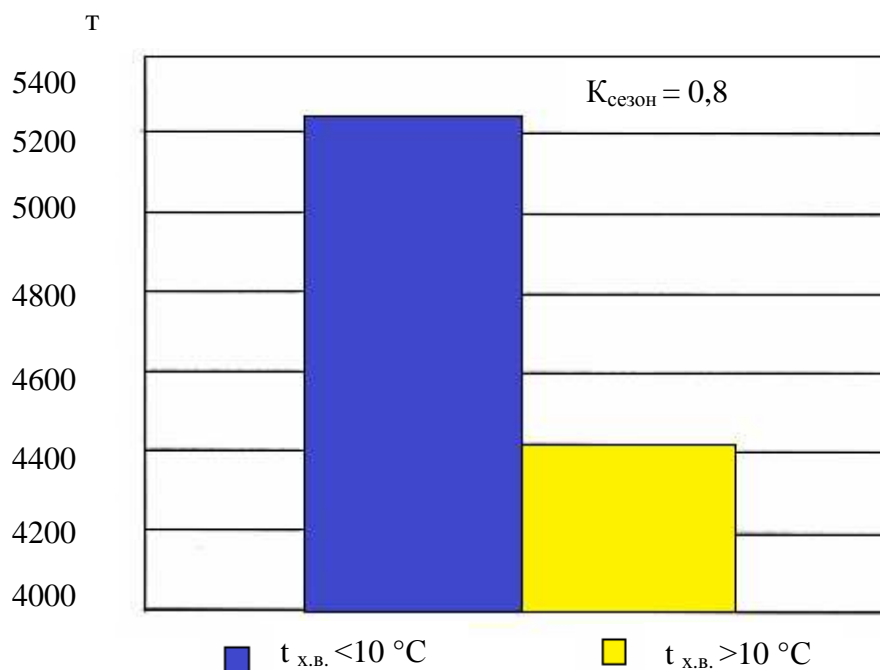


Рис. 6. Анализ сезонного различия в потреблении ГВС

**Выводы.** Согласно анализа собранных данных, проведенных исследований, а также данных статистического моделирования можно сделать следующие выводы:

- на режим потребления горячей воды оказывает влияние время года. Снижение расхода в системе горячего водоснабжения

в летний период составляет 20 % по сравнению с зимним периодом года;

- в системе централизованного горячего водоснабжения в выходные дни по сравнению с рабочими днями потребление возрастает от 8 до 15 %.

#### Список использованных источников

1. Теплоснабжение [Текст] / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; под ред. А. А. Ионина. – М. : Стройиздат, 1982. – 335 с.
2. Єнін, П. М. Теплопостачання [Текст] : навч. посібник / П. М. Єнін, Н. А. Швачко; под ред. П. М. Єніна. – К.: Кондор, 2007. – Ч. 1: Мережі та споруди. – 244 с.



3. Тарадай, О. М. Возможности снижения аварийности сетей централизованного горячего водоснабжения путем деаэрации воды [Текст] / О. М. Тарадай, С. В. Фомич, П. М. Гламаздин // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – К.: КНУБА, 2016. – №19. – С. 117-124.
4. Значительное снижение расхода топлива путем внедрения современных методов реновации абонентов [Текст] / А. М. Тарадай, М. А. Яременко, Е. С. Есин, С. В. Фомич // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – №1(83). – С. 158-161.
5. Причины массовых отказов систем централизованного горячего водоснабжения [Текст] / А. М. Тарадай, Е. С. Есин, С. В. Фомич, Н. С. Болотских // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – №1(87). – С. 188-191.
6. Анализ работы систем учета расхода тепловой энергии в Харьковском регионе [Текст] / А. Ф. Редько, А. М. Тарадай, И. Г. Кириленко, М. А. Яременко // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – №46. – С. 233-236.
7. Малая, Э. М. Повышение уровня эксплуатационной надежности тепловых сетей реконструкции систем теплоснабжения в условиях ограниченного финансирования [Текст] / Э. М. Малая, С. А. Сергеева // Новости теплоснабжения. – 2006. – №4. – С. 41-44.
8. Тарадай, А. М. Исследование динамики изменения потребления горячей воды населения [Текст] / А. М. Тарадай, В. Б. Поволочко, С. В. Фомич // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – №2(88). – С. 203-206.
9. Taraday, O. Urban renovation of hot water supply system [Text] / O. Taraday, O. Gvozdetskiy, S. Fomich // Matec. Web of conferences. – 2017. – №116. – P.1-7.
10. Шафлик, В. Современные системы горячего водоснабжения [Текст] / под ред. В. Шафлик. – К.: ДП ИПЦ «Такі справи», 2010. – 316 с.
11. Merenkov, K. Optimtization of development of heat and water supply system [Text] / K. Merenkov, E. Sennova, S. Sumarokov // Sov. Techn.Rev., A, Energy. – NewYork: Harwood Academic Publ. GmbH. 1994. – Vol.6, № 4. – P.1-31.

---

Тарадай Олександр Михайлович, д-р техн. наук, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057)700-16-40.

Гвоздецький Олександр Вадимович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (050) 88-624-88. E-mail: npp-tghv@ukr.net.

Фомич Сергій Вікторович, аспірант кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-16-40.

Taraday Alexander, Dr. Sc. science professor of heat and gas supply, ventilations and uses of thermal waste energies Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (057) 700-16-40.

Gvozdetskiy Alexander, PhD. Sc. associate professor of heat and gas supply, ventilations and uses of thermal waste energies Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (050) 88-624-88.

E-mail: npp-tghv@ukr.net.

Fomich Sergey, graduate student of heat and gas supply, ventilations and uses of thermal waste energies Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (057) 700-16-40.

Стаття прийнята 15.2017 р.