

СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ»

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В Г. ТОМСКЕ

О.В. Стукач^{1,2}, П.А. Зорин³

¹*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г. Москва, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия*

³*ООО "ЦСО", г. Томск, Россия*

E-mail: tomsk@ieee.org

С помощью статистического пакета SPSS проведен анализ данных коммерческого учета потребления тепловой энергии в жилом фонде города Томска с 2013 года до настоящего времени. Определена степень влияния таких факторов, как год постройки, материал стен, температура наружного воздуха, схема теплоснабжения и др. на динамику теплопотребления. Построена факторная модель теплопотребления. Оценена межгрупповая и внутригрупповая дисперсия и показано, что сочетание схемы теплоснабжения, этажности и года постройки дома является решающим фактором в энергетической эффективности. Наименьшее влияние на теплопотребление оказывает такой фактор, как материал стен, из чего следуют соответствующие управленческие решения по повышению эффективности зданий.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, класс энергоэффективности, учет энергии, жилое здание, статистический анализ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проблема энергетической эффективности не теряет актуальности, особенно для больших городов, где примерно половина теплоэнергетического ресурса тратится на обогрев жилых зданий. В связи с этим важно проведение любых мероприятий, направленных на экономию энергии, от утепления до погодозависимого регулирования [1]. Операторам коммерческого учёта важно не только иметь информацию о состоянии каждого тепловычислителя и теплового пункта, но и об объективности учёта энергии в целом в масштабах города [2]. Поэтому применение статистических инструментов и методов важно для принятия решений и позволяет сделать выводы о том, какие именно мероприятия наиболее важны для повышения энергоэффективности [3]. Это могут быть обоснование затрат на текущий и капитальный ремонт, на проведение работ по повышению класса энергоэффективности домов, установку регуляторов тепла

[4–5]. Это может быть и простое знание определяющих факторов для каждого здания, что и является целью настоящего исследования.

Для анализа были взяты данные учёта потребления тепла за семь лет по каждому общедомовому прибору учёта. Каждое устройство сбора и передачи данных (УСПД) формирует ежесуточную запись в базе, к которой были добавлены данные по среднесуточной температуре внешней среды с сайта Росгидрометцентра <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda> и данные по техническим характеристикам зданий с сайта «Реформа ЖКХ» <https://www.reformagkh.ru> [6–7]. Такой ежесуточный учёт привел к сравнительно большому объёму данных, это почти миллион записей. Не все имеющиеся на рынке статистические пакеты могут работать с такими объёмам данных, хотя их разработчики пишут о таких возможностях. Анализ удалось провести только в пакете SPSS, причём для дисперсионного анализа необходимо было выбирать пары характеристик зданий для их сравнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зависимой переменной является теплопотребление Q , независимыми факторами - год постройки дома $Year$, тип $Type$, включающий в себя схему теплоснабжения, этажность и учитываемый расход теплоносителя (только отопление или отопление плюс горячее водоснабжение), общую площадь дома $Area$, материал стен $Walls_material$. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные по теплопотреблению

Источник	Сумма квадр. типа III	ст.св.	Средний квадрат	F
Скорректированная модель	833143,661	569	1464,224	1239,126
Свободный член	181124,775	1	181124,78	153280,12
Year of construction	252,246	5	50,449	42,693
Type	4463,863	24	185,994	157,401
Area	385274,480	107	3600,696	3047,154
Walls material	15,356	4	3,839	3,249
Year of construction * Type	386,943	17	22,761	19,262
Year of construction * Area	1478,492	81	18,253	15,447
Year_of_construction* Walls material	28,890	3	9,630	8,150
Type * Area	4632,749	116	39,937	33,798
Type * Walls material	63,860	4	15,965	13,511

Источник	Сумма квадр. типа III	ст.св.	Средний квадрат	F
Area * Walls_material	519,856	20	25,993	21,997
Year_of_construction * Type * Area	350,788	15	23,386	19,791
Year_of_construction * Type * Walls_material	0,0	0	.	.
Year_of_construction * Area * Walls_material	246,372	4	61,593	52,124
Type * Area * Walls_material	30,483	4	7,621	6,449
Year_of_construction * Type * Area * Walls_material	0,0	0	.	.
ошибка	154584,584	130820	1,182	
Всего	2365755,68	131390		
Скорректированный итог	987728,246	131389		

Логично объяснимо, что наибольший вклад в теплотребление вносит площадь дома, на втором месте по степени влияния тип схемы теплоснабжения и этажность, затем год постройки. Самой малозначимой переменной оказался материал стен, что опровергает устоявшееся мнение о преимуществах той или иной конструкции дома. Когда факторы взаимодействуют между собой, эта закономерность сохраняется. Преимущество в плане энергоэффективности имеют новые многоэтажные дома с закрытой схемой теплоснабжения. Из-за значительного разброса в данных свободный член в модели больше любого из факторов, но детерминация 0,86 свидетельствует о неплохом качестве модели. Внутригрупповая вариация для всех переменных вдвое больше межгрупповой, но разбиение всей базы на классы домов со сходными характеристиками приводят к статистически похожему результату.

Были проведены оценки маргинальных средних значений для теплотребления. Результаты показывают, что их наибольшее значение соответствует домам с большой этажностью и закрытой схемой теплоснабжения, что опять подтверждает выводы из Табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы могут быть основой методик сравнения тепловых характеристик жилых домов для выработки рекомендаций по увеличению энергоэффективности зданий [8]. Но до последнего времени исследование динамики теплотребления на основе анализа больших данных теплоучета не проводилось, в отличие от дорогостоящего обследования тепловизионными приборами [9]. С большими данными работают только

20 % компаний, связанных с коммунальным хозяйством [10]. Между тем доступ к таким данным и их анализ позволяет выявить интересные статистические закономерности и сделать управленческие выводы, полезные для жилищно-коммунального хозяйства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Du C., Li B., Yu W., et al. Energy flexibility for heating and cooling based on seasonal occupant thermal adaptation in mixed-mode residential buildings // *Energy*. 2019. V. 189. P. 116339. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116339
2. Зорин П. А., Купреков С. В., Пуговкин А. В., Стукач О. В. Контроль энергоэффективности теплоснабжения зданий типовой застройки // *Электронные средства и системы управления*. 2018. – N 1–2. С. 302–305.
3. Зорин П. А., Стукач О. В. Статистическое моделирование тепловых характеристик жилых домов на основе данных теплосчетчиков / Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Тринадцатой Международной конференции. Томский государственный университет. Томск. 2020. С. 11.
4. Стукач О. В., Зорин П. А., Чашкин Л. Б., Семенюк А. В. Решение проблем редукции данных в автоматизированных системах коммерческого учёта потребления тепловой энергии для создания робастной модели // *Автоматика и программная инженерия*. 2021. № 2(36). С. 11–19.
5. Аверьянов В. К., Юферев Ю. В., Мележик А. А., Горшков А. С. Теплоснабжение городов в контексте развития активных потребителей интеллектуальных энергетических систем // *Строительные науки*. 2018. № 1. С. 78–87. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-78-87.
6. Zorin P., Stukach O. Data of heating meters from residential buildings in Tomsk (Russia) for statistical modeling of the thermal characteristics of buildings // *IEEE Dataport*. 2020. DOI: 10.21227/3r4e-ch18.
7. Stukach O., Zorin P. Long-Term Data from the Heat Meters in Residential Buildings Depending on the Outside Temperature and Characteristics of Buildings // *IEEE Dataport*. 2021. Doi: 10.21227/cw53-rr81.
8. Зорин П. А., Стукач О. В. Анализ влияния погодных условий на динамику тепловой энергии в жилом фонде города Томск // *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции*. М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского. 2020. С. 365–368.
9. Ляпин А. М., Финогеев А. Г. Технологии big data и облачных вычислений для мониторинга объектов энергетики в сфере жилищно-коммунального хозяйства // *Известия ВолгГТУ*. 2016. С. 54–58.
10. Клевакин Е. А., Казанцев В. В. Анализ алгоритмов расчета тепловой энергии, потребленной в открытых системах теплоснабжения. Разработка модели оценки точности измерительных систем тепловой энергии // *Законодательная и прикладная метрология*. 2007. № 5. С. 21–27.