

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОМ СЕКТОРЕ

Наметившая тенденция увеличения объемов электропотребления в коммунально-бытовом секторе потребовала проведения анализа фактических нагрузок в электросетях с целью выявления допустимого роста этого потребления (без реконструкции сети) и выполнения соответствующих расчетов в случаях, когда реконструкция потребуется. Решить эти задачи позволяют внедренные на ряде объектов коммунально-бытового сектора автоматизированные системы учета электрической энергии (АСКУЭ). Расчеты, произведенные на основе предоставленной АСКУЭ оперативной фактической информации, дадут возможность обеспечить возрастающую потребность в электроэнергии при соблюдении допустимых потерь на ее транспорт в электросетях и показателей надежности электроснабжения.



Е.П. ЗАБЕЛЛО,
д.т.н., профессор кафедры
«Электрооборудование
сельскохозяйственных предприятий»
БГАТУ

Согласно приложению 1 ТКП 45-4.04-326-2018 «Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Строительные нормы проектирования» [1] при расчете нагрузок электроприемников квартир и коттеджей следует учитывать предполагаемый уровень их электрификации. Можно выделить два уровня. Разница между ними в том, что потребители, отнесенные ко второму уровню электрификации, кроме традиционных электроприемников используют в целях нагрева электрооборудование в различных сочетаниях (электроотопительные приборы, электроводонагреватели, бытовые кондиционеры, электрокамины и т.д.).

Расчетная нагрузка $P_{кв}$ на шинах 0,4 кВ ТП от электроприемников квартир, отнесенных к первому уровню электрификации, определяется по формуле

$$P_{кв} = P_{уд.кв} \cdot n, \quad (1)$$

где $P_{уд.кв}$ – удельная нагрузка в расчете на одну квартиру, зависящая от числа квартир в доме и характеристик потребителей электроэнергии, кВт; n – количество квартир в доме.

Согласно таблице, приведенной в [1], в 100-квартирном доме, оборудованном плитами на природном газе, удельная расчетная нагрузка электроприемников составляет 1,13 кВт на квартиру. В этом случае при расчете сечения кабеля на вводе в здание следует использовать формулу

$$P_{кв} = P_{уд.кв} \cdot n \cdot K_n, \quad (2)$$

где K_n – рекомендуемый [1] коэффициент, равный 0,5.

Расчет по (2) показывает, что в доме указанного типа расчетная потребляемая пиковая нагрузка составит:



Д.М. ИВАНОВ, ассистент
кафедры «Электрооборудование
сельскохозяйственных предприятий»
БГАТУ

$$P_{кв} = 1,13 \cdot 100 \cdot 0,5 = 56,5 \text{ кВт}$$

На рисунках 1 и 2 приведены кривые усредненных на часовых интервалах значений электрических нагрузок 98-квартирного дома с газовыми плитами в г. Минске за четыре рабочих дня сентября 2019 года и четыре рабочих дня января 2020 года. Сведения получены с помощью метрологически аттестованных средств измерения АСКУЭ, смонтированной

в доме для организации коммерческого учета с дистанционной передачей информации. Согласно данным АСКУЭ максимальное значение потребляемой домом мощности в сентябре составило 17,1 кВт (05.09.2019, 22.00), в январе – 18,4 кВт (13.01.2020, 19.00). Таким образом, степень превышения расчетной пиковой мощности над фактической в осенний и зимний периоды составила:

$$E_{ос} = \frac{P_{кврасч}}{P_{кврасч}} = \frac{56,5}{17,1} = 3,3 \text{ раза;}$$

$$E_{зим} = \frac{56,5}{18,4} = 3,1 \text{ раза.}$$

Таблица 1. Усредненные на часовых интервалах электрические нагрузки 98-квартирного дома в зимний период в течение недели с минимальными и максимальными значениями, кВт

Число, месяц	День недели	Зона минимальных нагрузок, период суток				Зона максимальных нагрузок, период суток			
		2.00–3.00	3.00–4.00	4.00–5.00	5.00–6.00	18.00–19.00	19.00–20.00	20.00–21.00	21.00–22.00
13.01	понедельник	7,4	7,2	7,1	7,2	18,4	17,6	17,7	18,8
14.01	вторник	8,0	7,3	6,7	6,7	17,9	16,6	18,2	17,1
15.01	среда	7,3	7,4	6,7	7,0	17,2	16,9	16,7	15,3
16.01	четверг	6,9	6,3	7,2	7,5	16,5	15,2	18,3	16,0
17.01	пятница	7,2	7,3	7,1	7,0	16,8	16,1	17,9	18,2
18.01	суббота	7,3	7,5	7,2	7,3	16,5	16,8	18,3	17,8
19.01	воскресенье	7,0	6,8	7,0	6,4	17,5	17,2	17,3	15,3

В таблице 1 приведены усредненные на часовых интервалах значения нагрузок для двух зон суточных графиков за неделю (13–19.01.2020) в жилом многоквартирном доме на часовых интервалах двух периодов: с 2.00 до 6.00 (зона минимальных нагрузок) и с 18.00 до 22.00 (зона максимальных нагрузок). Из данных таблицы можно сделать следующие выводы:

- усредненные на часовых интервалах значения нагрузок в пиковой зоне в несколько раз выше, чем в зоне их минимальных значений;
- нагрузки в выходные и праздничные дни несущественно отличаются по величине от нагрузок в остальные дни недели (во всех зонах).

На основе данных таблицы 1 проведены расчеты усредненных значений минимальных (\bar{P}_{min}) и максимальных (\bar{P}_{max}) нагрузок в целом по зонам для каждого дня, то есть усредненных на четырехчасовых интервалах, а также выполнен расчет коэффициента K_n , определяющего их отношение:

Таблица 2. Расчетные показатели для оценки неравномерности суточных графиков нагрузки по дням недели, кВт

Показатели	Дни недели							Среднее значение
	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС	
\bar{P}_{max}	18,1	17,5	16,5	16,5	17,3	17,4	16,8	17,2
\bar{P}_{min}	7,2	7,2	7,1	7,0	7,2	7,3	6,8	7,1
$K_n = \frac{\bar{P}_{max}}{\bar{P}_{min}}$	2,51	2,43	2,32	2,36	2,40	2,38	2,47	2,41

$$K_n = \frac{\bar{P}_{max}}{\bar{P}_{min}} \tag{3}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2. Они свидетельствуют об устойчивости как усредненных значений мощности в обеих зонах нагрузки по каждому дню недели, так и значений коэффициента K_n , в известной мере характеризующего степень неравномерности суточного графика электрических нагрузок.

Как показывают расчеты, проведенные на основе фактических значений реальных электрических нагрузок многоквартирного дома с газовыми плитами, запас возможного роста электрических нагрузок достаточно высок. Можно уверенно утверждать, что существующий объем электропотребления дома в течение суток ($W_{сут} = 278,2$ кВт·ч/сут) и месяца ($W_{мес} = 278,2 \cdot 30 = 8345,6$ кВт·ч/мес.) может быть увеличен не менее чем в три раза без реконструкции схемы распределительной сети, так как сечения кабельных вводов и проводок выбирались исходя из завышенных расчетных нагрузок.

Согласно новым правилам проектирования [1] расчет электрических нагрузок, соответствующих второму (повышенному) уровню электрификации, следует определять с учетом коэффициента спроса K_c на основании фактической устанавливаемой нагрузки квартиры. При этом расчетная нагрузка всех электроприемников одной квартиры дома определяется с учетом коэффициентов одновременности K_o по формуле

$$P_{кв} = (P_{уб} \cdot K_{сб} \cdot K_{об} + P_{уко} \cdot K_{со} \cdot K_{осо} + P_{у2во} \cdot K_{с2в} \cdot K_{о2в}) \cdot \eta_{кв} \tag{4}$$

где $P_{уб}$, $K_{сб}$, $K_{об}$ – соответственно установленная мощность, коэффициент спроса и коэффициент одновременности бытовых электроприемников одной квартиры; $P_{уко}$, $K_{со}$, $K_{осо}$ – установленная мощность, коэффициент спроса и коэффициент одновременности электроприемников системы отопления; $P_{у2во}$, $K_{с2в}$, $K_{о2в}$ – установленная мощность, коэффициент спроса и коэффициент одновременности электроприемников системы горячего водоснабжения; $\eta_{кв}$ – количество квартир с одинаковой установленной мощностью электроприемников.

Для части коэффициентов, приведенных в формуле (4), предложены табличные значения. Остальные коэффициенты определяются с учетом изложенного в [1] примечания: «Значения коэффициентов $K_{со}$, $K_{осо}$, $K_{с2в}$, $K_{о2в}$ будут скорректированы по результатам опытной эксплуатации зданий с использованием электрической энергии на отопление и горячее водоснабжение».

В электротехническом справочнике [2] за 1989 год приведены действующие на то время значения удельной расчетной электрической нагрузки многоквартирного дома в зависимости от числа квартир.

Таблица 3. Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников на одну квартиру, кВт

Показатель	Источник информации	Количество квартир											
		1-3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400
$P_{уд1}$, кВт	Приложение 1 к ТКП [1]	10	5,9	4,9	4,3	3,9	3,7	3,1	2,6	2,1	1,5	1,36	1,27
$P_{уд2}$, кВт	Справочник за 1989 г. [2]	7,0	4,0	3,0	2,5	2,15	2,0	1,8	1,5	1,3	1,15	1,0	0,9
$\frac{P_{уд1}}{P_{уд2}}$		1,42	1,48	1,63	1,72	1,81	1,85	1,72	1,73	1,61	1,3	1,36	1,41

Сравнение этих значений с данными ТКП [1] для квартир, отнесенных к первому уровню электрификации, показывает (см. таблицу 3), что за 30 лет расчетные электрические нагрузки одной квартиры в домах с числом квартир от 1 до 400 выросли на 30–85 %. При этом фактическое суммарное электропотребление согласно справочным данным по республике в 1989 году составило 48,2 млрд кВт·ч, а в 2018 году – 37,8 млрд кВт·ч, то есть уменьшилось на 27,5 % [3]. Динамика изменения относительных объемов электропотребления в целом и потребления населением в период с 2013 по 2018 год (рис. 3) показывает некоторый рост потребления электроэнергии населением даже при снижении объемов суммарного электропотребления, хотя в последнее время темпы их роста сближаются, приходя к стабильной практически нулевой величине по отношению к уровню 2013–2014 годов.

Абсолютные значения объемов суммарного электропотребления с 2013 по 2018 год [3] и потребления населением за тот же период, а также отношения этих объемов (см. таблицу 4) свидетельствуют о том, что доля электроэнергии, потребляемой населением, за последние 6 лет находилась на уровне 16,4–18,3 %. Основываясь на данных таблицы 2, сравним показатели, характеризующие формы суточных графиков нагрузок энергосистемы [4] и потребителей коммунально-бытового сектора.

Таблица 4. Абсолютные значения объемов суммарного электропотребления (W_{Σ} , млрд кВт·ч) и потребления населением ($W_{нас}$, млрд кВт·ч) и их соотношения на временном отрезке с 2013 по 2018 год

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018
W_{Σ}	37,87	38,06	36,85	36,59	37,1	37,94
$W_{нас}$	6,386	6,397	6,601	6,689	6,592	6,569
$\frac{W_{нас}}{W_{\Sigma}} \cdot 100\%$	16,4	16,8	17,9	18,3	17,8	17,3

Как видно из таблицы 2, значение коэффициента K_n , для потребителей коммунально-бытового сектора, определяемое отношением $\frac{P_{уд1}}{P_{уд2}}$, равно 2,41. Отношение подобных величин для всех потребителей энергосистемы, рассчитанное с учетом формы графика ее нагрузок в зимний сезон 2018 года [4], составило величину:

$$K_{нас} = \frac{P_{макс}}{P_{мин}} = \frac{5,8}{3,8} = 1,53.$$

Из сравнения показателей K_n и $K_{нас}$ видно, что форма графика нагрузок (ФГН) потребителей коммунально-бытового

сектора существенно хуже ФГН энергосистемы. Из этого следует вывод, что данную группу потребителей необходимо учитывать при разработке мероприятий по уплотнению электрических нагрузок, хотя для этой группы основным фактором, влияющим на формирование суточных графиков нагрузок, являются биологические циклы. Определяя меры, стимулирующие рост объемов электропотребления в этих условиях, нужно придерживаться комплексного подхода, предполагающего решение следующих задач:

- обеспечение абонентам возможности подключения трехфазных нагрузок достаточно высокой мощности (до 5–8 кВт), например, электрокотлов в отдельно стоящих домах и котеджах;
- разработка и широкое применение сложных тарифов, стимулирующих перенос крупных по мощности нагрузок в зоны минимальных нагрузок энергосистемы;
- полная автоматизация электроучета, обеспечивающая получение достоверной оперативной информации как по объемам электропотребления, так и по потребляемой мощности в разрезе каждого получаса суточных нагрузок.

Подобные задачи с обоснованием вариантов их решения уже неоднократно формулировались как в руководящих отраслевых документах, так и в публикациях специалистов. Однако ситуация к настоящему времени существенно не изменилась, так как универсальные решения по реализации трехфазного ввода в коммунально-бытовом секторе и широкому внедрению сложных тарифов по-прежнему не приняты, а возможности АСКУЭ используются не в полной мере. Не предусмотрено внедрение устройств АСКУЭ там, где они до сих пор отсутствуют, что исключает возможность получения объективной картины нагрузок коммунально-бытовых потребителей в реальном времени. При расчете нагрузок не предусмотрено использование даже таких выборочных данных, как приведенные в данной статье. Об этом свидетельствуют положения ТКП 45-4.04-326-2018 [1], где расчет электрических нагрузок для жилых зданий по-прежнему рекомендуется проводить с учетом множества коэффициентов без анализа каких бы то ни было реальных данных, получаемых с помощью устройств действующих АСКУЭ.

Выводы

1. Последние 6 лет доля потребления электроэнергии населением в суммарном электропотреблении стабильно находится на уровне 16,4–18,3 %. Это более чем в два раза ниже аналогичных показателей в ряде зарубежных стран,

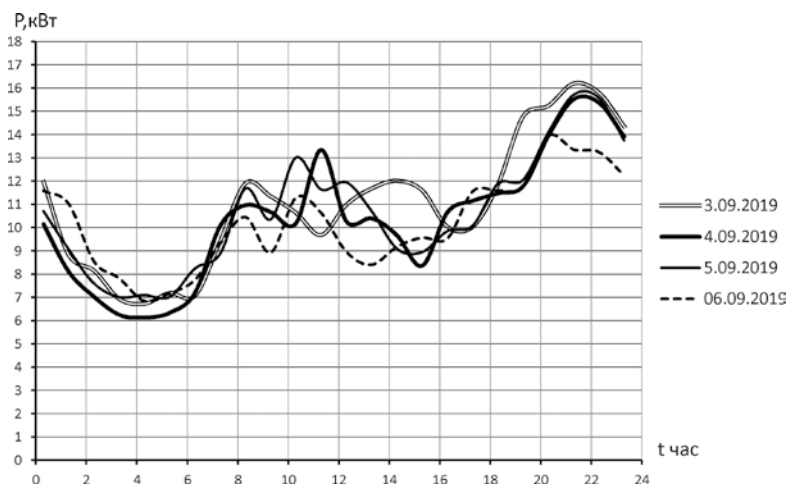


Рис. 1. Усредненная на часовых интервалах потребляемая мощность 98-квартирного жилого дома в г. Минске в рабочие дни сентября 2019 года

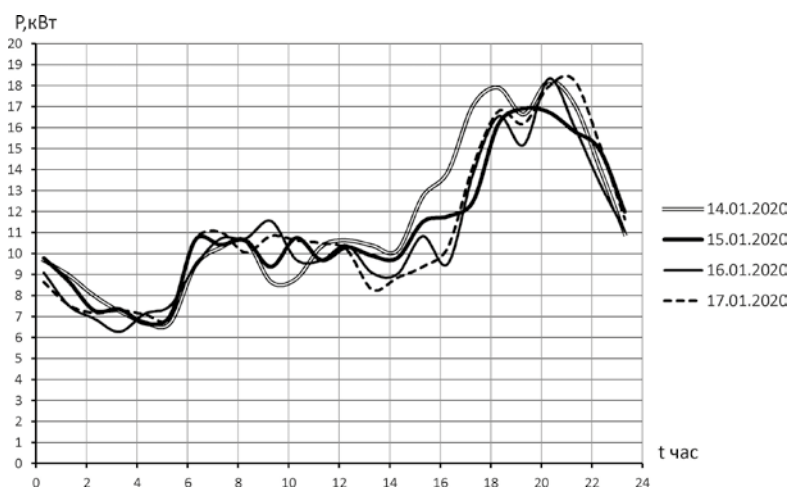


Рис. 2. Усредненная на часовых интервалах потребляемая мощность 98-квартирного жилого дома в г. Минске в рабочие дни января 2020 года

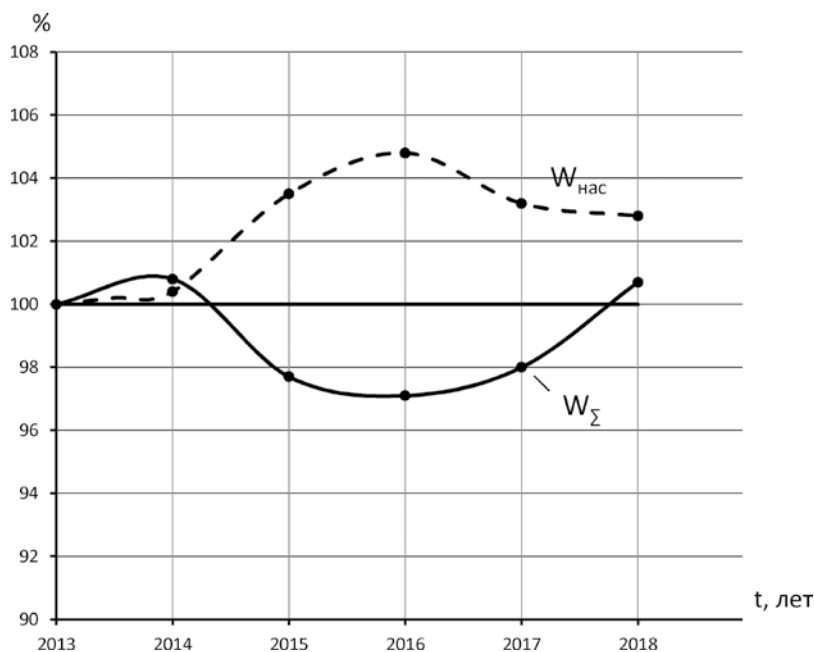


Рис. 3. Динамика изменения относительных объемов суммарного электропотребления (W_{Σ} , %) и электропотребления населением ($W_{нас}$, %) на временном интервале с 2013 по 2018 год

где отсутствует централизованное тепло-снабжение.

2. При намечившемся переходе к более широкому использованию электрической энергии в коммунально-бытовом секторе следует учитывать специфику потребителей данного сектора. Она заключается в том, что, несмотря на неравномерность суточных графиков нагрузок, имеется возможность переноса части нагрузок (например, электродуховок) в зоны минимальных значений при условии автоматизации их включения-отключения.

3. В условиях стимулирования роста электропотребления применение сложных тарифов не имеет альтернативы, так как возможности прямого управления электрическими нагрузками в коммунально-бытовом секторе ограничены. При этом желательно сохранение принципа единого ввода для абонента с применением единообразного сложного тарифа, что исключает дополнительные затраты на приборы автоматизированного энергоучета.

4. Разработка современных технических кодексов установившейся практики, регламентирующих расчет электрических нагрузок, должна базироваться на использовании фактических данных. Тогда рекомендуемые коэффициенты будут иметь реальные основания и их применение не обернется стимулированием роста затрат на построение системы электроснабжения. В данном случае достоверные данные для оценки величины нагрузок и их динамики могут предоставить только системы автоматизированного энергоучета, контроля и управления нагрузками, обеспеченность которыми должна быть стопроцентной.

Список литературы

1. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования: ТКП 45-4.04-326-2018. – Введ. 01.01.2019. – Минск: Утверждено постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 7 июля 2019 г. № 36.
2. Электротехнический справочник. – Т. 3, кн. 1.: Производство и распределение электрической энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Статистический ежегодник Республики Беларусь за 2019 год – Национальный статистический комитет – Минск, 2019.
4. Забелло, Е.П. Косвенное управление электрическими нагрузками в условиях развития интеллектуальной энергетики / Е.П. Забелло // Материалы международной научно-технической конференции. – Минск. – 19–20 декабря 2019 г. – БГАТУ.