

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

---

УДК 621.3.052.3

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ РОСТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЧАСТНОГО ЖИЛОГО ФОНДА

Д. И. Зализный, А. А. Капанский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Предложена методика оценки пропускной способности низковольтных электрических сетей для потребителей частного жилого фонда. Методика основана на классификации этих потребителей, их графиков электропотребления, а также на программном обеспечении, позволяющем рассчитать напряжения их питания, температуры проводов и температуры силовых трансформаторов. Внедрение разработанных методики и программного обеспечения позволит повысить эффективность и точность оценки пропускной способности электрических сетей при выдаче разрешений частным потребителям на комплексное использование электроэнергии (подключение электрокотлов, подогрев воды и т. д.).*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, пропускная способность, линия электропередачи, потери напряжения, температура, силовой трансформатор

### METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE POWER GRIDS CAPACITY IN THE CONDITIONS OF INCREASING ELECTRICITY CONSUMPTION OF PRIVATE HOUSING STOCK CONSUMERS

D. I. Zalizny, A. A. Kapansky

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*A methodology for estimating the capacity of low-voltage power grids for private housing stock consumers is proposed. The methodology is based on the classification of these consumers, their power consumption schedules, as well as on software that allows calculating their supply voltages, wire temperatures and power transformer temperatures. The implementation of the developed methodology and software will improve the efficiency and accuracy of assessing the power grids capacity when issuing permits to private consumers for the integrated use of electricity (connecting electric boilers, heating water, and so on).*

**Keywords:** power grid, capacity, power line, voltage losses, temperature, power transformer.

В связи с вводом в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции существенно возросла актуальность использования электроэнергии для обогрева частных жилых домов. Однако электрокотлы имеют значительную мощность и могут негативно повлиять на работу всего участка электрической сети, к которой они подключены. Если пропускная способность сети недостаточна, то у некоторых потребителей возможно недопустимое снижение напряжения. Также возможен перегрев проводов и силовых трансформаторов. Для предотвращения такой ситуации предприятия электрических сетей перед выдачей разрешения на подключение электрокотла должны провести расчеты по оценке пропускной способности сети. Однако в силу разветвленности электрической сети и случайного характера нагрузок потре-

бителей, выполнить такие расчеты достаточно непросто. В нормативных документах, таких как СТП [1] и ТКП [2], имеются только методики расчета нагрузок потребителей, но методики оценки пропускной способности сложных электрических сетей фактически отсутствуют.

Цель представленных исследований – разработать алгоритмы и программное обеспечение для повышения эффективности и точности оценки пропускной способности электрических сетей, питающих потребителей частного жилого фонда.

На кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого выполняется НИР «Разработка методики оценки пропускной способности электрических сетей 0,4 кВ в условиях роста электропотребления бытовых потребителей частного жилого фонда» в сотрудничестве с РУП «Гомельэнерго». В рамках данной НИР решаются следующие задачи:

- классификация потребителей частного жилого фонда по критерию электропотребления;
- классификация условий, в которых происходит электропотребление;
- статистическая обработка данных по электропотреблению отдельных потребителей и формирование типовых графиков электропотребления;
- статистическая обработка данных по температуре наружного воздуха;
- разработка алгоритмов расчета установившихся режимов низковольтных несимметричных трехфазных электрических сетей;
- экспериментальные исследования тепловых процессов в проводах и формирование алгоритмов расчета их температур;
- разработка программного обеспечения, позволяющего производить оценку пропускной способности и исследование режимов электрических сетей.

По имеющимся на данный момент результатам предложено разделить потребителей частного жилого фонда (далее – потребителей) на две категории: не имеющие комплексного использования электроэнергии (КИЭ) и имеющие его (потребители без КИЭ и потребители с КИЭ). В качестве условий электропотребления предлагается разбить год на два сезона: зимний (октябрь–апрель) и летний (май–сентябрь). В зимний сезон наблюдается максимальное электропотребление, а летний сезон характеризуется тем, что в этот период возможны максимальные температуры воздуха. Оба фактора являются ограничительными для пропускной способности сети. Повышенное потребление приводит к снижению напряжения у потребителей, а значительные температуры воздуха могут привести к перегреву проводов и силовых трансформаторов.

Для проведения исследований РУП «Гомельэнерго» периодически передает на кафедру результаты замеров нагрузок потребителей, сформированные с помощью автоматической системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Так, для одного из населенных пунктов Жлобинского района были получены годовые графики реального электропотребления каждого потребителя. Кроме этого имеется значительный объем данных по так называемым балансным приборам учета – счетчикам электроэнергии, установленным на выходе силового трансформатора.

При формировании типовых графиков электропотребления были использованы современные методы статистического анализа: тест на нормальное распределение, тепловая карта, «диаграмма с усами», дисперсионный анализ, матрица коэффициентов корреляции Пирсона и др. В результате рассчитаны типовые профили средней мощности нагрузки для каждого месяца года по обеим категориям потребителей. В качестве примера на рис. 1 показан типовой профиль потребителя без КИЭ за январь.

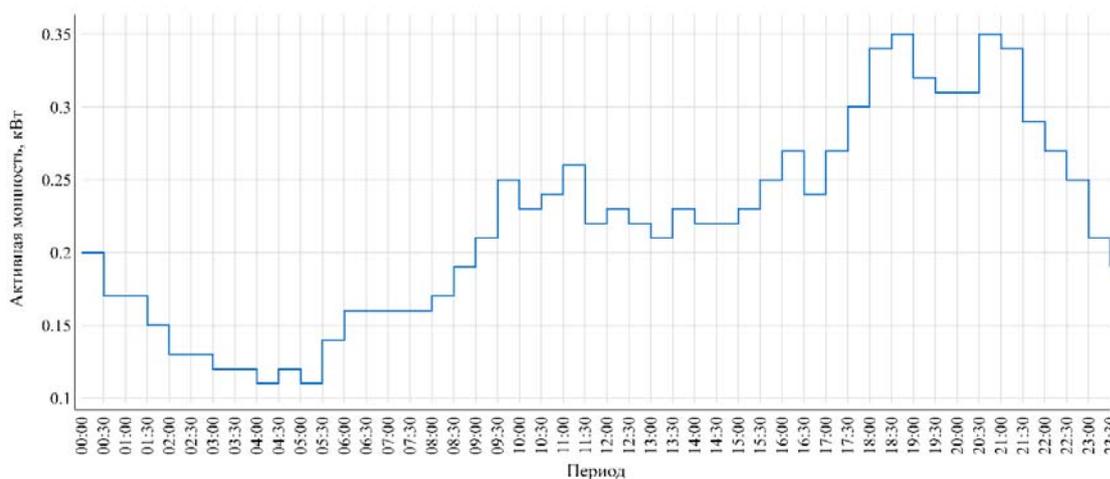


Рис. 1. Профиль усредненной активной мощности за январь для потребителя без КИЭ

Для выполнения расчетов режимов электрической сети из этих профилей были выбраны получасовые максимумы электропотребления в наиболее загруженные месяцы зимнего и летнего сезонов. Результаты приведены в таблице.

#### Типовые значения мощности потребителей частного жилого фонда

Показатели	Зимний сезон		Летний сезон	
	Январь	Январь	Сентябрь	Май
Тип потребителя	без КИЭ	с КИЭ	без КИЭ	с КИЭ
$P$ , кВт	0,35	4,15	0,31	2,36

Значения мощности в таблице можно интерпретировать как максимальные статистически обоснованные для формирования наихудших условий при оценке пропускной способности электрической сети. Вместе с тем получасовые профили мощности не учитывают кратковременных всплесков электропотребления, вызванных использованием электрочайников, утюгов, пылесосов и другого бытового оборудования, потребляющего существенную мощность. Именно в моменты подключения таких электроприемников происходит максимальное снижение напряжения у потребителя. Чтобы учесть данное явление, было предложено для наиболее удаленных от трансформаторной подстанции потребителей без КИЭ к типовой мощности, указанной в таблице, прибавлять мощность утяжеления. Исследования в рамках НИР показали, что ее статистически обоснованное значение составляет около 1,8 кВт.

С целью определения температур проводов был выполнен статистический анализ температуры воздуха по Гомельской области. В результате статистически обоснованные максимальные значения этой температуры составили: для зимнего сезона (октябрь–апрель) 30,6 °С и летнего сезона (май–сентябрь) 17,8 °С. Данные значения используются также при корректировке сопротивлений проводов (при возрастании температуры сопротивления алюминия и меди возрастают).

В качестве алгоритма расчета режима электрической сети выбран классический матричный метод узловых потенциалов с применением комплексных чисел. При этом для решения получаемой системы уравнений предложено рассматривать сопротивление

ния нагрузки потребителей как линейные, т. е. не зависящие от напряжения. Такой подход позволяет отказаться от итерационных методов и применять однократный расчет на основе метода Гаусса, что существенно сокращает время выполняемых расчетов, которое даже на современных компьютерах может составлять десятки секунд при работе с электрическими сетями, питающими более 40 потребителей. Для проверки правильности этого решения были проведены экспериментальные исследования, подтвердившие линейность сопротивлений большинства мощных бытовых электроприемников.

В рамках разработки алгоритмов для расчета температур проводов в лаборатории кафедры был выполнен ряд экспериментов по нагреву различных марок проводов током, что позволило уточнить их тепловые параметры при моделировании тепловых процессов. Экспериментально подтверждено, что для большинства проводов тепловая постоянная времени не превышает 15 мин. Это значит, что в рамках получасового максимума нагрузки температуры проводов должны рассчитываться как установившиеся, т. е. в стационарном тепловом режиме.

Все предложенные в рамках НИР алгоритмы применены в новой компьютерной программе, создаваемой на языке C++ как *Windows*-приложение, которая получила название *LineCapacity* (пропускная способность линий). Внешний вид главного окна данной программы с результатами расчетов электрической сети реального населенного пункта и окном основных результатов приведен на рис. 2.

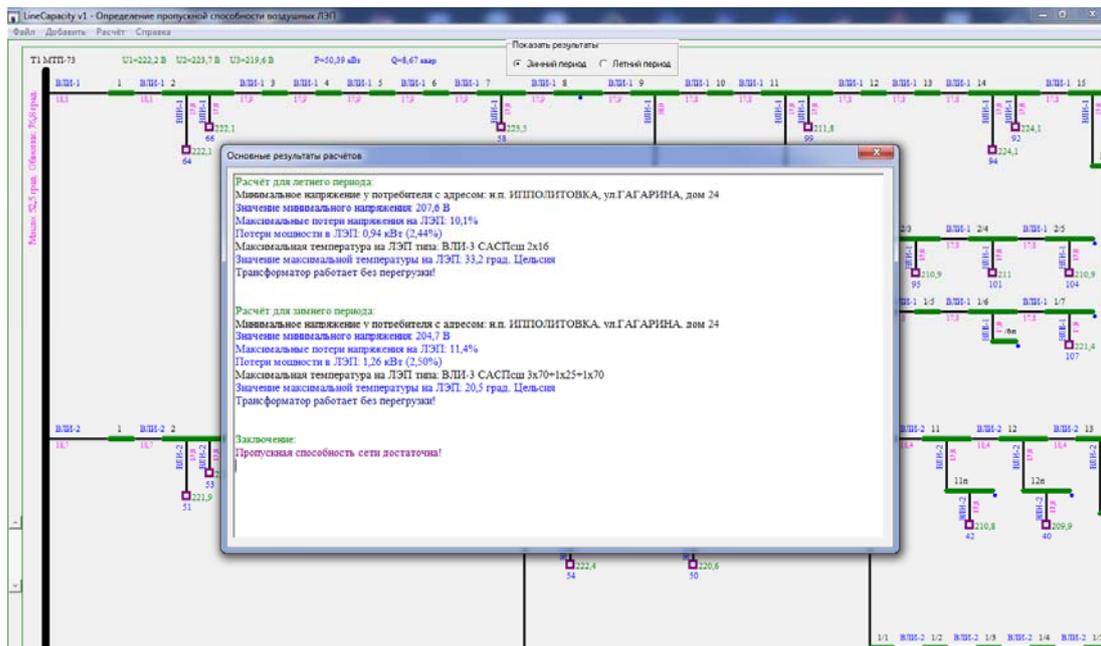


Рис. 2. Внешний вид главного окна программы *LineCapacity*

Программа *LineCapacity* оснащена графическим редактором, позволяющим формировать схему сети с выбором типов трансформатора и проводов из базы данных. Схема является интерактивной, т. е. при щелчке мышью на ее элементы появляются соответствующие окна, где можно корректировать параметры объектов и просматривать результаты расчетов.

Расчеты выполняются для зимнего и летнего сезонов, а в итоговом окне можно посмотреть информацию о потерях в линиях и заключение о пропускной способности сети.

Внедрение разработанных методики и программного обеспечения позволит повысить эффективность и точность оценки пропускной способности электрических сетей при выдаче разрешений частным потребителям на комплексное использование электроэнергии (подключение электрод котлов, подогрев воды и т. д.).

#### Л и т е р а т у р а

1. Электрические сети 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения. Порядок расчета электрических нагрузок : СТП 33240.20.178-20. – Минск : Белэнерго, 2021. – 96 с.
2. Сети электрические распределительные сельские напряжением 0,38–10 кВ : ТКП 385-2022. – Минск : Минэнерго, 2023. – 71 с.