

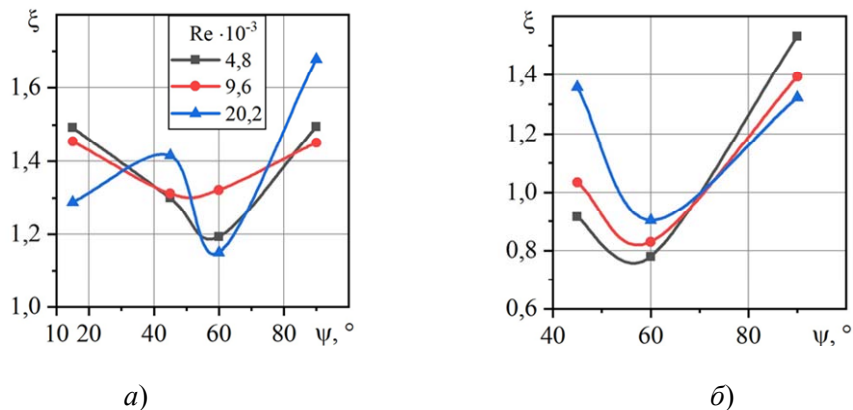


Рис. 2. Зависимость теплогидравлической эффективности от углового положения стержней-турбулизаторов:
а – $d = 1,6$ мм; б – $d = 3,2$ мм

С точки зрения интенсификации теплообмена наиболее эффективным оказался угол установки $\psi = 15^\circ$, причем для стержней обоих диаметров. Меньшее влияние на осредненный по поверхности КТО наблюдается при углах $\psi = 60^\circ$ и 90° , однако тонкий стержень эффективен в более широком диапазоне углов ψ .

Угол установки стержней-турбулизаторов по-разному влияет на течение и теплообмен: эффективные режимы и конфигурации системы для максимально интенсивного теплообмена не совпадают с таковыми для снижения аэродинамического сопротивления. Стержень диаметром 1,6 мм позволяет повысить теплогидравлическую эффективность во всем рассматриваемом диапазоне углов ψ , тогда как стержень диаметром 3,2 мм снижает теплогидравлическую эффективность в диапазоне углов $\psi = 50\text{--}70^\circ$.

Литература

1. Интенсификация теплообмена в одиночной овально-траншейной лунке на пластине при изменении угла наклона от 0 до 90° / М. Д. Селезнева, С. А. Князев, А. А. Ключ, В. В. Сероштанов // *Аэрокосмическая техника и технологии*. – 2023. – Т. 1, № 4. – С. 30–41.
2. Теплообмен в паре круговых цилиндров при их рядном и шахматном расположении / В. А. Маслов, М. Д. Селезнева, С. А. Князев, В. В. Яковлева // *Бутаковские чтения : сб. ст. II Всерос. междунар. конф. с участием молодых ученых, Томск, 13–15 дек. 2022 г. / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т. – Томск, 2022. – С. 202–205.*
3. Antonia R. A. Determination of drag of a circular cylinder / R. A. Antonia, S. Rajagopalan // *AIAA Journal*. – 1990. – N 28(10). – P. 1833–1834.

УДК 621.3.052.3

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В РАСЧЕТАХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЧАСТНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ю. А. Рудченко, Д. И. Зализный, Д. В. Сучков, В. А. Кусенкова

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

Рассмотрены особенности моделирования электрических нагрузок потребителей частного жилого фонда при выполнении расчетов режимов работы электрических сетей на-

пряжением 0,4 кВ. Предложено нагрузку представлять активным и реактивным сопротивлениями, вольт-амперную характеристику этих сопротивлений считать линейной, применять для расчета прямой метод.

Ключевые слова: моделирование, электрическая нагрузка, бытовые потребители, расчет режима.

FEATURES OF MODELING ELECTRICAL LOAD IN CALCULATIONS OF OPERATING MODES OF THE ELECTRIC NETWORK OF PRIVATE RESIDENTIAL DEVELOPMENT

Y. A. Rudchenko, D. I. Zalizniy, D. V. Suchkov, V. A. Kusenкова

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The features of modeling electrical loads of private residential consumers when performing calculations of operating modes of electrical networks with a voltage of 0.4 kV are considered. It is proposed to represent the load by active and reactive resistances, consider the current-voltage characteristic of these resistances to be linear, and use the direct method for calculation.

Keywords: modeling, electrical load, household consumers, mode calculation.

В рамках научно-исследовательской работы по разработке методики оценки пропускной способности электрических сетей 0,4 кВ в условиях роста электропотребления бытовых потребителей частного жилого фонда требовалось разработать программное обеспечение для автоматизации расчетов режимов работы сети, для чего было необходимо выполнить моделирование электрических нагрузок потребителей.

Известно [1] несколько способов представления электрической нагрузки в расчетах режимов работы электрических сетей: мощностью нагрузки и сопротивлением нагрузки.

При моделировании нагрузки первым способом активная и реактивная мощности нагрузки могут задаваться в виде так называемых статических характеристик нагрузки, т. е. зависимостью от напряжения

$$P = P_n \left(\alpha_p \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 + \beta_p \left(\frac{U}{U_n} \right) + \gamma_p \right),$$

$$Q = Q_n \left(\alpha_q \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 + \beta_q \left(\frac{U}{U_n} \right) + \gamma_q \right),$$

где P_n , Q_n – номинальные значения активной и реактивной мощности нагрузки; U_n – номинальное напряжение нагрузки или сети; α , β , γ – аппроксимирующие коэффициенты.

При представлении нагрузки мощностью расчеты режимов работы электрической сети проводят итерационными методами, относительно так называемого балансирующего узла. Как правило, данный подход применяется для анализа режимов работы высоковольтных трехфазных трехпроводных электрических сетей, имеющих симметричную нагрузку. В этом случае количество узлов в схеме замещения сети получается минимальным, расчет требует относительно небольшого числа итераций и затрат времени.

Для упрощения расчетов принимают, что мощность нагрузки не зависит от напряжения и является постоянной величиной. Вольт-амперная характеристика такой нагрузки имеет нелинейную зависимость, значение тока обратно пропорционально напряжению. Исследования показали, что у потребителей электроэнергии частной жилой застройки нет электроприемников с подобной характеристикой.

При втором способе представления нагрузки она задается активным и реактивным значениями сопротивления.

Для трехфазной нагрузки:

$$R_n = \frac{3U_n^2}{P_n}, \quad X_n = \frac{3U_n^2}{Q_n},$$

для однофазной:

$$R_n = \frac{U_n^2}{P_n}, \quad X_n = \frac{U_n^2}{Q_n}.$$

Эти значения сопротивлений являются номинальными. При изменении напряжения на нагрузке сопротивление нагрузки может измениться. В расчетах часто пренебрегают возможными изменениями сопротивления нагрузки, считая его величиной постоянной. Вольт-амперная характеристика такой нагрузки линейна, значение тока нагрузки пропорционально напряжению. Проведенные исследования показали, что к бытовым электроприемникам, имеющим подобную характеристику, относятся различные электронагревательные приборы (электрочайник, электроплиты, электрообогреватели, утюг и т. п.), а также бытовые приборы с коллекторным двигателем (кухонные комбайны, блендеры, миксеры, пылесосы, электрические газонокосилки, ручной инструмент для ремонта и т. п.).

Такой подход дает возможность применения прямых методов расчета электрической сети, погрешность которых определяется лишь корректностью (точностью) исходных данных.

Для выбора метода расчета электрической сети 0,4 кВ частной жилой застройки были выделены их основные особенности, достоинства и недостатки, проведен их анализ. В результате было принято решение использовать прямой метод, что повлечет за собой необходимость линеаризации вольт-амперной характеристики нагрузки, что в свою очередь приведет к появлению погрешности расчета режима работы электрической сети.

Для оценки величины погрешности расчета, вызванной линеаризацией вольт-амперной характеристики нагрузки, было проведено экспериментальное определение зависимости сопротивлений нагрузки от напряжения для ряда бытовых электроприемников. На основании полученных данных был составлен набор (перечень) электроприемников типового потребителя частного жилого фонда работающих в период максимальной нагрузки и определена обобщенная зависимость сопротивления нагрузки от напряжения.

Было сделано предположение, что в вечерний максимум нагрузки могут работать одновременно: 1 обогреватель, 2 холодильника, 2 компьютера, 2 вентилятора, 1 микроволновая печь, 1 лампа накаливания, 1 люминесцентный светильник, 6 светодиодных светильников, 1 чайник, 1 утюг, 2 ноутбука, 2 телевизора, 1 электроплита и 1 пылесос. На рис. 1 показаны зависимости отклонения от номинального значения сопротивления (активного и реактивного) указанной нагрузки от напряжения сети, полученные с использованием математического пакета MathCAD.

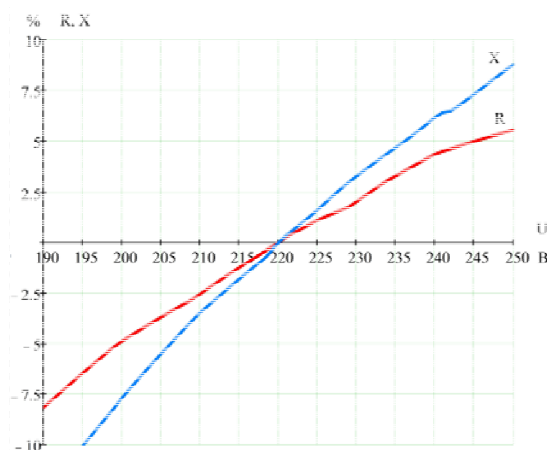


Рис. 1. Зависимость отклонения от номинального значения активного R и реактивного X сопротивлений нагрузки потребителя от напряжения сети

Анализ графиков, приведенных на рисунке, показывает, что в пределах допустимого отклонения напряжения ($\pm 10\%$) сопротивление нагрузки изменяется примерно на 5% от номинального значения, что можно считать допустимым для проведения линеаризации ее вольт-амперной характеристики. Таким образом, при расчетах режима работы электрической сети $0,4$ кВ частного жилого фонда, можно представить электрическую нагрузку бытовых потребителей в виде активного и реактивного сопротивлений и считать вольт-амперной характеристики нагрузки линейной, что позволит использовать прямые методы расчета.

Л и т е р а т у р а

- Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учеб. для вузов / В. И. Идельчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

УДК 620.9:621.65:681.5:628.1/2:504.06

РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А. А. Капанский

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

Исследование посвящено анализу влияния климатических факторов на загрузку системы городского водоснабжения. Выявлена зависимость между повышением температуры воздуха и увеличением водопотребления, что приводит к росту энергозатрат на работу насосных станций и водоочистных систем. Установлено, что температуры выше $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ обуславливают до $15,8\%$ водопотребления и $15,6\%$ энергопотребления. Осадки, напротив, незначительно, но снижают потребление воды в периоды дождей. При отрицательных температурах значимых корреляций с водопотреблением не выявлено, однако установлена зависимость роста электропотребления в холодное время, обусловленная поддержанием работоспособности инфраструктуры водоснабжения. Результаты могут применяться для планирования режимов водоснабжения в условиях изменения климатических факторов и использоваться в дальнейшем для разработки стратегий энергоэффективного управления насосными станциями.