

# **ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОЧИЕ И НАДЕЖНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НЕТЯГОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

**А. В. Дробов**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель В. Н. Галушко

Повышение энергоэффективности работы электрооборудования нетяговых железнодорожных потребителей в системе электроснабжения железных дорог является важной составляющей проблемы экономии электроэнергии на железнодорожном транспорте. Отклонение показателей качества электроэнергии от нормативных значений приводит к ухудшению технико-экономических показателей системы электроснабжения. В связи с этим однозначно оценить ущерб потребителю является сложной задачей в связи с разной степенью влияния электроэнергии по отдельным критериям, их нестабильностью, которая зависит от состава, режимов работы элек-

троприемников и системы электроснабжения в целом. Поэтому проблема влияния показателей качества электроэнергии является актуальной в настоящее время.

Пропускную способность системы электроснабжения (СЭС) выбирают по максимальному значению нагрузки, а на основании электрических нагрузок производится выбор токоведущих частей, трансформаторов, расчет отклонений и колебаний напряжения, выбор компенсирующих установок, экономическое обоснование и т. д. Неточность данных в сторону завышения электрических нагрузок может привести к завышенным капитальным вложениям, а при их уменьшении – к неработоспособности СЭС.

Актуальность постоянного совершенствования СЭС нетяговых железнодорожных потребителей и замены части ее электрооборудования обусловлена следующими причинами:

1. Результатами расчетов величины технологического расхода электрической энергии на ее транспортировку по электрическим сетям для дистанций электроснабжения Республики Беларусь, которые указывают на суммарное снижение потребления электроэнергии для Барановичской, Витебской и Оршанской дистанций электроснабжения (договоры № 5716 за 2008 г., № 198/9875 за 2015 г., № 17/10544 за 2016 г., № 6019 и № 79ЭЧ/9835 за 2015 г.). Для отдельных узлов и линий продольного электроснабжения процент изменения потребления очень значителен.

2. Большой физический износ электропотребляющего оборудования. Более 25 % электрооборудования эксплуатируется более 20 лет, поэтому стоит задача повышения надежности СЭС путем модернизации и замены устаревшего оборудования (результаты энергетических обследований Барановичского вагонного депо за 2013 г. и локомотивного депо г. Жлобина за 2012 г.).

3 Замена двойной трансформации на один трансформатор (например, применение трансформатора ТМГ-100/10-У1 Минского электротехнического завода имени В. И. Козлова).

Соблюдение отраслевых норм СЭС, нормативное качество питающего напряжения потребителей, минимально возможный уровень потерь электрической энергии обуславливает применение современных информационных технологий на основе эффективных математических моделей и методов. Приведем некоторые оптимизационные задачи, решаемые при электроснабжении нетяговых железнодорожных потребителей:

- выбор рациональной с точки зрения технико-экономических показателей схемы электроснабжения локомотивных, вагонных депо и различных предприятий в целом;
- технически и экономически обоснованный выбор числа, мощности и режима работы трансформаторов подстанций;
- выбор электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих устройств;
- выбор сечений проводов, шин и жил кабелей;
- выбор трасс и способов прокладки электросетей с учетом коммуникаций энергохозяйства в целом.

Задачи технико-экономического обоснования и анализа надежности СЭС нетяговых железнодорожных потребителей частично решаются с помощью имитационной и аналитической программ, представленных в работах [1]–[3]. Материал данной статьи посвящен дальнейшему развитию инструментария специализированных программ. На основании выходных данных программ моделирования выполняются процедуры анализа рабочих и надежностных характеристик асинхронных приводов и трансформаторов, применяемых в качестве железнодорожных нетяговых потребителей СЭС.

Основными экономическими показателями при проектировании СЭС являются первоначальные (капитальные) вложения и ежегодные (текущие) расходы, основанные на методе срока окупаемости. К важным техническим показателям относятся надежность, удобство эксплуатации, долговечность сооружения, объем текущих и капитальных ремонтов, степень автоматизации и т. п. Экономические показатели во многих случаях являются решающими, однако при условии равноценности стоимостных показателей предпочтение следует отдать лучшему техническому решению.

**Асинхронные двигатели.** При изменении напряжения изменяется механическая характеристика АД – зависимость его вращающего момента  $M$  от частоты вращения. С достаточной точностью можно считать, что вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения на его выводах. При снижении напряжения уменьшается вращающий момент и частота вращения ротора двигателя, так как увеличивается его скольжение.

Снижение частоты вращения зависит также от закона изменения момента сопротивления  $M_c$  и от загрузки двигателя. Зависимость частоты вращения ротора двигателя от напряжения можно выразить следующим образом:

$$n_1 = n_0 \left( 1 - k_3 \frac{U_{\text{ном}}^2}{U^2} s_{\text{ном}} \right), \quad (1)$$

где  $n_0$  – синхронная частота вращения;  $k_3$  – коэффициент загрузки двигателя;  $s_{\text{ном}}$  – номинальное значение скольжения.

Из формулы (1) видно, что при малых нагрузках двигателя частота вращения ротора будет больше номинальной частоты вращения (при номинальной нагрузке двигателя). В таких случаях понижение напряжения не приводит к уменьшению производительности технологического оборудования, так как снижения частоты вращения двигателей ниже номинальной не происходит.

Для двигателей, работающих с полной нагрузкой, понижение напряжения приводит к уменьшению частоты вращения. Если производительность механизмов зависит от частоты вращения двигателя, то на выводах таких двигателей рекомендуется поддерживать напряжение не ниже номинального. При значительном снижении напряжения момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент, что приводит к «опрокидыванию» двигателя, т. е. к его остановке. Во избежание повреждений двигатель необходимо отключить от сети. Снижение напряжения ухудшает и условия пуска двигателя, так как при этом уменьшается его пусковой момент [3].

Практический интерес представляет зависимость потребляемой двигателем активной и реактивной мощности от напряжения на его выводах. В случае снижения напряжения на зажимах двигателя реактивная мощность намагничивания уменьшается (на 2–3 % при снижении напряжения на 1 %), при той же потребляемой мощности увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции.

Снижение напряжения приводит также к заметному росту реактивной мощности, теряемой в реактивных сопротивлениях рассеяния линий, трансформаторов и АД.

Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой им реактивной мощности. При этом удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки двигателя. В среднем на каждый процент повышения напряжения потребляемая реактивная мощность увеличивается на 3 % и более (в основном за счет увеличения тока холостого хода двигателя), что, в свою очередь, приводит к увеличению потерь активной мощности в элементах электрической сети.

**Трансформаторы, кабельные и воздушные линии.** При расчете потерь активной мощности в кабельных и воздушных линиях и трансформаторах в несимметричных режимах полагают, что эти потери определяются только током обратной последовательности. Несимметрия напряжений не оказывает заметного влияния на работу кабельных и воздушных линий, но при тех же условиях нагрев трансформаторов и сокращение срока их службы могут оказаться существенными.

Для анализа различных показателей работы электрооборудования с ним были проведены приборные исследования. Оборудование и приборы: ваттметры, мультиметры, трехфазный инвертор на базе микроконтроллера MB90F562 (Fujitsu) и силового интеллектуального модуля PS11033 (Mitsubishi), синхронный генератор и др. В процессе исследований изучалось влияние частоты, напряжения и температуры на электропотребление и рабочие характеристики АД.

В качестве выходных значений регистрировались: напряжение, ток, частота сети, активная и полная мощность, КПД трехфазного инвертора, напряжение, частота, момент на валу, линейные токи, cosφ, частота вращения, подводимая активная и полезная мощности на валу, КПД АД. В качестве объекта исследования были использованы несколько АД номинальной мощностью от 60 до 1700 Вт.

**Заключение.** Таким образом, обладая данными о количественном влиянии напряжения и других факторов на технические характеристики приемника электрической энергии, можно оценить экономический убыток от снижения надежности, эффективные режимы напряжения в различных точках сети и экономически обоснованные способы его поддержания.

#### Литература

1. Алферов, А. А. Автоматизированный выбор элементов и решение задач при проектировании систем электроснабжения напряжением до 1 кВ / А. А. Алферов, А. В. Дробов, В. Н. Галушко // Агротехника и энергообеспечение, 2017. – Т. 2, № 1 (14). – С. 62–74.
2. Дробов, А. В. Имитационная модель оценки параметров надежности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта / А. В. Дробов, В. Н. Галушко, И. С. Евдасев // Энергетика и ТЭК. – 2017. – № 2 (167). – С. 16–18.
3. Галушко, В. Н. Надежность электроустановок и энергетических систем / В. Н. Галушко, С. Г. Додолев // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 154 с.