

М.С. ГОРЯЙНОВ, студент гр. ГПа-231 (КузГТУ)
Научный руководитель В.М. ЕФРЕМЕНКО, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ «ЧЕРНИГОВСКАЯ»

Современные горные обогатительные предприятия предъявляют повышенные требования к качеству электроснабжения ввиду использования мощного энергопотребляющего оборудования и автоматизации технологических процессов. Обоганительная фабрика «Черниговская» обеспечивает обогащение угля мощностью около 6 млн тонн/год [1]. На предприятии применяются тяжелые насосы, дробильные машины, системы вентиляции и транспортирующие конвейеры, требующие большого пускового момента. Пусковые токи крупных асинхронных двигателей могут достигать сотен процентов от номинальных, что особенно критично при одновременном включении нескольких установок.

В литературе отмечается, что обогатительные предприятия характеризуются значительными нелинейными нагрузками: здесь используются частотно-регулируемые приводы и преобразовательные устройства, приводящие к появлению искажений и нестабильности в электросети [2]. Нарушения качества электроэнергии (фликер, гармоники, асимметрия) могут вызывать сбои в работе оборудования и снижать КПД технологических процессов. Согласно ГОСТ 32144-2013, напряжение электропитания в точке передачи потребителю должно укладываться в пределы $\pm 10\%$ от номинала [3]. Кроме того, стандарт задаёт допустимые уровни фликера (коротк. $P_{st} \leq 1,38$, длинн. $P_{ft} \leq 1,00$) [4] и гармонических составляющих.

На обоганительной фабрике применяются крупные насосные установки для перекачки рудной пульпы и оборотной воды. Обычно используются трёхфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (коэффициент полезного действия 85-97%) [5]. Такие двигатели обеспечивают пусковой момент 150-250% от номинального, что позволяет запускать насосы с тяжёлой нагрузкой [5]. В некоторых насосных агрегатах применяются частотные преобразователи, позволяющие регулировать скорость и ограничивать пусковой ток. Как отмечено в литературе, преобразователи частоты широко используются на насосах, вентиляторах и конвейерах. Они предоставляют защитные функции (ограничение тока при пуске, контроль температуры двигателя и т.д.), но при этом увеличивают нелинейность нагрузки и вносят гармонические искажения в сеть.

Дробильные машины требуют значительного крутящего момента для разрушения кускового угля. На дробилках, как правило, устанавливаются асинхронные двигатели с фазным ротором (88-96% КПД). Фазные двигатели позволяют реализовать плавный пуск и регулирование скорости (например, путём изменения сопротивления обмотки ротора). Пусковые токи у таких машин также велики, но благодаря фазному ротору и средствам регулирования механических нагрузок пуск проходит более мягко. Мощность отдельных дробильных агрегатов может достигать сотен киловатт, что увеличивает нагрузку на сеть при их включении.

Системы вентиляции заводских цехов и помещений обогатительной фабрики используют осевые и радиальные вентиляторы, приводимые в действие асинхронными двигателями. Для вентиляторов обычно применяются те же типы короткозамкнутых асинхронных двигателей (85-97% КПД) [5]. Их пусковые характеристики подобны насосам: большой момент инерции винта вызывает всплеск тока. Часто для регулирования воздушного потока вентиляционные приводы снабжают частотными преобразователями, что позволяет плавно изменять скорость. Как и у насосов, применение преобразователей обеспечивает дополнительные средства защиты, но требует фильтрации гармоник и поддержания коэффициента мощности.

Ленточные конвейеры - непрерывные системы перемещения угля на обогатительной фабрике. Конвейеры оснащаются длительно работающими асинхронными двигателями больших мощностей (до сотен кВт) [5]. В некоторых случаях приводы конвейеров также снабжают преобразователями частоты для регулирования скорости движения ленты. Частотные преобразователи находят применение на конвейерах наряду с другими механизмами (подъёмные краны, насосы, вентиляторы). В результате суммарная нагрузка на сеть при работе нескольких конвейеров может быть значительной, особенно если одновременно включено несколько секций.

Таким образом, на «Черниговской» фабрике сосредоточено большое количество мощных электроприводов различного назначения. Повышенные пусковые токи и наличие нелинейных компонентов (преобразователи частоты) создают риск превышения нормативов по качеству электроэнергии, особенно по уровню гармоник и перекосу фаз.

Качество электрической энергии оценивается по стандартным показателям: амплитуда и симметрия напряжения, частота, фликер, гармонический состав. ГОСТ 32144-2013 предъявляет следующие основные требования: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке поставки не должны превышать $\pm 10\%$ номинального значения [3]. Для сети потребителя следует обеспечивать условия, при которых фактические отклонения на зажимах электрооборудования не выходят за эти пределы. Колебания напряжения (фликер) регламентируются двумя показателями: кратковременной дозой фликера P_{st} (10-минутная оценка) и длительной P_{ft}

(2-часовая). ГОСТ устанавливает: $P_{st} \leq 1,38$, $P_{ft} \leq 1,00$ (в течение 100% времени) [4]. Это означает, что мерцание освещения и др. не должно быть заметно или вызывать дискомфорт при длительной работе.

Гармонические составляющие напряжения характеризуются суммарными коэффициентами. Для основных гармоник ГОСТ содержит таблицы допустимых значений в зависимости от уровня напряжения электро-сети и длительности наблюдения. Так, сумма высших гармоник напряжения (порядок 2-40) в сети 6-10 кВ не должна превышать 5% от основной гармоники. Требуемые коэффициенты асимметрии (обратная и нулевая последовательности) также нормированы.

При реальном анализе сети обогатительной фабрики необходимо сравнивать полученные параметры с этими нормами. Например, из-за одновременной работы тяжёлых двигателей возможно кратковременное проваливание напряжения при пуске, которые ГОСТ формально не нормирует, но рекомендует учитывать статистически. Высокая общая мощность (сотни мегавольт-ампер) и наличие преобразователей частоты указывают на потенциал появления фликера и гармоник. Если измерения показывают, что какие-либо показатели выходят за нормы, необходимо принимать меры (компенсация реактивной мощности, фильтрация гармоник, плавный пуск оборудования).

Электросеть фабрики должна поддерживать стабильную частоту 50 Гц и напряжение $\pm 10\%$. Одновременный пуск нескольких насосов или конвейеров может вызвать кратковременные провалы напряжения, поэтому важно их координировать. Преобразователи частоты снижают коэффициент мощности и вносят гармоники, что требует контроля их уровня. Фликер от вентиляторов и насосов обычно не превышает норм при условии плавного пуска (использование частотников или плавного пускателя).

Для обеспечения нормативного качества электроснабжения следует установить средства компенсации и фильтрации: например, синхронные компенсаторы или ШИМ-фильтры для уменьшения гармоник и повышения $\cos\phi$. При проектировании и эксплуатации электрооборудования необходимо соблюдать условия медленного включения тяжёлых нагрузок (увеличенные токовые уставки, программируемые пуски по очереди) для снижения фликера. Также рекомендовано регулярное измерение показателей сети (напряжения, фликера, гармоник). Учет результатов подобных измерений позволит своевременно обнаружить отклонения от норм и принять корректирующие меры. Соблюдение данных рекомендаций обеспечит надёжную и эффективную работу обогатительной фабрики с точки зрения электроснабжения.

Список литературы:

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Стандартинформ, 2014.

2. Костин, В.Н., Сычев, Ю.А., Сериков, В.А. Анализ качества электроэнергии в системе электроснабжения горно-обогатительного комбината с мощной нелинейной нагрузкой // Промышленная энергетика. – 2024. – №5. – С.50–57.

3. Пром-Партнер. Выбор электродвигателя в 2025 году [Электронный ресурс]. 04.09.2025. Режим доступа: <https://prom-partner.com/news/rukovodstvo-po-vyboru-elektrodvigatelya-v-2025-godu/> (дата обращения: 15.11.2025).

4. Ключев, Р.В. Оптимизация электропотребления обогатительной фабрики на основе статистического анализа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – №12. – С.150–161.

5. Industriation. Частотные преобразователи – виды, отличия и особенности [Электронный ресурс]. 17.10.2023. Режим доступа: <https://industriation.ru/chastotnye-preobrazovateli-vidy-otlichiya-i-osobennosti/> (дата обращения: 15.11.2025).

Информация об авторах:

Горайнов Михаил Сергеевич, студент гр. ГПа-231, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, mikhail.gor17@mail.ru

Ефременко Владимир Михайлович, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, evm.kegpp@kuzstu.ru