



ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ

*Саидова Нозима Аккуловна, ассистент Кафедра "Инженерия
электрических машин и электроприводов", Ташкентский
государственный технический университет*

*Шавазов Абдулатиф Ачилович - DSc, Институт проблем
энергетики АН РУз, зав. лабораторией*

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы оценки энергетической эффективности электромеханического комплекса с частотно-регулируемым электроприводом при переменной нагрузке. Особое внимание уделено влиянию изменения технологической нагрузки на потребление электрической энергии, коэффициент полезного действия электродвигателя, потери мощности и эксплуатационные характеристики электромеханической системы. Рассмотрены основные преимущества применения преобразователей частоты для регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей. Показано, что при переменной нагрузке традиционное нерегулируемое управление может приводить к избыточному потреблению электроэнергии, особенно при работе оборудования в режимах неполной загрузки.

Ключевые слова: электромеханический комплекс, частотно-регулируемый электропривод, энергетическая эффективность, переменная нагрузка, асинхронный двигатель.

Современное развитие промышленности, сельского хозяйства, коммунального хозяйства и других отраслей экономики сопровождается постоянным увеличением потребности в электрической энергии. Значительная часть электроэнергии расходуется электродвигателями,



которые обеспечивают работу насосных агрегатов, вентиляторов, компрессоров, конвейеров, станков и других технологических механизмов. В связи с этим повышение эффективности электромеханических комплексов является одним из важных направлений энергосбережения. Особенно актуальной является проблема эксплуатации электродвигателей при переменной нагрузке. В реальных технологических процессах нагрузка редко остается постоянной в течение всего рабочего цикла. Она может изменяться в зависимости от производительности оборудования, расхода рабочей среды, давления, скорости технологического процесса и других факторов. При использовании нерегулируемого электропривода двигатель часто продолжает работать с номинальной или близкой к номинальной скоростью даже в условиях снижения нагрузки. Это приводит к дополнительным потерям энергии [1].

Одним из эффективных способов решения данной проблемы является применение частотно-регулируемого электропривода. Изменение частоты питающего напряжения позволяет регулировать скорость вращения электродвигателя в соответствии с фактической потребностью технологического механизма. Такой подход особенно эффективен для механизмов с вентиляторной и насосной характеристикой, где потребляемая мощность существенно зависит от скорости вращения [2].

Для условий Узбекистана данное направление имеет особое значение, поскольку частотно-регулируемые электроприводы могут применяться в системах водоснабжения и орошения, насосных станциях, вентиляционных установках, промышленных агрегатах и других энергоемких объектах. Исследования узбекских ученых показывают перспективность использования частотного регулирования для повышения энергетической и экономической эффективности насосных установок. Электромеханический комплекс с частотно-регулируемым приводом



представляет собой совокупность электрической сети, преобразователя частоты, электродвигателя, механической передачи и технологического механизма. В зависимости от назначения комплекса в его состав также могут входить датчики технологических параметров, контроллеры и автоматизированная система управления. Основным элементом системы является преобразователь частоты, который обеспечивает изменение частоты и напряжения, подаваемых на электродвигатель. В результате появляется возможность плавного регулирования скорости вращения двигателя. При изменении технологической нагрузки система управления формирует соответствующий сигнал, после чего преобразователь частоты изменяет режим работы электродвигателя [3].

При постоянной нагрузке двигатель может работать в относительно стабильном режиме, однако при переменной нагрузке необходимо постоянно учитывать соответствие между потребной механической мощностью и электрической мощностью, поступающей от сети. Избыточная мощность в таком случае приводит к дополнительным потерям. Энергетическую эффективность электромеханического комплекса можно оценить через отношение полезной механической мощности к потребляемой электрической мощности:

$$\eta = P_{\text{пол}} / P_{\text{эл}} \cdot 100 \%,$$

где η — общий коэффициент полезного действия электромеханического комплекса; $P_{\text{пол}}$ — полезная механическая мощность на валу технологического механизма; $P_{\text{эл}}$ — электрическая мощность, потребляемая из сети.

При этом общий коэффициент полезного действия зависит от эффективности отдельных элементов системы:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{мех}},$$



где $\eta_{пр}$ — коэффициент полезного действия преобразователя частоты, $\eta_{дв}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя, $\eta_{мех}$ — коэффициент полезного действия механической передачи [4].

При переменной нагрузке необходимо оценивать не только максимальный коэффициент полезного действия, но и эффективность работы системы на протяжении всего рабочего цикла. Например, двигатель может длительное время функционировать при нагрузке, значительно меньшей номинальной. В таком режиме особенно важным становится правильное регулирование скорости. Частотно-регулируемый привод позволяет уменьшить скорость двигателя при снижении потребности технологического механизма. В насосных и вентиляционных системах это дает значительный энергетический эффект, поскольку мощность подобных механизмов сильно зависит от частоты вращения. Поэтому даже относительно небольшое снижение скорости может привести к существенному уменьшению потребляемой мощности [5].

Заключение

Таким образом, энергетическая эффективность электромеханического комплекса с частотно-регулируемым приводом при переменной нагрузке определяется способностью системы адаптировать режим работы электродвигателя к фактической технологической потребности. Использование преобразователя частоты позволяет регулировать скорость вращения двигателя, уменьшать избыточное потребление электрической энергии, снижать пусковые токи и механические нагрузки. Для объективной оценки эффективности необходимо учитывать весь энергетический канал — от электрической сети до технологического механизма. Основными критериями оценки должны выступать коэффициент полезного действия, удельное энергопотребление, величина



потерь, средняя и максимальная потребляемая мощность, а также экономия электроэнергии за расчетный период.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. — Ташкент: Фан ва технологиялар нашриёт матбаа уйи, 2021. — 952 с.
2. Камалов Т.С., Шавазов А.А., Сайфуллаева Л.И. Энергетическая и экономическая эффективность оросительных насосных станций с частотно-регулируемым электроприводом // Проблемы информатики и энергетики. — 2020.
3. Sapaev Kh., Umarov Sh., Abdullabekov I., Khamudkhanova N., Nazarov M. Scheme of effective regulation of pumping station productivity // AIP Conference Proceedings. — 2021. — Vol. 2402. — 060016.
4. Abdullabekov I., Sapaev Kh. An Energy Efficient Control System for Water Lifting Units of the Ramadan Pumping Station Based on Frequency Controlled Electric Drives // AIP Conference Proceedings. — 2023. — Vol. 2552. — 040023.
5. Насос қурилмаларида момент ва тезликни автоматик ростлаш масалалари // Инновацион технологиялар. — 2024. В работе использованы исследования и публикации специалистов в области автоматического регулирования насосных установок и энергоэффективности.
6. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. — Ташкент: Фан, 2014. — 348 с. — фундаментальный источник по частотно-регулируемым приводам насосных станций.