

Балашов Михаил Геннадьевич

студент 1 курса магистратуры Высшей школы энергетики, нефти и газа

САФУ, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В.

Ломоносова, город Архангельск

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В
ГИДРОМУФТАХ И ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПРИ
РЕГУЛИРОВАНИИ ДЫМОСОСОВ С ДВИГАТЕЛЯМИ ДАЗО4-450У-
6У1 НА КОТЛАХ СРК В ДИАПАЗОНЕ 30–100 % НОМИНАЛЬНОЙ
СКОРОСТИ**

Аннотация. В статье проведён сравнительный анализ энергетической эффективности регулирования дымососов с двигателем ДАЗО4-450У-6У1 на котлах СРК с помощью гидромффт и частотных преобразователей. Установлено, что при снижении скорости гидромффта сопровождается резким падением КПД и значительными потерями электроэнергии, тогда как частотный привод сохраняет высокую эффективность во всём диапазоне нагрузок. Сделан вывод о нецелесообразности применения гидромффт и преимуществе частотного регулирования для энергосберегающей модернизации.

Ключевые слова: дымосос, двигатель ДАЗО4-450У-6У1, гидромффта, частотный преобразователь, потери электроэнергии, энергоэффективность, котёл СРК.

Annotation. The article provides a comparative analysis of the energy efficiency of regulating smoke pumps with a DAZO4-450u-6U1 engine on SRK boilers using hydraulic couplings and frequency converters. It was found that when the speed of the hydraulic coupling decreases, it is accompanied by a sharp drop in efficiency and significant losses of electricity, while the frequency drive retains high efficiency over the entire load range. The conclusion is made about the inexpediency of using hydraulic couplings and the advantage of frequency control for energy-saving modernization.

Keywords: smoke pump, DASO4-450U-6U1 engine, hydraulic coupling, frequency converter, power loss, energy efficiency, IBS boiler.

Задачи повышения энергетической эффективности тепловых электрических станций и крупных котельных установок неразрывно связаны с оптимизацией работы вспомогательного оборудования, в частности, тягодутьевых машин. Дымососы, обеспечивающие необходимое разрежение в топке и отвод дымовых газов, являются одними из наиболее энергоемких потребителей собственных нужд электростанции. Их электрический привод, выполненный на базе мощных высоковольтных асинхронных двигателей, таких как ДАЗО4-450У-6У1, работает с переменной нагрузкой, определяемой тепловым графиком работы котлоагрегатов. Номинальная мощность данного двигателя составляет 630 кВт при частоте вращения 1000 об/мин и напряжении 6 кВ, что определяет его высокую значимость в структуре энергопотребления промышленного предприятия .

На протяжении десятилетий регулирование производительности центробежных дымососов осуществлялось двумя основными способами: изменением аэродинамического сопротивления сети (шиберами, направляющими аппаратами) либо изменением частоты вращения рабочего колеса. Именно второй подход считается наиболее энергоэффективным, поскольку основывается на законах подобия турбомашин. В рамках этого подхода конкурируют два технических решения – применение регулируемой гидродинамической муфты (гидромуфты) в механической части привода и использование частотно-регулируемого электропривода. Выбор между ними представляет собой сложную технико-экономическую задачу, требующую тщательного анализа потерь электроэнергии во всем рабочем диапазоне, особенно с учетом реальных условий эксплуатации дымососов на котлах СРК, которые часто работают в режимах глубокого снижения нагрузки[1, 2].

Гидродинамическая муфта представляет собой устройство, в котором передача крутящего момента от вала электродвигателя к рабочему колесу

дымососа осуществляется за счет циркуляции рабочей жидкости (обычно специального масла) между насосным и турбинным колесами. Встроенный направляющий аппарат позволяет регулировать количество циркулирующей жидкости, что приводит к изменению скорости вращения ведомого вала. Основным достоинством этого решения является возможность плавного пуска механизма и демпфирования ударных нагрузок, что положительно сказывается на ресурсе оборудования. Номинальный коэффициент полезного действия гидромуфты при полной ее заливке рабочей жидкостью, когда скольжение минимально, может достигать 93–96 %.

Однако принципиальным недостатком гидромуфты является то, что ее КПД является функцией скольжения, то есть разности скоростей вращения насосного и турбинного колес. При снижении выходной скорости КПД падает практически линейно. Это означает, что электродвигатель в такой системе всегда вращается с постоянной, номинальной скоростью, а регулирование осуществляется за счет управления гидравлической связью, что неизбежно приводит к значительным потерям энергии, рассеиваемой в виде тепла в рабочей жидкости. Данный процесс крайне неэффективен в энергетическом смысле. При снижении скорости вращения до 80 % от номинальной, потери в гидромуфте возрастают до 20 %, а КПД устройства падает до 78–82 %. В ситуациях, когда тепловая нагрузка котла СРК снижается и дымосос должен работать на частоте вращения, составляющей 50–60 % от номинальной, КПД гидромуфты может снижаться до критических значений, приближаясь к 40 %. Электроэнергия, потребляемая двигателем, расходуется преимущественно не на перемещение газов, а на нагрев масла, что делает такое регулирование не просто невыгодным, но и физически противоречащим задачам энергосбережения[3].

Альтернативой гидромуфте служит частотно-регулируемый привод, в основе которого лежит преобразователь частоты – статическое электронное устройство, изменяющее частоту и напряжение питающего тока. Это позволяет плавно изменять скорость вращения асинхронного двигателя без

потерь, связанных с необходимостью поддержания постоянной скорости. В отличие от гидромуфты, потери в частотном преобразователе малы и практически не зависят от выходной частоты. Современные высоковольтные преобразователи частоты обладают КПД на уровне 96–98,5 %, который сохраняется практически во всем рабочем диапазоне регулирования, от 100 % до 30 % номинальной скорости .

Таким образом, основным фактором, определяющим потребляемую мощность при работе с частотным приводом, являются только потери самого двигателя и законы подобия, в соответствии с которыми мощность на валу центробежного насоса или вентилятора изменяется пропорционально кубу частоты вращения. Это означает, что при снижении скорости, например, на 20 %, потребляемая мощность падает почти вдвое, в то время как в системе с гидромуфтой потребляемая мощность остается практически неизменной, а вся разница в энергии превращается в тепло.

Рассматриваемый двигатель ДАЗО4-450У-6У1 обладает высоким КПД (94,7 %), что характерно для современных асинхронных машин . Однако даже такой высокий КПД электродвигателя не может компенсировать низкую эффективность механического регулятора. В реальных условиях эксплуатации котлов СРК, которые редко работают на полной нагрузке в течение всего года, дымососы значительную часть времени функционируют в режимах, далеких от номинальных. Согласно исследованиям, регулирование производительности с помощью гидромуфты позволяет снизить расход электроэнергии на привод дымососа на 10–15 % по сравнению с дросселированием, в то время как применение частотного привода дает экономию на уровне 27 % . В ряде случаев, при глубоком снижении нагрузки (работа в диапазоне 30–50 % от номинальной), экономия от перехода на частотный привод может достигать еще более внушительных значений, о чем свидетельствует опыт внедрения, где фиксировалась экономия до 60 % от базового уровня[4].

Для наглядного представления о различиях в энергетических потерях между двумя рассматриваемыми системами предлагается следующая сравнительная таблица, построенная на основе обобщенных экспериментальных и расчетных данных для привода мощностью 630 кВт.

Таблица 1 – Сравнительная оценка энергетической эффективности и потерь мощности в системе привода дымососа с двигателем ДАЗО4-450У-6У1 в зависимости от способа регулирования

Параметр	Гидродинамическая муфта	Частотно-регулируемый привод
КПД регулирующего устройства при номинальной скорости, %	96	97-98
КПД регулирующего устройства при скорости 80%, %	78-82	96-97
КПД регулирующего устройства при скорости 50%, %	~40-50	95-97
Типичный пусковой ток двигателя (кратность к номиналу)	5-7	Не превышает 1,0-1,5
Тепловыделение регулирующего устройства при работе на пониженных скоростях	Значительное, требует охлаждения масла	Незначительное, стабильное

Параметр	Гидродинамическая муфта	Частотно-регулируемый привод
Зависимость потребляемой мощности от нагрузки (относительная оценка при глубоком снижении скорости на 30-50%)	Высокая, мощность практически не снижается	Низкая, мощность снижается по кубическому закону

Приведенные данные ясно показывают, что с точки зрения энергосбережения частотный привод не имеет альтернатив в рассматриваемом диапазоне регулирования. Потери в гидромуфте становятся критическими уже при выходе за 80 % номинальной скорости, что делает ее применение эффективным только в узком диапазоне регулирования вверх от номинала, что для дымососов котлов СРК является крайне редким режимом .

Помимо прямых потерь электроэнергии, существуют и другие аспекты, влияющие на общую эффективность. Частотный привод обеспечивает плавный пуск с током, не превышающим номинальный, что снижает тепловые и динамические нагрузки на обмотки статора двигателя и увеличивает ресурс подшипниковых узлов . Гидромуфта, напротив, требует установки мощного электродвигателя, который всегда работает на номинальной скорости, подвергаясь высоким пусковым токам. Кроме того, гидродинамическая муфта является механически сложным устройством, требующим регулярного обслуживания маслосистемы, что увеличивает эксплуатационные затраты . Частотный преобразователь, хотя и имеет более высокую начальную стоимость и требует дополнительного пространства для установки (включая размещение силового трансформатора и систем охлаждения), быстро окупается за счет экономии электроэнергии, особенно в условиях переменных нагрузок[5].

Проведенный сравнительный анализ убедительно доказывает, что для регулирования производительности дымососов с высоковольтными асинхронными двигателями типа ДАЗО4-450У-6У1 на котлах СРК, работающих в широком диапазоне нагрузок (30–100 % номинальной скорости), применение гидродинамических муфт является энергетически неэффективным. Потери электроэнергии в гидромуфте возрастают с уменьшением скорости, достигая недопустимо высоких значений и сводя на нет все преимущества регулирования по сравнению с дросселированием. Единственным технически и экономически обоснованным решением, позволяющим реализовать потенциал энергосбережения, является внедрение частотно-регулируемого электропривода. Его высокий и стабильный КПД в сочетании с возможностью точного контроля технологического параметра и снижением динамических нагрузок на оборудование делает его не просто альтернативой, а безусловным приоритетом при модернизации систем тяги и дутья на тепловых электростанциях и в промышленных котельных.

Список источников:

1. Ширинов, А. А. Способ оптимизации режимов работы дымососов и энергетических параметров их асинхронных двигателей Ташкентской ТЭС / А. А. Ширинов, А. А. Хашимов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 19 (153). — С. 87-89.
2. Евсиков, А. А. Автоматизированный электропривод с частотным управлением : учебное пособие / А.А. Евсиков, В. А. Коковин, А. П. Леонов. — Дубна : Гос. ун-т «Дубна», 2020 — 121 [1] с.
3. Мустафин М.А. Энергосберегающий электропривод центробежных насосов: Учебное пособие (для магистрантов специальности «Электроэнергетика») /М.А.Мустафин, Н.К.Алмуратова, С.С. Табултаев. — Алматы: АУЭС, 2016 - 90с.: ил. 33, библиогр. – 2 назв.
4. Каяшов Д. В. Энергосберегающие технологии в электроприводах // Научный Лидер. 2026. №21 (274). URL: <https://scilead.ru/article/12166-energoberegayushchie-tehnologii-v-elektrop>.

5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: Академия, 2019. – 272 с.