

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Xamzayev Akbar Abdalimovich – Associate Professor of the Department of Mining Electromechanics, PhD; Navoi State University of Mining and Technologies, 72 M. Torobiy Street, Navoi, 210100, Uzbekistan. E-mail: akbar-86-86@mail.ru
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-4362-2488>

Usmonov Maftunjon Zohidjon o'g'li – Assistant of the Department of Mining Electromechanics, PhD Student; Navoi State University of Mining and Technologies, 72 M. Torobiy Street, Navoi, 210100, Uzbekistan. E-mail: usmonovmaftunjon@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0716-4775>

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВУХВАЛЬНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

¹Бобожанов М.К., ²Рисмухамедов Д.А., ¹Туйчиев Ф.Н., Розметов Х.Э., Маткаримов С.К.

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан;

²Алмалыкский государственный технический институт, Алмалык, Узбекистан

³Ургенчский государственный университет, Узбекистан

Doi: 10.5281/zenodo.21591162

АННОТАЦИЯ В данной статье приведена информация о возможности модернизации электропривода двухвальных смесителей путём применения двухскоростных асинхронных двигателей с полюсопереключаемыми обмотками. Проведён анализ существующих конструкций и режимов работы двухвальных смесителей и предложена новая циклограмма технологического процесса работы. Использование второй скорости для облегчения процесса пуска и получения пробы смеси позволяет упростить технологический процесс и достичь экономии электроэнергии, время продолжения цикла уменьшается на 7 минут. Экономия электроэнергии за один год составляет 2773,51 кВт·час, удельный расход энергии на единицу продукции уменьшается на 20 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА двухвальный смеситель, полюсопереключаемая обмотка, циклограмма работы смесителя, экономия электроэнергии, объём изготовления смеси, удельный расход электроэнергии на единицу продукции.

ВВЕДЕНИЕ

Модернизация двухвальных смесителей является актуальной задачей, так как это необходимо для повышения однородности смеси, сокращения времени замеса, снижения энергопотребления, улучшения качества конечного продукта и адаптации к сложным материалам.

Усовершенствование двухвальных смесителей связано с повышением интенсивности и качества смешивания, снижением энергозатрат за счет оптимизации рабочих органов, внедрения трехмерного принципа перемешивания (радиальное и осевое), что сокращает время процесса и улучшает однородность продукта.

Основными направлениями совершенствования двухвальных смесителей являются улучшение конструкции рабочих органов, внедрение концепции трехмерного смешивания, повышение энергоэффективности, производительности и качества [1-4].

Повышение энергоэффективности включает в себя снижение потребления энергии, где благодаря более эффективному перемешиванию достигается тот же результат при меньших затратах энергии, а также оптимизацию привода путём совершенствования приводов рабочих органов для снижения потерь и повышения КПД.

Двухскоростные асинхронные двигатели могут быть применены на приводе двухвальных смесителей с целью обеспечения разных режимов работы: низкую скорость для интенсивного перемешивания или запуска с полным бункером и высокую — для более легких смесей или ускорения процесса, используя полюсопереключаемые обмотки (ППО) для создания двух фиксированных скоростей без частотных преобразователей, что упрощает управление и повышает надежность для специфичных задач, требующих дискретного изменения режимов. Асинхронные двигатели отличаются простотой конструкции и устойчивостью к перегрузкам, что очень важно

для работы с вязкими составами в двухвальных камерах. Электроприводы на основе двухскоростных полюсопереключаемых двигателей являются недорогими и простыми в обслуживании по сравнению с частотно-регулируемыми приводами (ЧРП).

Во всем мире ведутся научные исследования по созданию регулируемых электроприводов, обеспечивающих требуемые параметры по усовершенствованию и автоматизации существующих электроприводов с целью экономии энергии и ресурсов. В этом направлении одной из приоритетных задач является разработка регулируемых электроприводов на базе многоскоростных двигателей с улучшенными энергетическими показателями. При этом одной из актуальных задач является разработка новых схем ППО с высокими электромагнитными свойствами и простой технологией изготовления для использования в многоскоростных двигателях.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

Изучение режимов работы двухвальных смесителей

Смеситель предназначен для разминания и перемешивания с одновременным подогревом или охлаждением пастообразных масс, клея, замазок, мягких пластических масс, веществ и продуктов с повышенной вязкостью и многих других веществ (рис. 1).

Рабочая поверхность выполнена из нержавеющей стали, что позволяет использовать смеситель в пищевой и фармацевтической промышленности.

Материал камеры и лопастей — из коррозионностойкой стали, ротор имеет форму Z, рабочий объем камеры составляет 400 литров.



Рис. 1. Общий вид двухвального смесителя

Характерной особенностью работы таких смесителей являются сложные условия запуска электропривода. При этом инерция смесителя и большие моменты сопротивления при пуске определяются в зависимости от условия загрузки. Как правило, при существующих релейно-контакторных схемах управления электроприводами пуск смесителя осуществляется

путем многократного запуска (отключения) асинхронного двигателя и вращения его барабана через реверс. Это приводит к ускоренному износу механических трансмиссий и самого двигателя, а также уменьшению его ресурсов.

Кроме того, вращение Z-образных лопастей обычно наблюдается при нагрузке на редуктор, входящий в состав электропривода, а также на вал и на подшипники электродвигателя. Технические данные смесителя типа ЗЛ с Z-образными лопастями приведены в табл. 1.

Это приводит к износу зубьев шестерен и быстрому выходу из строя вала и подшипников электродвигателя. По имеющейся информации, срок между ремонтами асинхронного двигателя и редуктора составляет 4-6 месяцев.

Таблица 1

Технические данные смесителя типа ЗЛ с Z-образными лопастями

№	Материал смесительной камеры и роторов нержавеющая сталь	Параметр	Единица измерения
2	Рабочий объем смесительной камеры	400	литр
3	Частота вращения ротора	1500	об/мин
4	Частота вращения шнека	40	об/мин
5	Диаметр шнека	160	мм
6	Мощность электродвигателя привода	18,5	кВт
7	Мощность электродвигателя гидравлики	5	кВт
8	Способ охлаждения смесительной камеры	вода	—
9	Способ нагрева смесительной камеры	паровая рубашка	—

Анализ способов запуска смесителей и других высокоинерционных устройств

При рассмотрении возможных способов запуска асинхронных двигателей следует учитывать следующие основные правила:

1) при пуске двигатель должен иметь достаточно большой пусковой момент, превышающий статический момент сопротивления на валу, чтобы его ротор вращался и достиг номинальной скорости вращения;

2) пусковой ток должен быть ограничен величиной, не вызывающей повреждения двигателя и не влияющей на нормальную работу сети;

3) схема запуска должна быть максимально простой, а количество пусковых устройств — небольшим, а стоимость — низкой.

При запуске асинхронного двигателя в активном сопротивлении его вторичных цепей выделяется тепловая энергия, равная кинетической энергии, идущей на вращение вращающихся масс.

При работе под нагрузкой количество выделяемой энергии соответственно увеличивается. Энергия, выделяющаяся из первичных цепей, в несколько раз превышает энергию, выделяемую из вторичных цепей. При частых пусках, а также в очень тяжёлых условиях пуска, т. е. когда вращающиеся массы вращающихся механизмов велики, возникает опасность перегрева обмоток двигателя.

Чем больше допустимое количество пусков в час асинхронного двигателя в режиме прогрева, тем ниже номинальная мощность двигателя и тем меньше вращающиеся массы, присоединённые к его валу. Двигатели мощностью 3-20 кВт в нормальных условиях допускается запускать до 5-10 раз в час.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проще по конструкции и обслуживанию, а также дешевле и надёжнее двигателей с фазным ротором, и поэтому они используются чаще.

Самый простой способ запуска двигателя с короткозамкнутым ротором - подключить обмотку статора непосредственно к сети при номинальном напряжении. Такой способ называется прямым пуском, при этом пусковой ток двигателя [5,6]:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} \cdot (4 \div 7). \quad (1.1)$$

Современные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором спроектированы с возможностью прямого пуска с учетом величины электродинамических сил, действующих на обмотки, и условий нагрева обмоток в процессе пуска. Поэтому, когда сеть достаточно сильна и пусковые токи двигателей не вызывают недопустимо большого падения напряжения в сети (не более 10-15%), возможен прямой пуск.

Самый распространенный способ облегчить пуск электродвигателей — это запуск электродвигателя при низком напряжении. Известно, что уменьшение напряжения, подаваемого на электродвигатель, приводит к пропорциональному уменьшению пускового тока. Существует несколько способов снизить напряжение, подаваемое на двигатель.

Если запуск двигателя с короткозамкнутым ротором непосредственно при условии пониженного напряжения в сети невозможен, применяют различные способы запуска двигателя при пониженном напряжении.

Эти методы запуска используются, когда двигатель можно запустить на холостом ходу или без нагрузки. Необходимость запуска при низком напряжении часто встречается у высоковольтных двигателей большой мощности.

Для асинхронных двигателей, обмотки статора которых соединены треугольником, пуск можно осуществить переключением обмотки статора со звезды на треугольник. При включении двигателя в сеть переключатель устанавливается в положение «звезда», при котором обмотка статора соединяется в звезду. При этом фазное напряжение в статоре снижается в $\sqrt{3}$ раз, ток в фазках обмотки двигателя также снижается в $\sqrt{3}$ раз.

Кроме того, при соединении обмоток в звезду ток линии равен фазному току, тогда как при соединении этих обмоток треугольником ток линии в $\sqrt{3}$ раз превышает ток фазы.

Отсюда следует, что, пересоединив обмотки статора в звезду, можно добиться многократного снижения линейного тока.

После достижения ротором двигателя скорости, близкой к частоте вращения, переключатель быстро переводится в положение «треугольник», и фазные обмотки двигателя оказываются под номинальным напряжением. Рассматриваемый способ пуска имеет недостаток: уменьшение фазного напряжения в $\sqrt{3}$ раз наблюдается при трехкратном уменьшении пускового момента, поскольку пусковой момент асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения:

$$M_{\text{пуск}} = k \cdot U^2. \quad (1.2)$$

Столь значительное снижение пускового момента не позволяет использовать этот способ пуска для двигателей со значительной нагрузкой на валу. Такое снижение пускового напряжения применимо только к двигателям, работающим с обмоткой статора, соединенной треугольником.

Более универсальный способ пуска — снижение напряжения, подаваемого на двигатель, с помощью реакторов (реактивных катушек — дросселей).

В этом случае ток в сети поступает в обмотку статора через реакторы, с падением напряжения (здесь x_p — индуктивное сопротивление реактора, Ом). В результате на обмотку статора подается пониженное напряжение:

$$U_1' = U_{1\text{ном}} - jI_p x_p. \quad (1.3)$$

После разгона ротора двигателя номинальное напряжение подается на обмотку статора. Недостатком данного способа пуска является то, что снижение напряжения приводит к уменьшению пускового момента.

При пуске двигателя через понижающий автотрансформатор пониженное напряжение U_1' подаётся на двигатель в результате соединения обмоток автотрансформатора в звезду.

Пуск через автотрансформатор осуществляется в три этапа:

— на первом этапе на двигатель подаётся напряжение

$$U_1 = (0,5 \div 0,6) \cdot U_{\text{ном}}, \quad (1.5)$$

— на втором этапе

$$U_1 = (0,7 \div 0,8) \cdot U_{\text{ном}}, \quad (1.6)$$

наконец, на третьем этапе на двигатель подаётся напряжение $U_{\text{ном}}$.

Как и предыдущие способы низковольтного пуска, автотрансформаторный пуск сопровождается уменьшением пускового момента, так как величина момента прямо пропорциональна квадрату напряжения. С точки зрения снижения пускового тока метод запуска через автотрансформатор лучше, чем метод запуска через реактор, поскольку пусковой ток уменьшается в $\frac{U'_1}{U_{\text{ном}}}$ раз при пуске через реактор и

в $\left(\frac{U'_1}{U_{\text{ном}}}\right)^2$ раз при пуске через автотрансформатор.

Для облегчения запуска электродвигателей в тяжёлых условиях используются многоскоростные асинхронные двигатели, которые обеспечивают ступенчатый пуск, при котором начальный разгон осуществляется на низкой скорости, а затем электродвигатель переходит на высокие обороты.

Следует отметить, что двухступенчатый пуск с использованием полюсопереключаемых двигателей является малозатратным и надёжным способом включения таких механизмов. Наличие большого пускового момента двигателя со стороны малой скорости является очень положительным моментом, так как первоначальное начало вращения ротора в вязкой среде очень важен.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Модернизация технологического процесса работы двухвального смесителя

При существующем технологическом процессе работы двухвального смесителя запуск электродвигателя осуществляется на скорости 1500 об/мин путём подачи полного напряжения сети к выводам. После прохождения 30 минут двигатель отключается от сети для получения пробы смеси. Время паузы длится около 2 минут, после истечения которого вновь запускается смеситель, и через 13 минут работы опять происходит отключение. Взятие второй пробы также длится около двух минут, потом двигатель аналогично включается, и финальная часть работы по технологическому процессу длится 8 минут. Полный цикл работы смесителя составляет 55 мин, после которого двигатель останавливается, барабан опрокидывается и начинается следующий цикл работы. Цикл работы двухвального смесителя показан на рис. 2, а.

Использование двухскоростного асинхронного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой даёт возможность изменить технологический процесс

работы двухвального смесителя. Для этой цели разработан новый ДД с ППО с соотношением скоростей 1500/750 об/мин. Для электропривода двухвального смесителя типа ВЛ-400-ВРУ, установленного в 35-м отделении научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский ГМК», был спроектирован и изготовлен новый двухскоростной двигатель марки АИР180М8/4 с полюсопереключаемой обмоткой [5-9].

В этом случае старт работы смесителя осуществляется прямым пуском ДД с ППО на скорости 750 об/мин; после работы на этой скорости в течение 20 минут АД переключается на большую скорость 1500 об/мин. По истечении 20 минут работы на большой скорости происходит переключение двигателя обратно на низкую скорость 750 об/мин с целью снятия пробы для проверки состояния смеси.

Снятие пробы будет осуществляться при работе нового ДД на скорости 750 об/мин и длится около 2 минут. Затем, т. е. после снятия пробы, двигатель снова переключается на 1500 об/мин, последний период работы установки составляет около 5 минут, затем двигатель переключается на скорость 750 об/мин и после 1 минуты работы отключается (рис. 2, б).

Общее время протекания технологического процесса изготовления смеси составляет $t_{\text{цикл}} = 48$ минут, т. е. на 7 минут короче, чем при существующем двигателе. За этот период изготавливается смесь весом 580 кг.

Как можно увидеть из вышеприведенного, в случае использования двухскоростного двигателя на приводе смесителя время технологического процесса уменьшается при изготовлении такой же массы готовой смеси и можно достичь экономии электроэнергии.

Для электропривода двухвального смесителя типа ВЛ-400-ВРУ, установленного в 35-м отделении научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский ГМК», был спроектирован и изготовлен новый двухскоростной двигатель марки АИР180М8/4 на основе разработанной полюсопереключаемой обмотки, который прошел производственные экспериментальные испытания в заводских условиях. Номинальные мощности двухскоростного асинхронного двигателя с ППО типа АИР 180 4/8 составляют 18,5/13,9 кВт.

Усовершенствованный технологический процесс с внедрением новой системы электропривода на основе двухскоростного двигателя с ППО для смешивания материала с целью изготовления огнеупорного кирпича показан на рис. 2, б.

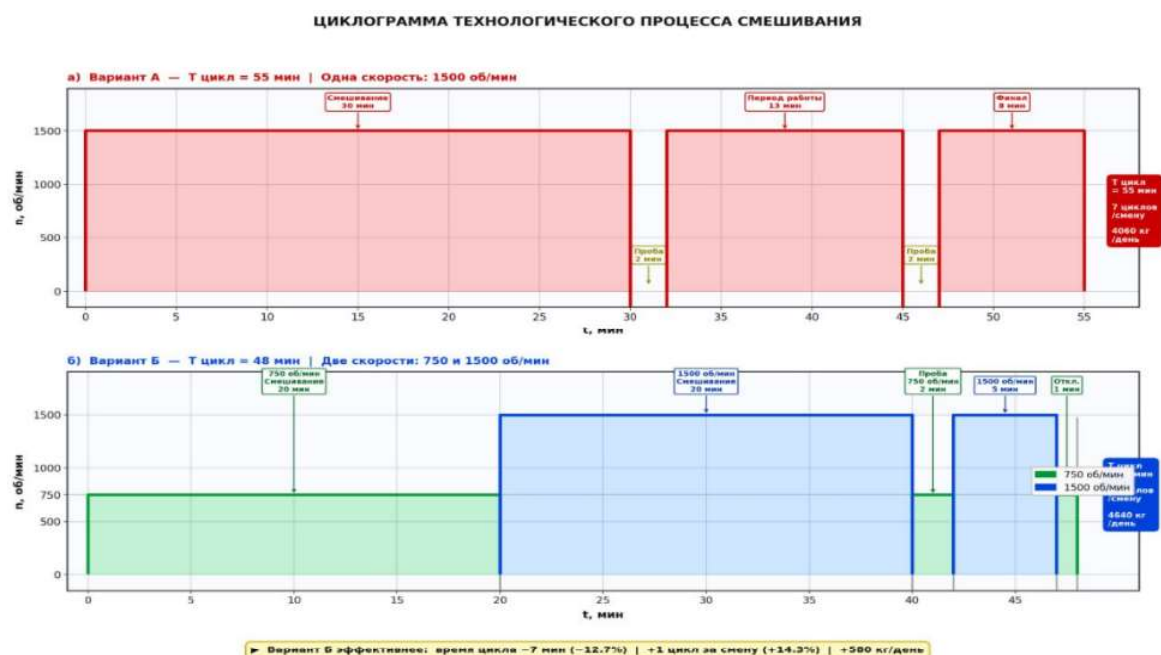


Рис. 2. Циклограммы технологического процесса двухвального смесителя: а) с существующим двигателем; б) с новым ДД с ППО

Оценка эффективности внедрения ДД с ППО

Потребление электроэнергии за один цикл двухскоростным двигателем определяется как сумма потребленной электроэнергии четырех периодов согласно циклограмме работы двухвального смесителя с двухскоростным асинхронным двигателем с ППО:

$$\mathcal{E}_{\text{цикл}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5, \quad (2.1)$$

где: $\mathcal{E}_1$ — количество потребленной электроэнергии за первый период работы двухвального смесителя на скорости 750 об/мин;

$\mathcal{E}_2$ — количество потребленной электроэнергии за второй период работы двухвального смесителя на скорости 1500 об/мин;

$\mathcal{E}_3$ — количество потребленной электроэнергии за третий период работы двухвального смесителя на скорости 750 об/мин;

$\mathcal{E}_4$ — количество потребленной электроэнергии за четвертый период работы двухвального смесителя на скорости 1500 об/мин;

$\mathcal{E}_5$ — количество потребленной электроэнергии за пятый период работы двухвального смесителя при торможении на скорости 750 об/мин.

Общее количество электроэнергии, потребленной двухскоростным АД за один цикл, равно:

$$\mathcal{E}_{\text{цикл}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 = 5,33 + 6,78 + 0,53 + 1,71 + 0,269 = 14,619 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

В течение одного цикла изготовлена смесь массой $M_{\text{смесь, цикл}} = 580 \text{ кг}$.

За счёт укорочения времени цикла при внедрении ДД с ППО двухвальный смеситель будет выполнять за одну смену 8 циклов.

Результаты расчёта объёма изготовленной смеси и расхода электроэнергии на производство смеси на 2025 год при существующем двигателе и при новом ДД с ППО приведены в табл. 2 и 3.

Был проведён расчёт удельного расхода электроэнергии на единицу продукции при существующем АД и с использованием новой системы АД с ППО. Сравнение показателей удельного расхода электроэнергии показало, что при существующем односкоростном двигателе этот показатель был равен 0,0315 кВт·час за килограмм готовой продукции, тогда как при использовании нового двигателя — 0,0252 кВт·час/кг, т. е. уменьшение величины удельного расхода составляет 20 %.

Также нужно отметить, что для переключения скоростей ДД с ППО можно использовать бесконтактные устройства на основе полупроводниковых элементов. В этом случае повышается надёжность системы электропривода двухвального смесителя, поскольку бесконтактная коммутация системы на основе интеллектуального подхода приводит к усовершенствованию любого электрического оборудования.

Таблица 2
Объём смеси и расход электроэнергии в 2025 году с существующим АД

№	Месяц	Дни	Время работы,	Изготовленный объём смеси,	Расход электроэнергии,
			часы	кг	кВт·час
1	январь	22	176	89 320	2815,12
2	февраль	20	160	81 200	2559,2
3	март	18	144	73 080	2303,28
4	апрель	22	176	89 320	2815,12
5	май	21	168	85 260	2687,16
6	июнь	20	160	81 200	2559,2
7	июль	23	184	93 380	2943,08
8	август	21	168	85 260	2687,16
9	сентябрь	21	168	85 260	2687,16
10	октябрь	22	176	89 320	2815,12
11	ноябрь	20	160	81 200	2559,2
12	декабрь	22	176	89 320	2815,12
	За год	252	2016	1 023 120	32 245,42

Таблица 3
Расчет объёма смеси и расхода электроэнергии в 2025 году с новым ДД с ППО

№	Месяц	Дни	Время работы,	Изготовленный объём смеси,	Расход электроэнергии,
			часы	кг	кВт·час
1	январь	22	176	102 080	2572,94
2	февраль	20	160	92 800	2339,04
3	март	18	144	83 520	2105,14
4	апрель	22	176	102 080	2572,94
5	май	21	168	97 440	2445,99
6	июнь	20	160	92 800	2339,04
7	июль	23	184	106 720	2689,89
8	август	21	168	97 440	2445,99
9	сентябрь	21	168	97 440	2445,99
10	октябрь	22	176	102 080	2572,94
11	ноябрь	20	160	92 800	2339,04
12	декабрь	22	176	102 080	2572,94
	За год	252	2016	1 169 280	29 471,91

ВЫВОДЫ / ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведённых исследований можно прийти к выводу, что применение нового асинхронного двигателя с ППО позволит:

- снижение удельного расхода электроэнергии на 20 %;
- повышение энергоэффективности производства;

– сокращение энергозатрат на выпуск единицы продукции.

Годовое потребление электроэнергии уменьшается с 32 245 кВт·часов до 29 472 кВт·ч, что позволяет снизить энергозатраты на 8,6 %. Рост производительности составляет около 14 %.

Таким образом, можно констатировать, что модернизация электропривода двухвального смесителя путём использования двухскоростного

асинхронного двигателя с ППО является обоснованным решением.

В научно-производственном объединении по производству редких металлов и твердых сплавов

АО «Алмалыкский ГМК» внедрен новый ДД с ППО на приводе двухвального смесителя типа ВЛ-400-ВРУ и получен акт внедрения.

IKKI VALLI ARALASHTIRGICH ELEKTR YURITMASINI MODERNIZATSIYA QILISH

¹Bobojanov M.K., ²Rismuxamedov D.A., ¹Tuychiev F.N., Rozmetov X.E., Matkarimov S.K.

¹*Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston;*

²*Olmaliq davlat texnika instituti, Olmaliq, O'zbekiston*

³*Urganch davlat universiteti, O'zbekiston*

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada qutblar soni o'zgaruvchan chulg'amli ikki tezlikda ishlovchi asinxron motorlardan foydalangan holda ikki valli aralashtirgichlarning elektr yuritmasini modernizatsiya qilish imkoniyati haqida ma'lumotlar keltirilgan. Mavjud ikki valli mikser konstruksiyalari va ish rejimlari tahlili o'tkazildi va yangi texnologik jarayon diagrammasi taklif qilingan. Ishga tushirish va aralashma namunalarini olishni osonlashtirish uchun ikkinchi tezlikdan foydalanish jarayonni soddalashtiradi va energiya tejashga erishish imkonini beradi, tsikl vaqtini 7 daqiqaga qisqartiradi. Yillik energiya tejash 2773,51 kVt/soatni tashkil etadi va mahsulot birligiga nisbatan solishtirma energiya sarfi 20% ga kamayadi.

KALIT SO'ZLAR

ikki valli aralashtirgich, qutblar soni o'zgaruvchan chulg'am, aralashtirgichning ish diagrammasi, energiya tejash, aralashma ishlab chiqarish hajmi, mahsulot birligiga nisbatan solishtirma energiya sarfi.

MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF TWIN-SHAFT MIXERS

¹Bobojanov M.K., ²Rismukhamedov D.A., ³Tuychiev F.N., Rozmetov Kh.E., Matkarimov S.K.

¹*Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan;*

²*Almalyk State Technical Institute, Almalyk, Uzbekistan*

³*Urgench state university, Uzbekistan*

ABSTRACT

This article presents information on the possibility of modernizing the electric drive of twin-shaft mixers using two-speed induction motors with pole-changing windings. An analysis of existing twin-shaft mixer designs and operating modes was carried out, and a new technological process diagram is proposed. Using the second speed to facilitate start-up and mixture sampling simplifies the process and enables energy savings, reducing the cycle time by 7 minutes. The annual energy savings amount to 2,773.51 kWh, and the specific energy consumption per unit of product is reduced by 20%.

KEYWORDS

twin-shaft mixer, pole-changeable winding, mixer operating diagram, energy savings, mixture production volume, specific energy consumption per unit of output.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. — 2014.
2. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения: Дис. ... д-ра техн. наук. — Ташкент, 2006. — 243 с.
3. Rismukhamedov D., Shamsutdinov K., Rozmetov X., Khusanov Sh., Rismukhamedov S. Improvement of electromagnetic properties of pole-changing windings // IV International Scientific and Technical Conference "Actual Issues of Power Supply Systems". AIP Conf. Proc. 3331, 040058-1–040058-8 (2025). <https://doi.org/10.1063/5.0305959>. Published under an exclusive license by AIP Publishing. ISBN 978-0-7354-5286-2.
4. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А. Новые двухскоростные двигатели с одной обмоткой // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». — 2001. — №1. — С. 46–50.

5. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А. и др. Разработка и анализ свойств полюсопереключаемых обмоток и двигателей на их основе // Промеж. отчет по ГНТП-18.4 «Энерго- и ресурсосбережение посредством двухскоростных полюсопереключаемых асинхронных машин». — Ташкент, 2004. — 73 с.

6. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Розметов Х.Э. Разработка полюсопереключаемой обмотки для асинхронного двигателя // "Modern education and development" international interdisciplinary research journal. — 11.06.2024.

7. Rozmetov X.E. Development of a pole-switching winding on pole ratio 8:4 // TADQIQOTLAR.UZ. — 2024. — 43(1). — P. 177–180. Retrieved from <http://tadqiqotlar.uz/index.php/new/article/view/4171>.

8. Шамсутдинов Х.Ф., Розметов Х.Э. Разработка и исследование полюсопереключаемых обмоток на близкое соотношение полюсов. — Ургенч, 2025. — С. 550–553.

9. Рисмухамедов Д.А., Йулдашев Х.Е., Муминов А.Н., Туйчиев Ф.Н., Розметов Х.Э. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с соотношением пар полюсов 8/4 при 48 пазах статора. Патент на изобретение IAP 07040. Оpubл. 29.07.2022 г.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Bobojonov Maxsud Kalandarovich	- DSc. Professor. Professor of the Department of Power Supply. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan. E-mail: mbobojanov@yahoo.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0244-2932
Dauletbek Rismukhamedov	— PhD, Associate Professor; Almalyk State Technical Institute, 45 Mirzo Ulugbek Street, Almalyk, Uzbekistan. E-mail: drismuxamedov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9458-0522
Tuychiev Furkat	— Associate Professor of the Department, PhD; Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 2 University Street, Almazar District, Tashkent 100095, Uzbekistan. E-mail: tuychievfn@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4858-3690
Rozmetov Xamza Ernazarovich	— Senior lecturer of the Department of Mining Electromechanics, Almalyk State Technical Institute. xamza@gmail.com , ORCID ID: http://orcid.org/0009-0005-1061-4262
Matkarimov Sardorbek	— Urgench state university Urgench, Uzbekistan, E-mail: sardorbek@urdu.uz , ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-2027-3204