

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ЗАМЕНЕ МАЛОЗАГРУЖЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Паноев А.Т.<sup>1</sup>, Рахматов Б.Б.<sup>2</sup> Email: Panoyev630@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Паноев Абдулло Тиллоевич - докторант;

<sup>2</sup>Рахматов Бекзод Бешимович – магистрант,  
кафедра электротехники,  
Бухарский инженерно-технологический институт,  
г. Бухара, Республика Узбекистан

**Аннотация:** в данной статье изложен метод использования асинхронного электродвигателя в целях энергосбережения электроэнергии. Текстильные предприятия являются наиболее распространенными предприятиями. В Бухарской области действуют более 80-90 текстильных предприятий. Анализ потенциала энергосбережения в текстильной промышленности показывает, что существенную экономию электрической энергии можно получить при повышении эффективности работы асинхронного электродвигателя. Разработка энергосберегающих режимов электроустановок текстильной промышленности с применением более современного регулируемого асинхронного электродвигателя.

**Ключевые слова:** коэффициент мощности асинхронного двигателя, активная, реактивная, полная мощность, нагрузка коэффициента мощности, зависимость мощности к двум полярным генераторам.

## ENERGY EFFICIENCY ENERGY EFFICIENCY IN REPLACEMENT OF SMALL- LOADED ASYNCHRONOUS MOTORS TEXTILE INDUSTRY

Panoyev A.T.<sup>1</sup>, Rachmatov B.B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Panoyev Abdullo Tilloevich - Post-doctorate;

<sup>2</sup>Rachmatov Bekzod Beshimovich - Graduate student  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING,  
BUKHARA'S ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE BUKHARA,  
BUKHARA, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

**Abstract:** the principles of taining economical ways of power i cesing process of azyunchronized power engines are given in this article. the Textile enterprises is the most widespread enterprises of Bukhara area in which operates more than 80-90 textile enterprises. The potential analysis energy efficiency in the textile industry shows, that the essential economy of electric energy can be received at increase of an overall performance of the electric drive. Working out energy efficiency modes of electroinstallations of the textile industry with application of more modern adjustable electric drive.

**Keywords:** power coefficient of asynchronized engines, active, reagent and full powers, dependence of asynchronized engines on particles and power alco even numbered, ways af raising power coefficient.

УДК 621.311

При нагрузке электродвигателя в пределах 45–70% номинальной мощности целесообразность его замены двигателем меньшей мощности должна быть обоснована. С этой целью определяют суммарные потери активной мощности в системе электроснабжения и в электродвигателе до замены  $\Delta P_{\Sigma 1}$  и после замены  $\Delta P_{\Sigma 2}$  двигателя. Если окажется, что  $\Delta P_{\Sigma 2} < \Delta P_{\Sigma 1}$ , то такая замена целесообразна [2]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \left[ Q_{\text{XX}} (1 - k) + k_3^2 Q_{\text{НОМ}} \right] k_{\text{ИП}} + \Delta P_{\text{XX}} + k_3^2 \Delta P_{\text{АН}}, \quad (1)$$

где,

$Q_{\text{XX}} = \sqrt{3} U_{\text{НОМ}} I_{\text{XX}}$  – реактивная мощность, потребляемая электродвигателем из сети при холостом ходе, кВАр;

$I_{\text{XX}}$  – ток холостого хода двигателя, А;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение двигателя, В;

$k_3 = P / P_{\text{НОМ}}$  – коэффициент загрузки двигателя;

$P$  – средняя нагрузка двигателя, кВт;

$P_{\text{НОМ}}$  – номинальная активная мощность двигателя, кВт;

$Q_{\text{НОМ}} = (P_{\text{НОМ}} / \eta_{\text{д}}) \text{tg} \varphi_{\text{НОМ}}$  – реактивная мощность двигателя при номинальной нагрузке, кВАр;

$\eta_{\text{д}}$  – КПД двигателя при полной нагрузке;

$\text{tg} \varphi_{\text{НОМ}}$  – номинальный коэффициент реактивной мощности двигателя (определяется по паспортной величине  $\cos \varphi$ );

$k_{\text{ИП}}$  – коэффициент изменения потерь, кВт/кВАр.

Потери активной мощности при холостом ходе двигателя определяются, кВт:[3]

$$\Delta P_{\text{ХХ}} = \Delta P_{\text{НОМ}} \left( (1 - \eta_{\text{д}}) / \eta_{\text{д}} \right) \cdot (\gamma / (1 + \gamma)) \quad (2)$$

Прирост активной мощности в двигателе при 100%-ной нагрузке определяются, кВт:

$$\Delta P_{\text{АН}} = \Delta P_{\text{НОМ}} \left( (1 - \eta_{\text{д}}) / \eta_{\text{д}} \right) \cdot (1 / (1 + \gamma)), \quad (3)$$

где  $\gamma = \Delta P_{\text{ХХ}} / \Delta P_{\text{АН}}$  – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя и определяемый из выражения:

$$\gamma = \Delta P_{\text{ХХ}100\%} / (1 - \eta_{\text{д}}\%) - \Delta P_{\text{ХХ}100\%}, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{\text{ХХ}100\%}$  – потери холостого хода активной мощности, потребляемой двигателем при нагрузке 100% (в процентах).

Потери электроэнергии за весь период работы составят:[1]

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P T_0, \quad (5)$$

где  $T_0$  – время работы, часов в год.

Проблемы, связанные с заменой малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности, возникают в условиях эксплуатации на промышленных предприятиях при выборе рационального режима работы агрегатов и установок создания систем регулирования с целью экономии электроэнергии при резко изменяющемся графике нагрузки. В таких случаях появляется необходимость замены: например, вместо двух двигателей одинаковой большой мощности установить один двигатель большой, а второй – малой номинальной мощности и варьировать этими мощностями в зависимости от графика нагрузки. Целесообразность такой замены следует подтвердить технико-экономическими расчетами. Еще одним вариантом решения данной проблемы является использование частотно-регулируемого электропривода. Стоимость с экономленной электроэнергией равна за год:

$$\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (6)$$

где  $C_{\mathcal{E}}$  – цена 1 кВт·ч электроэнергии, сум.

Срок окупаемости можно определить, лет:

$$t_{\text{ОК}} = K / \mathcal{E}, \quad (7)$$

где  $K$  – капитальные затраты на приобретение оборудования, выполнение строительно-монтажных работ и наладок оборудования. Анализ работы действующих электроприводов показывает, что большинство приводных двигателей от электропривода для реализации технологического процесса. В европейской практике принято считать, что коэффициент нагрузки (коэффициент использования) двигателей  $k_{\text{н}}$  определяемый отношением мощности нагрузки двигателя  $P_{\text{с}}$  к его номинальной мощности  $P_{\text{НОМ}}$  составляет величину порядка 0,6. В нашей стране этот коэффициент еще ниже и лежит в пределах (0,3...0,5). Кроме того, электроприводы ряда рабочих машин и производственных механизмов часть своего цикла работают с малыми механическими нагрузками или на холостом ходу. К ним относятся, например, электроприводы обрабатывающих станков, кузнечно-прессового оборудования, подъемно-транспортных механизмов. В обоих рассмотренных случаях в соответствии с существующими зависимостями КПД и коэффициента мощности  $\cos \varphi$  от  $k_{\text{н}}$  (рис. 1) двигатели при недогрузке работают с невысокими КПД, а асинхронные двигатели — и с пониженным коэффициентом мощности  $\cos \varphi$ . Повышение этих показателей приводит к снижению потерь энергии в электроприводе и системе электроснабжения и может быть достигнуто, например, заменой малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности. Замена малозагруженных двигателей целесообразна в тех случаях, когда произойдет снижение потерь энергии в заменяющем двигателе и системе электроснабжения, что позволит окупить капитальные затраты при такой модернизации за приемлемый срок. Расчеты показывают, что при коэффициенте нагрузки  $k_{\text{н}} < 0,4$  в большинстве случаев замена малозагруженных двигателей оказывается экономически целесообразной, при  $k_{\text{н}} > 0,7$  — нецелесообразной, а при  $0,4 < k_{\text{н}} < 0,7$  требуется выполнение технико-экономических расчетов. Существует условие, при котором двигатель будет работать с максимальным КПД при данном коэффициенте нагрузки двигателя  $k_{\text{н}}$ . КПД двигателя  $\eta$  можно рассчитать следующим образом: Найдем условие работы двигателя с максимальным КПД при

данном коэффициенте нагрузки, взяв производную  $d\eta/dk_H$  и приравняв ее нулю. После преобразований получим, что максимальное значение КПД будет иметь место при оптимальной нагрузке, определяемой следующим соотношением постоянных  $K$  и номинальных переменных  $V_{ном}$  потерь мощности:

$$k_{н.опт}^2 = K/V_{ном} \quad (8)$$

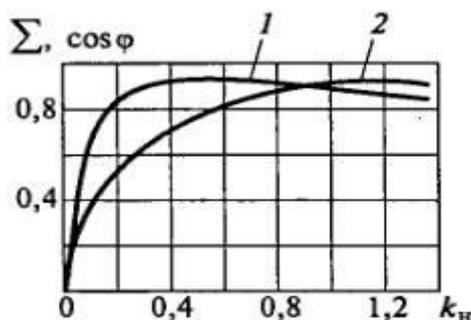


Рис 1. Зависимости КПД 1 и коэффициента мощности 2 от коэффициента нагрузки двигателя [2]

Из формулы (15) следует, что при  $K > V_{ном}$  максимальный КПД может быть получен при нагрузке двигателя, превышающей номинальную, что неприемлемо. Значения  $k_{н.опт}$  при  $K < V_{ном}$  приведены в конкретном двигателем, можно с помощью формулы нагрузку двигателя, при которой он будет работать с наименьшими потерями мощности, т.е. при данной нагрузке с максимальным КПД. Рассмотрим пример определения нагрузки недогруженного двигателя, при которой целесообразна его замена на двигатель меньшей мощности.

**Пример:** Определить оптимальную нагрузку двигателя типа 4A180S4 и нагрузку, при которой экономически целесообразна его замена на двигатель меньшей мощности. Двигатель 4A180S4 имеет следующие номинальные данные: мощность  $P_{ном} = 22$  кВт; напряжение 380/220 В; скольжение  $S_{ном} = 0,02$ ; ток статора  $I_{1ном} = 41,2$  А; КПД  $\eta_{ном} = 90\%$ ;  $\cos\phi_{ном} = 0,87$ ; активные сопротивления обмоток статора  $R_1 = 0,219$  Ом и приведенное ротора  $R_2 = 0,112$  Ом. Цена двигателя 4A180S4 по состоянию на 2017 г. составляет  $C_{уст} = 1351,77$  тыс. сум.; нормативный срок службы (срок амортизации)  $T_{сл} = 20$  лет; срок службы до модернизации  $T_p = 15$  лет; норма амортизации  $P_a = 6,4\%$  в год. Условия решения задачи:

- двигатели меньшей мощности выбираются из серии АИР;
- в качестве тарифа на электроэнергию принимается одноставочный тариф для Узбекистан на 2017 г., равный 129,65 коп./кВт ч; заработная плата обслуживающего персонала после модернизации не изменяется
- затраты на демонтаж действующего двигателя не учитываются
- затраты на транспортировку, монтаж и пусконаладочные работы нового двигателя принимаются в размере 35 % его стоимости;
- заменяемый двигатель становится резервным на предприятии, и его ликвидационная стоимость равна нулю.

1. Определяем скорость холостого хода, номинальные скорость и момент двигателя 4A180S4:

Таблица 1. Значения  $k_{н.опт}$  при различных отношениях  $K/V_{ном}$

$K/V_{ном}$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$k_{н.опт}$	0,32	0,55	0,71	0,84	0,95

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 = 157 \text{ рад/с}; \quad (9)$$

$$\omega_{ном} = \omega_0 \cdot (1 - S_{ном}) = 157 \cdot (1 - 0,02) = 154 \text{ рад/с}; \quad (10)$$

$$M_{ном} = P_{ном} / \omega_{ном} = 22000 / 154 = 143 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (11)$$

2. Найдем для номинального режима полные, переменные и постоянные потери мощности, используя формулы: [1]

$$V_{ном} = M_{ном} \cdot \omega_{ном} \cdot S_{ном} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 143 \cdot 157 \cdot 0,02 \cdot \left(1 + \frac{0,219}{0,112}\right) = 1327 \text{ В} \quad (12)$$

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot \frac{(1 - \eta_{ном})}{\eta_{ном}} = 22000 \cdot \frac{(1 - 0,9)}{0,9} = 2444 \text{ Вт} \quad (13)$$

$$K = \Delta P_{ном} - V_{ном} = 2444 - 1327 = 1117 \text{ Вт} \quad (14)$$

3. Оптимальная нагрузка двигателя определяется по формуле

$$\Delta K_{н.опт} = \sqrt{K/V_{ном}} = \sqrt{1117/1327} = 0,92 \quad (15)$$

4. КПД двигателя при этой нагрузке в соответствии с формулой (18) составит:

$$\eta_{\text{ном}} = k_n \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{k_n \cdot P_{\text{ном}} + K + K_{\text{н}}^2 \cdot V_{\text{ном}}} = 0,92 \cdot \frac{22000}{(0,92 \cdot 22000 + 1117 + 0,92^2 \cdot 1327)} = 0,903 \quad (16)$$

5. Определяем остаточную стоимость установленного двигателя:

$$C_{\text{ост}} = C_{\text{уст}} \cdot \left(1 - \frac{T_p}{T_{\text{сл}}}\right) = 1351,77 \cdot \left(1 - \frac{15}{20}\right) = 337,94 \text{ тыс. сум} \quad (17)$$

6. Определяем сроки окупаемости при замене этого двигателя для коэффициентов нагрузки  $k_n = 0,25; 0,5; 0,75$  и времени работы двигателя в год  $T_p = 1500, 3000, 4500$  и  $6000$  ч.

Срок окупаемости рассчитываем по

$$\text{формуле: } [3] T_{\text{ок}} = \left( K_{\text{знов}} + K_{\text{зост}} - K_{\text{зликв}} \right) / \left( C_{\text{э}} \cdot T_p \cdot \Delta P_{\text{экон}} + (C_{\text{уст}} - C_{\text{нов}}) p_a \right), \quad (18)$$

где  $K_{\text{знов}}$  — капитальные затраты по новому двигателю,

$$K_{\text{знов}} = C_{\text{нов}} + Z_{\text{дем}} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{монт}} + Z_{\text{нал}} \quad (19)$$

$C_{\text{нов}}$  — цена нового двигателя;

$Z_{\text{дем}}, Z_{\text{тр}}, Z_{\text{монт}}, Z_{\text{нал}}$  — затраты соответственно на демонтаж заменяемого двигателя, транспортирование, монтаж и пуско-наладочные работы по новому двигателю;

$(C_{\text{уст}} - C_{\text{нов}}) p_a$  — разница в амортизационных отчислениях до и после модернизации.

В соответствии с условиями решения задачи

$$Z_{\text{дем}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{монт}} + Z_{\text{нал}} = 1,35 C_{\text{нов}} \quad (20)$$

Тогда формула (18) принимает вид

$$T_{\text{ок}} = (1,35 \cdot C_{\text{нов}} + 337,94) / (1,3 \cdot T_p \cdot \Delta P_{\text{экон}} + 0,064 \cdot (1351,77 - C_{\text{нов}})) \quad (21)$$

Результаты расчета по формуле.

Таблица 2. Данные по расчету срока окупаемости при замене двигателя

Показатель	Расчетная формула	$k_n = 0,25$	$k_n = 0,5$	$k_n = 0,75$
Мощность нагрузки при данном $k_n$ кВт	$P_c = k_n \cdot P_{\text{ном}}$	5,5	11	15,4
Потери мощности в заменяемом двигателе, кВт	$\Delta P = K + M_c \cdot \omega_0 \cdot S_c \cdot (1 + R_1/R_2)$	1,2	1,45	1,87
Двигатель для замены	Серия АИР	112М4	132М4	160S4
Потери мощности в новом двигателе в номинальном режиме, кВт	$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot (1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ком}}$	0,933	1,071	1,668
Цена нового двигателя (с учетом НДС, 2017 г.), сум	—	4 584	6 985	12 860
Снижение потерь мощности при замене, кВт	$\Delta P_{\text{экон}} = \Delta P - \Delta P_{\text{ном}}$	0,267	0,378	0,2
Срок окупаемости при $T_p = 1500$ ч в год	$T_{\text{ок}} = (1,35 \cdot C_{\text{нов}} + 337,94) / (1,3 \cdot T_p \cdot \Delta P_{\text{экон}} + 0,064 \cdot (1351,77 - C_{\text{нов}}))$	7,5	9,3	27,3
Срок окупаемости при $T_p = 3000$ ч в год		5,6	6,3	18,6
Срок окупаемости при $T_p = 4500$ ч в год		4,4	4,8	14
Срок окупаемости при $T_p = 6000$ ч в год		3,6	3,8	11,2

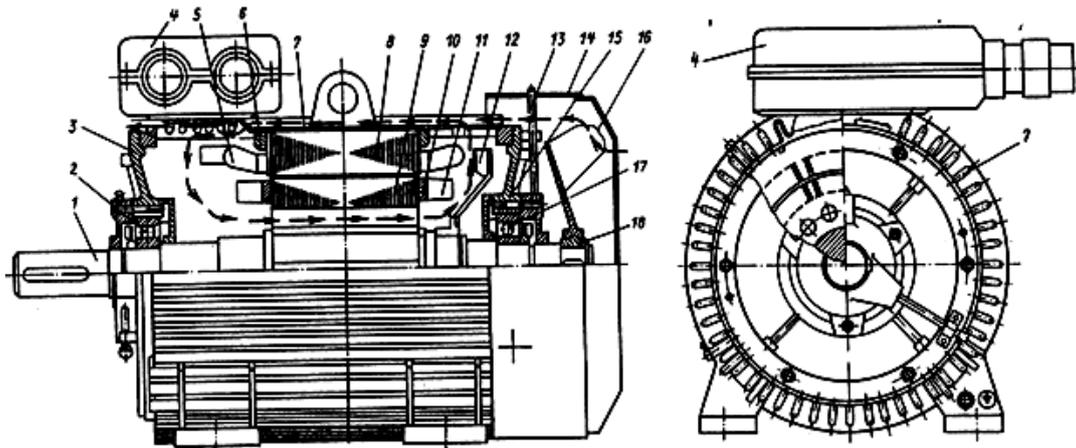


Рис. 2. Асинхронный двигатель серии АИР112М4 -5,5кВт/ 1500 об/мин с короткозамкнутым ротором [1]  
 1 – вал; 2, 17 – подшипники качения; 3, 15 – подшипниковые щиты; 4 – коробка выводов; 5 – лобовые части обмотки статора; 6 – нажимное кольцо статора; 7 – гофрированная станина; 8 – сердечник статора; 9 – сердечник ротора; 10 – 11 – вентиляционные лопасти; 12 – внутренний вентилятор; 13 – масленка для смазки подшипника; 14 – кожух вентилятора; 16 – наружный вентилятор; 18 – втулка вентилятора (стрелками показаны направления потоков охлаждающего воздуха)

Как видно из полученных данных, относительно приемлемый срок окупаемости получается при  $k_n = 0,25$  и  $T_p = 6000$  ч, что соответствует имеющимся в технической литературе рекомендациям. Уточнение расчета срока окупаемости может быть выполнено за счет учета потерь мощности в системе электроснабжения и ликвидационной стоимости заменяемого двигателя. Учет этих факторов приведет к некоторому снижению срока окупаемости. Например, если заменяемый двигатель будет после демонтажа реализован (продан) по своей остаточной стоимости, то срок окупаемости установки нового двигателя АИР112М4 при  $k_n = 0,25$  и  $T_p = 6000$  ч составит примерно два года.

#### Список литературы / References

1. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. М.: Энергоатомиздат.
2. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода/ Л.П. Петров, О.А. Андрющенко, В.И. Капинос и др. М: Энергоатомиздат.
3. ГОСТ Р51677-2000. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности.