

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕПАРАТОРА

А.В. НЕСТЕРОВ, С.В. НЕСТЕРОВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: briefkasten129@rambler.ru*

Представлены результаты экспериментального исследования энергетических показателей работы электропривода сепараторов. Известна значительная недогрузка электропривода в рабочем режиме. Следствием этого являются сравнительно низкие значения коэффициентов мощности и полезного действия. Проведено краткое сравнение типовых способов улучшения энергетических показателей электропривода. Установлено, что наибольшее энергосбережение обеспечивается уменьшением напряжения электропривода сепаратора в рабочем режиме. Сформулировано ограничение на применение этого способа к электроприводу сепараторов. Приведены результаты опытной проверки способа на сепараторе-сливкоотделителе ОСБ и двигателе-сепараторе. Анализ энергетической эффективности показал, что электропривод сепараторов не экономичен и имеет значительные резервы для оптимизации электропотребления. Установлено, что потребление электроэнергии уменьшается более всего заменой серийного сепаратора двигателем-сепаратором с источником регулируемого напряжения. Стабильная производительность сепаратора позволяет реализовать энергосберегающие технологии в автоматических системах разомкнутого типа.

Ключевые слова: асинхронный электропривод сепараторов, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, способы энергосбережения.

При производстве молока значительная часть потребляемой электрической энергии приходится на сепараторы различного назначения (очистители, сливкоотделители). Особенно велика эта доля для фермерских хозяйств, где проблема эффективного использования электроэнергии всегда является актуальной.

Исследования электропривода (ЭП) сепараторов показали, что приводные асинхронные двигатели (АД) работают с заметной недогрузкой [1-4]. Следствием этого являются сравнительно низкие значения коэффициентов мощности и полезного действия. Другими словами, АД сепаратора потребляет "лишнюю" электроэнергию, которая не преобразуется в полезную, а целиком выделяется в виде тепла в питающей сети и в самом АД. Повысить нагрузку сепаратора невозможно, т.к. она обусловлена его неизменной производительностью. В теории ЭП проблема энергосбережения глубоко

<http://ntk.kubstu.ru/file/1184>

изучена вплоть до разработки конкретных способов от компенсации реактивной мощности до экстремального ЭП [5]. Выбор того или иного из них требует предварительного изучения энергетических характеристик ЭП сепаратора, что составляет предмет настоящего исследования.

Первый из названных способов, использующий компенсирующие устройства, лишь частично решает проблему, т.к. только разгружает питающую сеть от реактивной энергии и, снижая потери энергии в ней, не влияет на КПД ЭП сепаратора, и в связи с этим далее не рассматривается.

Напротив, снижение значения питающего АД напряжения одновременно увеличивает значения коэффициентов мощности и полезного действия ЭП сепаратора. Возможности этого способа энергосбережения иллюстрируют зависимости, представленные на рисунках 1 и 2 [5].

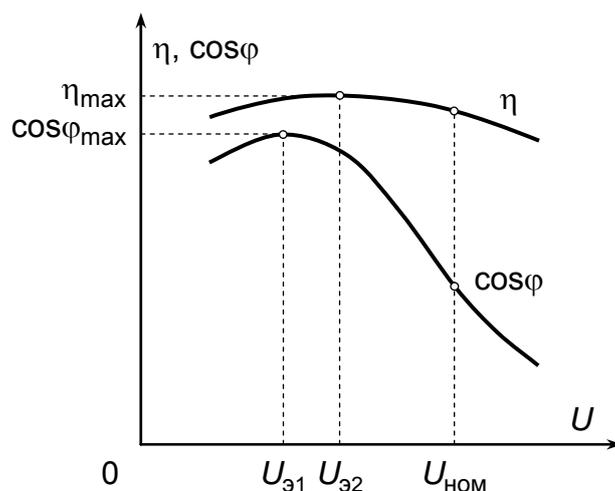


Рисунок 1 – Зависимости $\eta(U)$ и $\cos\varphi(U)$

На рисунке 1 изображены в общем виде зависимости КПД и коэффициента мощности АД от приложенного к нему напряжения.

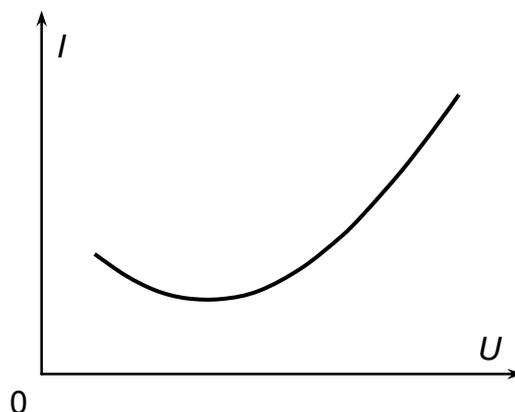


Рисунок 2 – U-образная характеристика АД

Очевидно, что при $U < U_{\text{ном}}$ каждая из этих зависимостей $\eta(U)$ и $\cos\varphi(U)$ имеет экстремум. В таком режиме работы АД ток, потребляемый им из сети, достигает своего минимума. При любом другом значении напряжения ток будет больше, что изображает U-образная характеристика АД на рисунке 2.

С точки зрения энергетической эффективности ЭП это оптимальный режим. Однако на применение этого способа к ЭП сепараторов и центрифуг накладывается естественное ограничение, связанное с зависимостью скорости вращения ротора АД и, следовательно, барабана сепаратора от значения питающего напряжения U . Поскольку сепарирование молока должно протекать при номинальном значении частоты вращения барабана, постольку это ее значение и обуславливает тот предел, до которого следует уменьшать напряжение АД и которое может быть отлично от экстремального $U_{\text{э}}$ (рисунок 1). Практически этот способ исследовался на сепараторе-сливкоотделителе типа ОСБ (рисунок 3) [6]. Номинальная частота вращения барабана 8000 об/мин; допустимое отклонение частоты вращения 1 %. Из этого следует, что напряжение можно уменьшать до тех пор, пока частота вращения будет не ниже порогового значения 7900 об/мин. Измерения, проведенные в номинальном для сепаратора режиме, показали, что коэффициенты мощности и полезного действия имеют значения соответственно 0,45 и 0,62. Из паспортных данных приводного АД следует, что в номинальном режиме его коэффициенты мощности и полезного действия должны иметь соответственно значения 0,7 и

0,77. Сравнение паспортных и экспериментальных данных говорит о том, что приводной АД заметно недогружен и, вследствие этого, имеет низкие энергетические показатели.



Рисунок 3 – Сепаратор-сливкоотделитель типа ОСБ

С целью исследования экономии электроэнергии путем уменьшения значения напряжения питания к приводному АД сепаратора подавалось от трехфазного регулятора напряжения (ТРН). Для испытываемого сепаратора (типа ОСБ) пороговое значение фазного напряжения 180 В, частота вращения барабана при этом равна 7900 об/мин. Установлено, что в этом режиме коэффициенты мощности и полезного действия равны соответственно 0,5 и 0,68. Нетрудно заметить, что КПД близок к номинальному (максимальному) значению, а коэффициент мощности, несмотря на увеличение, не достиг своего номинального значения. Значит АД по-прежнему потребляет из сети "лишнюю" электроэнергию.

В дополнение к сказанному следует заметить, что экономия электроэнергии рассматриваемым способом требует введения в электропривод сепаратора источника регулируемого напряжения. Кроме того, сам процесс регулирования напряжения должен быть автоматическим, т.к. ручное

<http://ntk.kubstu.ru/file/1184>

регулирование нецелесообразно, особенно это касается сепараторов периодического действия с ручной выгрузкой осадка. С учётом неизменности нагрузки ЭП сепаратора (момента сопротивления) в рабочем режиме структура создаваемой автоматической системы может быть разомкнутой [7], т.е. останется без изменения. Тем более, что ЭП исследуемого сепаратора ОСБ никакими контрольно-измерительными приборами не укомплектован. Это обстоятельство делает рассматриваемый способ экономически привлекательным.

Третий из способов заключается в частотном управлении ЭП сепаратора [5, 8]. Последний в таком случае должен содержать в своём составе управляемый преобразователь частоты (ПЧ). Такие ЭП давно известны, а сами машины получили название "двигателей-сепараторов" (ДС) [2]. Один из таких образцов ДС, разработанный на базе сепаратора ОСБ, показан на рисунке 4 [9]. Особенности его конструкции подробно изложены в работе [2]. Обратим внимание только на отсутствие в кинематической схеме ДС редуктора, функции которого выполняет ПЧ. Испытание в номинальном режиме, то есть при $U = 220$ В и $f = 150$ Гц, показали, что коэффициенты мощности и полезного действия соответственно равны 0,58 и 0,70. Эти значения выше соответствующих значений серийного сепаратора ОСБ.

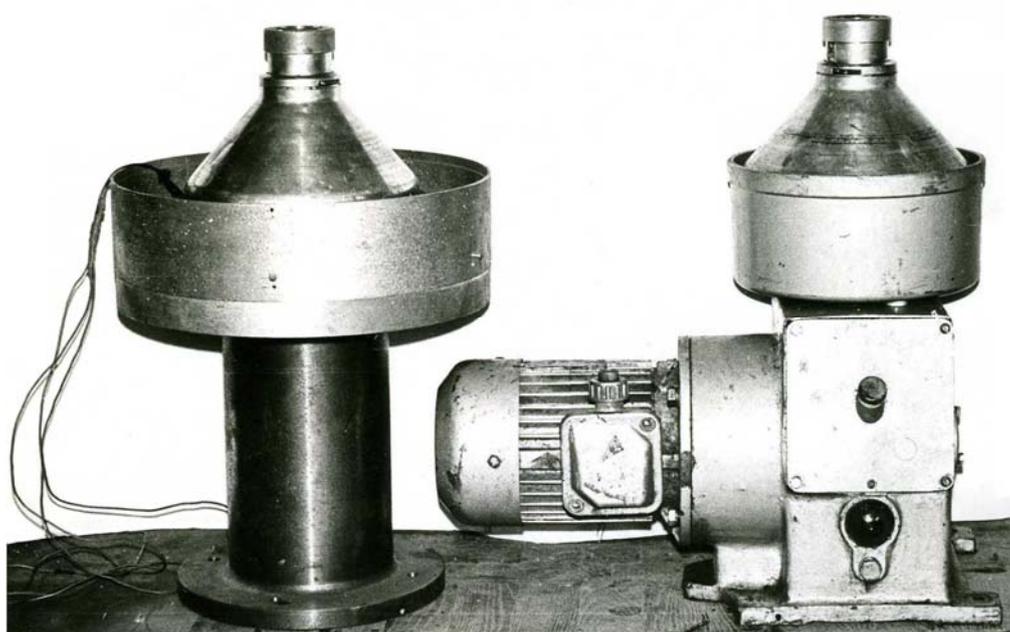


Рисунок 4 – Двигатель-сепаратор и сепаратор ОСБ

Расход электроэнергии можно уменьшить еще больше, если снизить значение питающего напряжения так же, как это делалось с сепаратором ОСБ. Эксперимент показал, что напряжение может быть уменьшено до 165 В.

Для удобства сравнительной характеристики полученные энергетические показатели ЭП сепараторов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Энергетические показатели электропривода сепараторов

Показатель	Сепаратор типа ОСБ			Двигатель-сепаратор	
	паспорт	$U_{\text{ном}}$	$U < U_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$U < U_{\text{ном}}$
η	0,77	0,62	0,68	0,70	0,75
$\cos\varphi$	0,70	0,45	0,50	0,58	0,65

Рассмотрение результатов эксперимента с технической точки зрения приводит к следующим выводам:

– потребление электроэнергии молочным сепаратором снижается при уменьшении питающего напряжения;

– замена серийного (редукторного) сепаратора безредукторным ДС позволяет также экономить электроэнергию;

– замена серийного сепаратора двигателем-сепаратором с точки зрения экономии электроэнергии более эффективна, чем снижение питающего напряжения серийного сепаратора;

– уменьшение напряжения, питающего ДС, также снижает потребление электроэнергии;

– суммарное потребление электроэнергии уменьшается более всего заменой серийного сепаратора двигателем-сепаратором с источником регулируемого напряжения.

Таким образом, анализ энергетической эффективности показывает, что ЭП сепараторов:

- 1) не экономичен;

2) имеет значительные резервы для оптимизации электропотребления, см. также заключение;

3) благодаря стабильной производительности сепаратора (постоянная нагрузка на ЭП) позволяет реализовать энергосберегающие технологии в автоматических системах разомкнутого типа, т.е. с минимальными затратами.

В заключение заметим для полноты, что разработаны и другие способы повышения энергетических показателей ДС [10-15]. Они вполне совместимы с рассмотренными выше способами. В отличие от последних, названные способы направлены на изменение конструкции ДС и в этой работе не рассматриваются, т.к. являются предметом отдельного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров А.В. Экономия электроэнергии на предприятиях молочной промышленности / Краснодар. политехн. ин-т. – Краснодар, 1988. – 6 с. Библиогр.: 3 назв. – Деп. в ВНИИСлегпищемащ 30.05.1988, № 857-мл88.

2. Нестеров А.В. Разработка математической модели асинхронного электропривода промышленных гироскопических систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Ленингр. гос. техн. ун-т. – Краснодар, 1989. – 113 с.

3. Нестеров А.В., Нестеров С.В. Повышение энергетических показателей асинхронного электропривода промышленных гироскопических систем // Энергосбережение в промышленности: матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. – С. 55-56.

4. Добробаба Ю.П., Нестеров А.В., Нестеров С.В., Дементьев В.В., Мурлин А.Г. Экономия электроэнергии, потребляемой асинхронным электроприводом промышленных гироскопических систем // Интеллектуальные электродвигатели и экономия электроэнергии: Тез. докл. X Всесоюзн. науч.-техн. конф. – Владимир: ВНИПТИЭМ, 1991. – С. 149.

5. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 208 с.

6. Сепаратор ОСБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://sowa.ua/new_photo/pMelgm/8UtdjY80u6bJrCTe5p4V.jpg (дата обращения 25.07.2016).

7. Нестеров А.В., Нестеров С.В. Теория автоматического управления / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. ГОУВПО "КубГТУ", 2006. – 191 с.

8. Браславский И.Я. и др. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 202 с.

9. Косолапов А.В. Исследование сепаратора-двигателя повышенной частоты для молочной промышленности: 05.02.14; 05.02.03: Дис... канд. техн. наук / КПИ. – Краснодар, 1983. – 185с.

10. А.с. 995885. Центрифуга для разделения полидисперсных сред/ Б.Х.Гайтов, Ю.П.Андреев, Л.П.Семенко, А.В.Нестеров (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 6.

11. А.с. 1041159. Сепаратор / А.В.Нестеров, С.В.Нестеров и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 34.

12. А.с. 1106538. Сепаратор/ А.В.Нестеров, С.В.Нестеров и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1984. – № 29.

13. А.с. 1107897. Способ разгона и торможения барабана сепаратора/ А.В.Нестеров, С.В.Нестеров и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1984. – № 30.

14. А.с. 1121046. Сепаратор для разделения полидисперсных жидких систем / А.В.Нестеров, С.В.Нестеров и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1984. – № 40.

15. А.с. 1321471. Сепаратор / А.В.Нестеров и др. (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 25.

REFERENCES

1. Nesterov A.V. *Ekonomiya elektroenergii na predpriyatiyakh molochnoy promyshlennosti* / Krasnodar. politekhn. in-t. – Krasnodar, 1988. – 6 s. Bibliogr.: 3 nazv. – Dep. v VNIISlegpishchemashch 30.05.1988, № 857-ml88.

2. Nesterov A.V. Razrabotka matematicheskoy modeli asinkhronnogo elektroprivoda promyshlennykh giroskopicheskikh sistem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.09.03 / Leningr. gos. tekhn. un-t. – Krasnodar, 1989. – 113 s.

3. Nesterov A.V., Nesterov S.V. Povyshenie energeticheskikh pokazateley asinkhronnogo elektroprivoda promyshlennykh giroskopicheskikh sistem // Energoberezhenie v promyshlennosti: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. – Cheboksary: Izd-vo Chuvash. un-ta, 2012. – S. 55-56.

4. Dobrobaba Yu.P., Nesterov A.V., Nesterov S.V., Dementev V.V., Murlin A.G. Ekonomiya elektroenergii, potrebyaemoy asinkhronnym elektroprivodom promyshlennykh giroskopicheskikh sistem // Intellektualnye elektrodvigateli i ekonomiya elektroenergii: Tez. dokl. X Vsesoyuzn. nauch.-tekhn. konf. – Vladimir: VNIPTIEM, 1991. – S. 149.

5. Ilinskiy N.F., Moskalenko V.V. Elektroprivod: energo- i resursoberezhenie. – M.: Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2008. – 208 s.

6. Separator OSB [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: http://sowa.ua/new_photo/pMelgm/8UtdjY80u6bJrCTe5p4V.jpg (data obrashcheniya 25.07.2016).

7. Nesterov A.V., Nesterov S.V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya / Kuban. gos. tekhnol. un-t. – Krasnodar: Izd. GOUVPO "KubGTU", 2006. – 191 s.

8. Braslavskiy I.Ya. i dr. Energoberegayushchiy asinkhronnyy elektroprivod. – M.: Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2004. – 202 s.

9. Kosolapov A.V. Issledovanie separatora-dvigatelya povyshennoy chastoty dlya molochnoy promyshlennosti: 05.02.14; 05.02.03: Dis... kand. tekhn. nauk / KPI. – Krasnodar, 1983. – 185s.

10. A.s. 995885. Tsentrifuga dlya razdeleniya polidispersnykh sred/ B.Kh.Gaytov, Yu.P.Andreev, L.P.Semenko, A.V.Nesterov (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1983. – № 6.

11. A.s. 1041159. Separator / A.V.Nesterov, S.V.Nesterov i dr. (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1983. – № 34.

12. A.s. 1106538. Separator/ A.V.Nesterov, S.V.Nesterov i dr. (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1984. – № 29.
13. A.s. 1107897. Sposob razgona i tormozheniya barabana separatora/ A.V.Nesterov, S.V.Nesterov i dr. (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1984. – № 30.
14. A.s. 1121046. Separator dlya razdeleniya polidispersnykh zhidkikh sistem / A.V.Nesterov, S.V.Nesterov i dr. (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1984. – № 40.
15. A.s. 1321471. Separator / A.V.Nesterov i dr. (SSSR) // Otkrytiya. Izobreteniya. – 1987. – № 25.

*ANALYSIS OF POWER EFFICIENCY OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC
DRIVE OF A SEPARATOR*

A.V. NESTEROV, S.V. NESTEROV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: briefkasten129@rambler.ru*

Results of the pilot study of power indexes of operation of the electric drive of separators are presented. The considerable underload of the electric drive in operating duty is known. Rather low values of electrical power factors and the useful effect are a consequence of it. Short comparison of standard ways of improvement of power indexes of the electric drive is carried out. It is established that the greatest energy saving is provided with decrease of tension of the electric drive of a separator in operating duty. Restriction for application of this way to the electric drive of separators is formulated. Results of experienced check of a way are given in a separator-slivkootdelitele OSB and the engine separator. The analysis of power effectiveness showed that the electric drive of separators is not economic and has the considerable reserves for optimization of a power consumption. It is established that electricity consumption decreases most of all replacement of a serial separator with the engine separator with a source of adjustable tension. Stable efficiency of a separator allows to realize energy saving technologies in automatic systems of opened type.

Key words: asynchronous electric drive of separators, coefficient of efficiency, power factor, ways of energy saving.