

# Реализация инновационных проектов в области энергосбережения в промышленном секторе России



**К. А. Змиева,**

**К. Т. Н.,**

**директор НОЦ «Энергосбережение в промышленности» Московского государственного технологического университета «СТАНКИН»  
e-mail: k.zmieva@stankin.ru**

*Описаны перспективные направления в области разработки технологий и средств повышения энергоэффективности промышленных производств.*

**Ключевые слова:** энергосбережение, промышленное производство, экономия энергоресурсов.

В последние годы в России уделяется большое внимание теоретическим и практическим вопросам энергосбережения. Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития РФ, названных Президентом России, и являются значительным резервом российской экономики. Это связано в первую очередь с тем, что удельные затраты энергии на единицу стоимости валового внутреннего продукта (ВВП) и энергетическая составляющая себестоимости продукции в России выше, чем в других развитых странах. Неэффективное расходование энергоресурсов проявляется во всех составляющих жизнедеятельности человека: от бытовых приборов и освещения до сложнейших производственных комплексов и электростанций. Низкая, по сравнению с зарубежными странами, энергоэффективность нашей экономики, необоснованное энергорасточительство негативно сказывается на энергетической безопасности России и экономическом росте. Так как энергетика является фундаментом экономики любого государства, то обеспеченность страны энергоресурсами, повышение эффективности их использования могут существенно улучшить качество жизни населения. Таким образом, энергосбережение на сегодняшний день является общенациональной задачей, решение которой касается всех сфер жизни современного общества [2, 5].

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности следует рассматривать как один из основных источников будущего экономического роста российской экономики. Для успешного проведения энергосберегающей политики необходима тщательная проверка энергетического хозяйства, а также оценка эффективности использования топливно-

энергетических ресурсов основными потребителями, к которым относятся промышленные предприятия, объекты жилищно-коммунального хозяйства и др. Иными словами любой потребитель топливно-энергетических ресурсов должен быть подвергнут энергетическому обследованию, результатом которого является получение энергетического паспорта.

Высокая энергоёмкость при росте тарифов на энергоносители затрудняет борьбу с инфляцией. Рост тарифов на энергоносители необходим для обеспечения развития топливно-энергетического комплекса. Однако рост нагрузки по оплате энергоносителей, выходящий за пределы платежной способности населения, затрудняет борьбу с бедностью, не позволяет обеспечить высокую собираемость платежей и порождает недовольство граждан. Низкая энергетическая эффективность жилищно-коммунального комплекса и бюджетной сферы ведет к высокой нагрузке коммунальных платежей на местные бюджеты, бюджеты субъектов Российской Федерации и федеральный бюджет, что снижает финансовую стабильность.

Формирование в России энергоэффективного общества — это неотъемлемая составляющая развития экономики России по инновационному пути. Переход к энергоэффективному варианту развития должен быть совершен в ближайшие годы, иначе экономический рост будет сдерживаться из-за высоких цен и снижения доступности энергетических ресурсов. С другой стороны ухудшение экологической обстановки также диктует необходимость снижения энергопотребления, так как энергетика, промышленность и коммунальное хозяйство являются одними из основных источников загрязнения окружающей среды.

Решение проблемы энергосбережения и повышения энергетической эффективности носит долго-

Таблица 1

*Основные энергетические показатели развитых стран мира*

Страна	Расход энергии, т. у. т. <sup>1</sup> на душу населения	ВВП на душу населения (расчёт по ППС <sup>2</sup> ), \$, 2012 г.	Энергоемкость ВВП, кг у. т./\$
Канада	14	37 500	0,37
США	12	45 600	0,26
<b>Россия</b>	<b>8</b>	<b>15 700</b>	<b>0,51</b>
Швеция	6	36 100	0,17
Германия	4	34 500	0,12
<b>Мир в среднем</b>	<b>3</b>	<b>9 600</b>	<b>0,31</b>

<sup>1</sup> Т. у. т. — тонна условного топлива. У. т. — расчетная единица, служащая для сопоставления тепловой ценности различных видов топлива. Теплота сгорания у. т. — 29,3 МДж. 1 тонна нефти примерно равна 1,4 т. у. т., 1 тонна каменного угля — 0,77 т. у. т., 1 тыс. м<sup>3</sup> природного газа — 1,2 т. у. т.

<sup>2</sup> ППС — паритет покупательной способности. Расчет ВВП по ППС основан на внутренних ценах.

срочный характер, что обусловлено необходимостью как изменения системы отношений на рынках энергоносителей, так и замены и модернизации значительной части производственной, инженерной и социальной инфраструктуры и ее развития на новой технологической базе.

Президентом России в указе «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» (№ 889, 4 июня 2008 г.) поставлена задача: снизить энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) России на 40% к 2020 г. от уровня 2007 г. Сегодня этот показатель в нашей стране превышает аналогичные значения большинства развитых стран мира (табл. 1).

Барьеры, сдерживающие развитие энергосбережения и энергоэффективности в стране, можно разделить на четыре основные группы:

- недостаток мотивации;
- недостаток информации;
- недостаток опыта финансирования таких проектов и оценки их эффективности;
- недостаток организации и координации.

Существует два пути решения возникшей проблемы:

- 1) крайне капиталоемкий путь наращивания добычи угля, нефти и газа и строительства новых объектов электрогенерации;
- 2) второй — существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста в стране за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Логичное решение — симбиоз первого и второго вариантов с несомненным приоритетом энергоэффективности.

Необходимо отметить, что энергосбережение не является совершенно новым направлением для отечественной экономики. Оно всегда учитывалось технологами и энергетиками. В прошлые годы на уровне государства проводилась планомерная работа по энергосбережению, выпускались методические пособия, разрабатывались новые технологические решения, организовывались соревнования по энергосбережению со

стимулированием их победителей, хотя экономически не всегда было выгодно финансирование некоторых предложений из-за низкой стоимости энергоресурсов. В настоящее время ситуация изменилась.

Сегодня перед населением, представителями промышленности и бизнеса стоит задача приведения оплаты за коммунальные услуги в соответствие с фактическими затратами. Эта задача является одним из рычагов, стимулирующих экономию энергоресурсов и снижение государственных дотаций в коммунальную сферу. Самый эффективный стимул экономии энергоресурсов со стороны потребителя — оплата за фактическое их потребление. Повышение цен на энергоносители делает задачу энергосбережения экономически актуальной. Необходимо использовать все полезное, накопленное в прошлые годы, применять последние технические достижения в области энергосбережения [6].

Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определил новый этап в развитии законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в Российской Федерации. Существенные изменения в системе мер государственного регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности потребовали скорейшей разработки и принятия большого числа подзаконных нормативных правовых актов. Было произведено разграничение полномочий органов государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, а также органов местного самоуправления в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, что позволило создать условия для развития соответствующей нормативной правовой базы на всех уровнях государственного и муниципального управления и определить правовые основы их взаимодействия.

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, задача состоит в том, чтобы за счет целенаправленной государственной политики обеспечить заинтересованность потребителей энергоресурсов в инвестировании в энергосбережение, создать более привлекательные условия для вложения капитала в эту сферу деятельности, снизить возможные финансово-экономические риски.

Одним из направлений государственной политики планируется поддержка специализированного бизнеса в области энергосбережения, пока слабо развитого в РФ, что позволит сформировать энергосберегающие компании, предлагающие и реализующие оптимальные научные, проектно-технологические и производственные решения, направленные на снижение энергоемкости. Поддержка энергосберегающего бизнеса предполагает переход от прямой финансовой помощи со стороны государства к формированию системы реализации эффективных бизнес-проектов в соответствующей сфере, страхования коммерческих и некоммерческих рисков.

Потенциал получения прибыли от долгосрочных инвестиций в повышение энергоэффективности российской энергетики оценивается западными специалистами в \$300 млрд. Однако пока российские и западные инвесторы неохотно идут в этот сектор. Их останавливает недоработанная нормативно-правовая база отрасли и отсутствие примеров практического применения энергоэффективных технологий [8].

Основными задачами утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» являются:

- существенное снижение доли энергетических издержек;
- снижение нагрузки по оплате услуг энергоснабжения на бюджетную систему и обеспечение повышения конкурентоспособности и финансовой устойчивости российской экономики;
- обеспечение населения качественными энергетическими услугами по доступным ценам;
- снижение выбросов парниковых газов, а также снижение вредных выбросов и укрепление на этой основе здоровья населения;
- формирование целостной и эффективной системы управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на основе комплексного развития инфраструктуры, обучения и повышения квалификации руководителей и специалистов, занятых в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- пропаганды и внедрения системы энергетического менеджмента;
- совершенствование нормативной правовой базы для активизации государственно-частного партнерства и привлечения частных инвестиций для реализации проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- реализация механизмов, стимулирующих энергосбережение и повышение энергетической эффективности, обеспечивающих активизацию деятельности как населения, так и бизнеса по реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- повышение объемов внедрения разработок российских научных организаций и высших учебных заведений, а также продукции российских производителей при реализации проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- сохранение и расширение потенциала экспорта энергетических ресурсов и доходной части федерального бюджета за счет сокращения неэффективного потребления энергии на внутреннем рынке;
- формирование механизмов стимулирования деятельности энергосервисных компаний;
- подготовка кадров в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Программа призвана стать инструментом решения масштабной задачи по снижению к 2020 г. энергоемкости ВВП на 40%.

Решение задач, поставленных в рамках Программы, требует высокой степени координации действий не только федеральных органов исполнительной власти, но и органов власти субъектов Российской Федерации, местного самоуправления, организаций и населения. Планируется, что содействовать этому будет Российское энергетическое агентство (РЭА), на которое приказом Минэнерго возложена функция оперативного управления Госпрограммой.

С учетом специфики отраслей российской экономики все группы мероприятий Государственной программы разбиты на подпрограммы. В рамках подпрограммы «*Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в промышленности*» планируется проведение следующих организационных мероприятий:

- проведение добровольных и обязательных энергетических обследований промышленных потребителей;
- обучение и повышение квалификации руководителей и специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработку и внедрение системы энергетического менеджмента.

Реализация технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в промышленности позволит достичь:

- годовой экономии первичной энергии в объеме 34,33 млн т условного топлива к концу I этапа (к 2016 г.) и 50,75 млн т условного топлива к концу II этапа (к 2021 г.);
- суммарной экономии первичной энергии в объеме 110,35 млн т условного топлива на I этапе (2011–2015 гг.) и 333,25 млн т условного топлива за весь срок реализации Программы (2011–2020 гг.).

В системе энергосбережения важное место отводится энергоаудиту (энергетическому обследованию), в задачу которого входит проведение обследования предприятий и энергопотребляющих систем с целью получения объективной оценки эффективности их использования и разработки рекомендаций по ее повышению.

Анализ структуры энергопотребления в России показал, что относительно много энергии тратится на нужды промышленности. На долю промышленности приходится четверть потребления энергии в нашей стране (рис. 1) и 36% выбросов CO<sub>2</sub>. Причем, основные затраты — это многочисленный промышленный электропривод, который до сих пор в РФ в основном не управляемый. В целом с 1971 по 2013 г. конечное потребление энергии промышленностью возросло на 61%. Тем не менее в различных отраслях промышленности и ЖКХ существует резерв для снижения затрат до 30% от действующих затрат на энергообеспечение, включая водопользование. Но, к сожалению, ограниченные финансовые возможности приводят к тому, что возникающие на предприятиях технические проблемы часто решаются по временной схеме, без технико-экономической проработки, а это приводит, в конечном итоге, к большим финансовым потерям.

В структуре потребления энергоносителей в промышленности доминирует централизованное тепло.

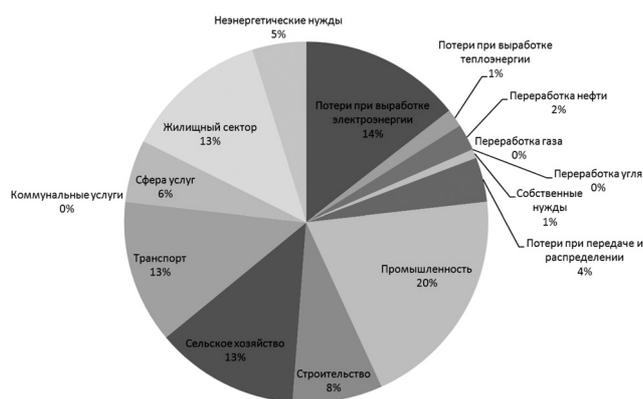


Рис. 1. Структура потребления первичных энергоресурсов в России в 2012 г [1]

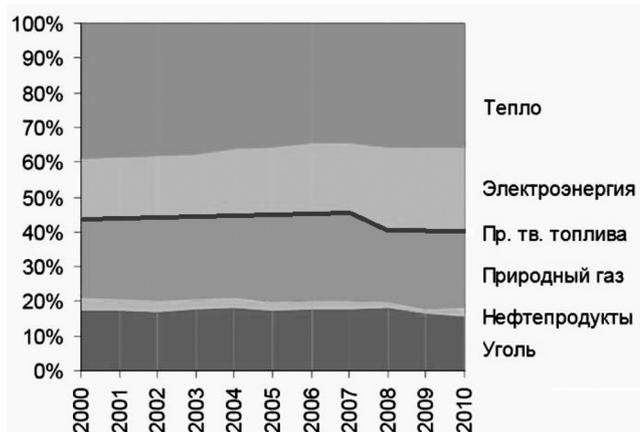


Рис. 2. Структура потребления энергоресурсов в промышленном секторе страны [1]

Однако его доля сократилась с 39% в 2000 г. до 35,6% в 2012 г. Доля угля также снизилась с 17,1 до 15,5%. Доля природного газа осталась практически неизменной, а доля электроэнергии выросла с 17,2 до 23,6% (рис. 2). Неравномерность динамики потребления энергии в промышленности порождается как неравномерностью динамики выпуска продукции, так и неравномерностью снижения удельных расходов энергии. Первый аспект отражается фактором структурных сдвигов в промышленности. Кроме того, в анализе выделяется воздействие следующих факторов: изменение технологической энергоёмкости, уровня загрузки производственных мощностей, цен на энергоносители (относительно цен на готовую продукцию) и погодных условий.

Промышленные предприятия представляют собой огромную энергоёмкую сферу, в которой в результате физического и морального старения оборудования неизбежно происходит непрерывное и постоянное увеличение количества потребляемой энергии. В промышленности эксплуатируется 15% полностью изношенных основных фондов. На данный момент на промышленных предприятиях процент энергетических затрат в издержках составляет 9–12%, и этот процент постоянно растёт. Уровни энергоёмкости производства важнейших отечественных промышленных продуктов выше среднемировых в 1,2–2 раза и выше лучших мировых образцов в 1,5–4 раза, к тому же тарифы на электрическую энергию постоянно растут (рис. 3). Низкая энергетическая эффективность порождает низкую конкурентоспособность российской промышленности. При приближении внутренних цен на энергетические ресурсы к мировым российская промышленность может выжить в конкурентной борьбе только при условии значительного повышения энергетической эффективности производства [4, 5].

Длительное сохранение разрыва в уровнях энергетической эффективности с передовыми странами недопустимо. Сохранение высокой энергоёмкости российской экономики приведет к снижению энергетической безопасности России и сдерживанию экономического роста. Выход России на стандарты благосостояния развитых стран на фоне усиления глобальной конкуренции и истощения источников

экспортно-сырьевого типа развития требует кардинального повышения эффективности использования всех видов энергетических ресурсов.

Доля машиностроения в общей структуре энергопотребления промышленных производств Российской Федерации существенна и составляет 20%. В структуре энергопотребления на машиностроительных предприятиях порядка 54% составляют асинхронных электродвигатели переменного тока; 8% — синхронные двигатели; 10% — вентильные преобразователи; 7% — электротехнологические установки и оставшиеся 21% — составляют установки электрического освещения (рис. 4). Известно, что машиностроительные производства характеризуются низкой энергоэффективностью, обусловленной высоким уровнем потерь при преобразовании и передаче энергии в зону обработки, осуществляемой электромеханическими преобразователями — электродвигателями. Низкая энергоэффективность машиностроительных производств обусловлена прежде всего:

- высокой динамичностью технологических процессов;
- резкопеременными нагрузками при обработке изделий;
- непрерывным введением новых методов обработки;
- частыми переналадками производства;
- новыми методами обработки и применяемого оборудования [7, 9].

Все вышеперечисленные особенности приводят к высоким энергетическим потерям в промышленной электросети, обусловленными:

- низким коэффициентом мощности асинхронных двигателей ( $0,2 < \cos \varphi < 0,7$ );
- высокими потерями (до 60%) от перетоков реактивной мощности на участке «трансформаторная подстанция – станок»;
- нерациональным токораспределением, ведущим к значительным потерям мощности и напряжения (до 50%) в электросети предприятия [10],

Кроме того, доля энергозатрат в себестоимости, выпускаемой на промышленных предприятиях продукции, составляет от 5 до 50% в зависимости от вида и параметров технологического процесса, типа

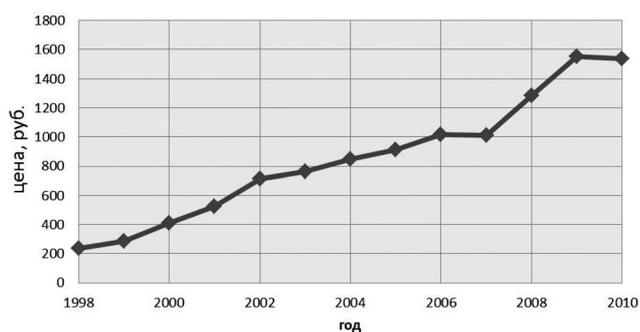


Рис. 3. Средние цены на приобретенные промышленными организациями электроэнергию, МВт·ч

обрабатывающего оборудования, а также объемов производства. Поэтому минимизация энергопотребления является важнейшей задачей современного машиностроения.

Снизить энергопотребление в промышленном секторе возможно прежде всего благодаря реализации мероприятий по повышению энергоэффективности технологического оборудования. Классифицируем описанные мероприятия по типу потребителя и характеру энергопотребления:

1. *Перевод внешних и внутренних сетей на повышенное напряжение и реконструкция сетей.*

Экономия электроэнергии в сети при переводе ее на более высокий класс напряжения определяется следующей формулой:

$$\Delta W = 0,003 \rho L t (I_1^2/F_1 - I_2^2/F_2), \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (1)$$

где  $L$  — длина участка сети, на котором производится повышение номинального напряжения, м;  $I$  — среднее значение токов в каждом проводе сети соответственно при низшем и высшем напряжении, А;  $\rho$  — удельное сопротивление материала провода при 200°C (для алюминия 0,026–0,029; для меди 0,0175–0,018, для стали 0,01–0,14 Ом·мм<sup>2</sup>/м);  $F_1$  и  $F_2$  — сечение проводов сети при низшем и высшем напряжении, мм<sup>2</sup> (при проведении мероприятий без замены проводов  $F_1=F_2$ );  $t$  — расчетный период времени, ч.

После проведения реконструкции сетей, которая включает в себя замену сечения проводов, замену материала проводов, сокращение длины без изменения напряжения экономия электроэнергии определяется по формуле:

$$\Delta W = 0,003 I^2 t ((\rho_1 L_1^2)/F_1 - (\rho_2 L_2^2)/F_2), \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где  $\rho_1, L_1, F_1$  — удельное сопротивление материала провода, Ом·мм<sup>2</sup>/м, длина линии, м, сечение проводов сети, мм<sup>2</sup> до реконструкции;  $\rho_2, L_2, F_2$  — аналогичные параметры линии после реконструкции;  $I$  — среднее значение тока на линии, А;  $t$  — расчетный период времени, ч [14, 15].

2. *Устройства компенсации реактивной мощности.*

При работе электродвигателей и трансформаторов генерируется реактивная нагрузка, в сетях и трансформаторах циркулируют токи реактивной мощности, которые приводят к дополнительным активным нагрузочным потерям.

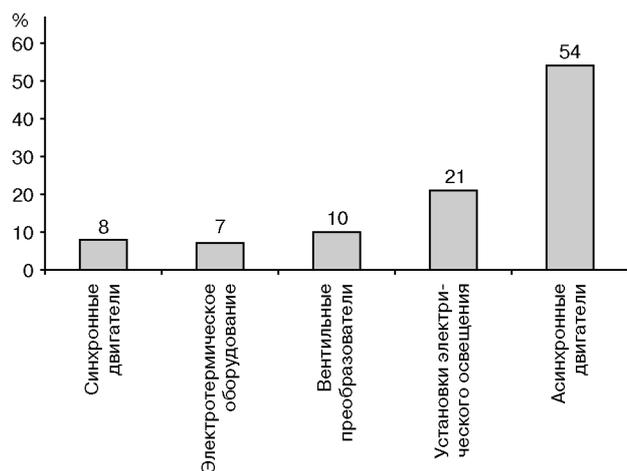


Рис. 4. Структура энергопотребления на машиностроительном предприятии

Реактивная составляющая мощности потребляемой электродвигателем — мощность, расходуемая на создание магнитного поля в электродвигателе. При работе электродвигателя на переменных нагрузках она почти не меняется и становится избыточной при снижении нагрузки.

Когда двигатель работает с пониженной нагрузкой в течение длительного времени, его средний КПД падает вследствие излишне высокого магнитного потока, создаваемого обмотками, относительно требуемого крутящего усилия, необходимого для преодоления нагрузки. При постоянном напряжении питания электродвигателя данный поток, определяемый обычно как намагничивающий ток, является неизменным, он дает примерно 30–50% совокупных потерь двигателя.

Компенсация реактивной мощности в сети потребителя позволяет:

- снизить плату поставщику за потребленную электроэнергию;
- уменьшить токовые нагрузки элементов системы электроснабжения (кабельных и воздушных линий, трансформаторов), обеспечив возможность расширения производства;
- улучшить качество электроэнергии за счет уменьшения отклонений напряжения от номинального значения.

Наиболее приемлема локальная компенсация реактивной мощности, т. е. размещение конденсаторных установок непосредственно у источника возникновения реактивной мощности — станка, насоса, робота, комплекса и т. д. (см. рис. 5).

3. *Корректировка коэффициента мощности электродвигателей.*

Коэффициентом мощности  $\cos \varphi$  называют отношение активной мощности потребителя к полной мощности:

$$\cos \varphi = P/S. \quad (3)$$

Каждый потребитель электрической энергии характеризуется номинальным током и напряжением, а также номинальной полной мощностью, равной про-

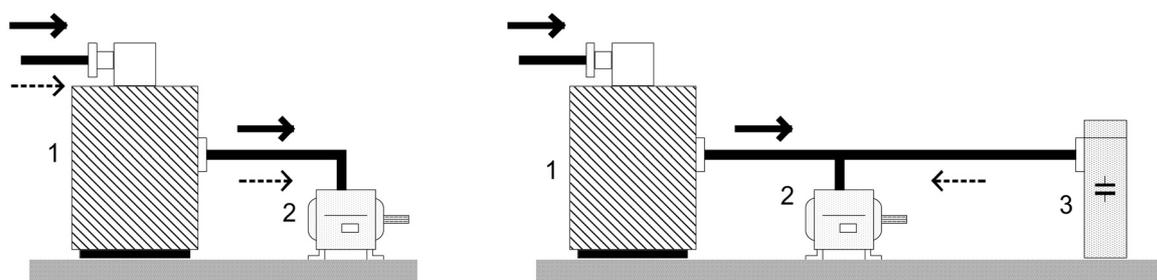


Рис. 5. Метод компенсации реактивной мощности электродвигателя, где 1 – трансформатор, 2 – электродвигатель, 3 – конденсатор

изведению номинального напряжения и номинального тока. Для трехфазной системы тока:

$$S_{\text{н}} = 3^{1/2} U_{\text{н}} I_{\text{н}} \quad (4)$$

Наилучшее использование мощности генератора будет при его работе с номинальными значениями тока и напряжения и при  $\cos \varphi \approx 1$ . В этом случае активная мощность генератора будет равна его полной мощности:

$$P_{\text{н}} = 3^{1/2} U_{\text{н}} I_{\text{н}} \cos \varphi = 3^{1/2} U_{\text{н}} I_{\text{н}} = S_{\text{н}} \quad (5)$$

При номинальных значениях тока и напряжения и изменяющемся  $\cos \varphi$  мощность генератора будет прямо пропорциональна последнему, а уменьшение  $\cos \varphi$  приведет к неполному использованию его мощности [7, 13].

С другой стороны, если приемник электрической энергии работает с постоянной активной мощностью при неизменном напряжении, но при различных  $\cos \varphi$ , то его ток изменится обратно пропорционально  $\cos \varphi$ . Таким образом, с уменьшением  $\cos \varphi$  ток приемника и питающей его сети увеличивается, что приводит к дополнительным потерям электрической энергии в линиях электропередачи:

$$I = P / (3^{1/2} U_{\text{н}} \cos \varphi) \quad (7)$$

Перечень мероприятий, позволяющих повысить  $\cos \varphi$ :

- увеличение загрузки асинхронных двигателей;
- при снижении до 40% мощности, потребляемой асинхронным двигателем, снизить напряжение питания обмоток, переключая обмотки электродвигателя с треугольника на звезду;
- установка на предприятиях специального электрооборудования, компенсирующего реактивную мощность;
- применение тиристорных регуляторов напряжения питания электродвигателя, управляемых сигналом от датчика  $\cos \varphi$ ;
- применение ограничителей времени работы асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов в режиме холостого хода (ХХ) с помощью автоматических выключателей;
- применение других технических средств регулирования режимов работы электродвигателей и трансформаторов (например, замена асинхронных

двигателей синхронными, выключение ненагруженных трансформаторов).

4. Замена незагруженных электродвигателей и сопоставление мощности электродвигателей с мощностью потребителя электроэнергии.

Если средняя нагрузка электродвигателя составляет менее 45% номинальной мощности, то замена его менее мощным электродвигателем всегда целесообразна. При нагрузке электродвигателя более 70% номинальной мощности можно считать, что замена его нецелесообразна.

Замена незагруженных электродвигателей, даже если она аргументирована расчетами, может производиться только после тщательной проверки возможности их полной загрузки за счет правильного использования приводимых ими рабочих машин. Это мероприятие оправдано в тех случаях, когда двигатель выбран неправильно и завышен по мощности по сравнению с рабочей машиной.

5. Мероприятия по экономии электрической энергии в электрических печах сопротивления (ЭПС).

В результате энергетического обследования может быть выявлено, что печь имеет повышенный удельный расход электроэнергии, понизить который можно без больших капитальных затрат, проведя лишь малокапитальные и (или) организационные мероприятия [12], такие как:

- изменение режима работы печи (например, перевод печи с односменной работы на трехсменную работу и т. п.);
  - увеличение производительности печи путем повышения ее рабочей температуры;
  - своевременное проведение ремонтных работ (замена нагревательных элементов, футеровки, уплотнений, покраска кожуха печи алюминиевой краской и др.);
  - правильная эксплуатация печи (следить за тем, чтобы загрузочные и разгрузочные отверстия не были открыты без нужды, чтобы нагреваемые изделия были правильно уложены в печь при загрузке и т. д.).
6. Снижения расхода электроэнергии, потребляемой насосами.

Насосы являются одним из самых распространенных видов электрической нагрузки.

Электроэнергия, потребляемая насосом, может быть найдена по формуле [1]:

$$\Delta = (Q H \gamma) / (3600 \cdot 102 \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{н}} \eta_{\text{д}}) T, \quad (8)$$

где  $Q$  — производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — напор насоса, м. вод. ст.;  $\gamma$  — удельный вес перекачиваемой жидкости (для холодной воды  $\gamma=9810 \text{ н/м}^3$ );  $\eta_{\text{пер}}$  — КПД передачи (при непосредственном соединении двигателя  $\eta_{\text{пер}}=1$ ),  $\eta_{\text{н}}$  — КПД насоса (его значение можно взять из технического паспорта насоса или из каталога, а при отсутствии данных можно принять для поршневых насосов  $\eta_{\text{н}}=0,7-0,98$ , для центробежных с давлением выше  $39000 \text{ н/м}^2$  —  $0,6-0,75$ , при более низком давлении —  $0,3-0,6$ );  $\eta_{\text{д}}$  — КПД двигателя;  $T$  — время работы насоса за год, ч.

Из формулы (8) и анализа работы насосов следует, что снижение расхода электроэнергии насосом можно достичь следующими способами.

1. Повышение КПД передачи  $\eta_{\text{пер}}$ . Также можно вообще не использовать ее, установив рабочее колесо непосредственно на валу двигателя.
2. Повышение КПД насоса путем использования новых материалов для уплотнений (свежие уплотнения обеспечивают поддержание КПД насосов на уровне паспортных и обеспечивают минимальные удельные расходы электроэнергии на подачу воды), лучшей балансировки рабочих колес, более качественных ремонтов, замены морально устаревших насосов новыми типами насосов с высоким КПД.
3. Улучшение загрузки насосов, так как наименьший удельный расход электроэнергии на подачу воды наблюдается при максимальной подаче насоса. Для обеспечения максимальной подачи воды, зависящей от системы водоснабжения, необходимо сопоставление паспортных данных насоса с сопротивлением трубопроводов этой системы. В случае резких расхождений необходима замена насоса.
4. Повышение КПД двигателя путем замены двигателя на более экономичный, а также путем изменения параметров питающего напряжения (повышая  $\cos \varphi$ , изменяя напряжение).
5. Уменьшение потерь напора в трубопроводах, которые увеличиваются при отложениях накипи на стенках труб, при неисправных задвижках, при плохом состоянии и засорении всасывающих устройств, неправильной конфигурации трубопровода и т. д.
6. Рационально регулировать работу насоса путем перехода от регулирования задвижкой к регулированию изменением скорости вращения двигателя или путем изменения числа работающих насосов. Это связано с тем, что насосы работают в переменном режиме в зависимости от режима потребления воды.
7. Ликвидация утечки и бесцельного расхода воды, что ведет к прямым потерям электроэнергии.

## Выводы

1. Проведенное исследование показало необходимость привлечения пристального внимания к вопросам энергоэффективности промышленных производств как ключевому механизму для снижения энергоемкости валового внутреннего продукта нашей страны.

2. Выявлено, что промышленный сектор обладает значительным потенциалом экономии энергоресурсов, который возможно реализовать путем применения комплекса мероприятий для повышения энергоэффективности технологического оборудования.
3. Проведена классификация мероприятий для повышения энергоэффективности технологического оборудования промышленного производства с учетом типа потребителя и характера энергопотребления.

## Список использованных источников

1. И. А. Башмаков. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии//Доклад по результатам выполнения НИР. М.: Центр по эффективному использованию энергии, 2012.
2. С. Н. Григорьев, К. А. Змиева. Методика адаптивного управления энергопотреблением вакуумных насосов//«Электротехнические комплексы и системы управления», № 4, 2011.
3. Н. А. Колечицкая, Н. С. Лазарев, Р. Н. Шульга, К. А. Змиева. Феррорезонансные явления на шинах подстанций 6–10 кВ//«Электротехника», № 4, 2013.
4. К. А. Змиева, Е. В. Кузнецова. Методика расчета коэффициента мощности электродвигателя в условиях несинусоидальности тока и напряжения//«Вестник МГТУ «Станкин», № 4, 2011.
5. К. А. Змиева, Е. В. Кузнецова. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением промышленного предприятия//«Электро», № 3, 2012.
6. Р. Н. Шульга, К. А. Змиева, Е. Ю. Должикова, Е. М. Тимофеев. Измерение токов и напряжений на высоком потенциале с помощью цифровых датчиков//«Электричество», № 12, 2012.
7. К. А. Змиева. Автоматизированное управление энергопотреблением машиностроительных производств с целью повышения их энергоэффективности. Автореферат дисс. на соискание ученой степени к. т. н. М.: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 2009.
8. К. А. Змиева, Е. В. Кузнецова, Д. В. Козлов. Разработка инновационной энергосберегающей технологии повышения энергоэффективности машиностроительного оборудования//«Автоматизация и современные технологии», № 7, 2012.
9. К. А. Змиева, О. А. Кулагин, Е. В. Кузнецова, М. С. Бабин. Диагностика энергоэффективности электрических сетей с нелинейными и нестационарными потребителями//«Контроль. Диагностика», № 12, 2012.
10. Р. Н. Шульга, К. А. Змиева, Е. Ю. Должикова, Е. М. Тимофеев. Датчики тока и напряжения для цифровых подстанций нового поколения//«Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность», № 5, 2012.
11. К. А. Змиева, О. А. Кулагин. Энергетический подход к вычислению коэффициента мощности при нелинейной и нестационарной нагрузках//«Электротехнические комплексы и системы управления», № 3, 2012.
12. К. А. Змиева, Е. В. Кузнецова. Разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления энергопотреблением для промышленных предприятий//«Электротехнические комплексы и системы управления», № 3, 2012.
13. К. А. Змиева, О. А. Кулагин. Разработка энергоэффективной концепции построения распределительных сетей промышленного предприятия//«Электротехнические комплексы и системы управления», № 3, 2012.
14. К. А. Змиева, Д. А. Хайро, Е. Ю. Должикова. Снижение потерь и повышение качества электроэнергии за счет применения устройств корректировки параметров питающего напряжения электропотребителей//«Электротехнические комплексы и системы управления», № 3, 2012.
15. А. Р. Шульга, К. А. Змиева, Е. В. Кузнецова, И. И. Никулов. Системы мониторинга ограничителей перенапряжения//«Вестник Московского энергетического института», № 4, 2012.

## Industry energy efficiency in as a key mechanism of reducing energy intensity of Russia GDP

K. A. Zmиеva, PhD.

The promising directions in the development of technologies and means of improving energy efficiency in industrial production described.

**Keywords:** energy, industrial production, energy resources saving.