

УДК 621.314

Оценка рынка устройств и систем силовой электроники в Российской Федерации

Ф. А. КУЗНЕЦОВ¹, М. Ф. РЕЗНИЧЕНКО¹, Е. Б. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ², С. А. ХАРИТОНОВ²¹Институт неорганической химии Сибирского отделения РАН, проспект Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: fk@che.nsk.su

²Новосибирский государственный технический университет, проспект К. Маркса, 20, Новосибирск 630092 (Россия)

Аннотация

Представлен структурный анализ энергопотребления по отраслям промышленности и отдельным типам потребителей. Исходя из прогноза развития энергетических мощностей России и мировых тенденций развития силовой электроники показано, что реализация энергосберегающих технологий с использованием средств силовой электроники позволяет получить значительную экономию электроэнергии и снизить ее дефицит. С учетом структуры потребителей по отраслям и специфики необходимых средств силовой электроники оценена предельная емкость рынка России в денежном выражении как по устройствам и системам силовой электроники, так и по применяемым в них полупроводниковым приборам.

ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГОПОТРЕБИТЕЛИ И МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

По мнению ведущих зарубежных и отечественных экспертов в области прогнозирования мировых тенденций развития техники, очередной виток научно-технической революции будет обусловлен успехами в интеллектуальной силовой электронике. Так, можно привести высказывание известного американского специалиста в области силовой электроники профессора J. Bose: “Двумя самыми важными технологиями сверхавтоматизированного XXI века будут компьютерная (разум) и силовая электроника (мускулы)”.

В последние десятилетия человечество пришло к осознанию необходимости скорейшего решения проблемы энерго- и ресурсосбережения. В основе многих энерго- и ресурсосберегающих технологий лежат достижения интеллектуальной силовой электроники. В подтверждение этого тезиса приведем некоторые факты.

1. Объем годового потребления энергии в мире, по оценкам Международного энергетического агентства, составляет $(40-50) \cdot 10^{12}$ кВт · ч,

при этом электроэнергии потребляется $(8-12) \cdot 10^{12}$ кВт · ч. Ежегодные затраты на производство электроэнергии составляют 400–500 млрд \$, из них 72–78 млрд \$ приходится на прямые потери генерирующих, передающих и потребляющих объектов.

2. Основными потребителями электроэнергии в настоящее время являются:

- электроприводы различного назначения (51 %);
- освещение (19 %);
- нагрев/охлаждение (16 %);
- телекоммуникации (14 %).

3. Менее 25 % энергии в мире используется оптимально для совершения требуемой работы в смысле минимизации потерь путем применения высокоэффективных методов управляемого преобразования электроэнергии сети в энергию управления объектом.

4. Ресурсы увеличения производства электроэнергии в XXI веке, а также проблемы экологического порядка не дадут возможности обеспечить высокие (или даже средние) жизненные стандарты для населения.

Очевидным решением этой проблемы является внедрение энерго- и ресурсосберега-

ющих технологий. В основе большинства подобного рода технологий лежит использование высокоэффективных преобразователей электрической энергии (устройств силовой электроники), построенных на базе мощных полупроводниковых приборов. Такая стратегия технического развития позволяет получить значительный экономический эффект. Управляемый с помощью полупроводникового преобразователя электрической энергии промышленный электропривод экономит до 40 % генерируемой электроэнергии. Доля регулируемых электроприводов в мировых технологиях в настоящее время не превышает 40 %. Использование управляемого электропривода в тех областях, где это возможно, приведет к ежегодной экономии 72 млрд \$.

Ежегодно для целей освещения продается около 10 млрд ламп накаливания и 500 млн люминесцентных ламп. Люминесцентная лампа с электронным балластом в 5 раз эффективнее лампы накаливания, служит в 10 раз дольше, экономит до \$30 за время службы. Потенциал экономии – 119 млрд \$. Натриевая лампа высокого давления (НЛВД) с электронной пускорегулирующей аппаратурой (ПРА) эффективнее ртутно-дроссельных ламп, применяемых в уличном освещении, в 2,5 раза, что позволяет увеличить потенциал экономии до 200 млрд \$.

Повышение эффективности источников вторичного электропитания за счет исполь-

зования импульсных способов преобразования электрической энергии имеет потенциал экономии 2,5 млрд \$.

Использование устройств силовой электроники в автомобилестроении в таких направлениях, как системы управления двигателем, электрический усилитель руля, системы стартер-генератор, АБС, системы электрического торможения и т. д., уже при 10 % экономии топлива может сэкономить 29 млрд \$ на парке 500 млн автомобилей.

Применение полупроводниковых преобразователей электрической энергии для регулирования производительности технологических цепей ТЭС уменьшает на 30–40 % энергопотребление на собственные нужды, что приводит к снижению себестоимости 1кВт·ч на 7–10 %. *Повышение эффективности использования электроэнергии влечет за собой уменьшение затрат на создание и эксплуатацию инфраструктуры (электростанции, ЛЭП и т.д.), однако оценка данного экономического эффекта в настоящее время затруднена.*

Массовым потребителем устройств силовой электроники является бытовая техника. Большой объем выпуска бытовой техники определяет большой резерв энергосбережения, несмотря на небольшой уровень потребления мощности отдельным прибором. Наиболее энергоемкими потребителями в быту являются кондиционеры, индукционные плиты, стиральные машины, холодильники, светильники

ТАБЛИЦА 1

Экономический эффект применения устройств силовой электроники

Область применения	Экономический эффект
Преобразовательные устройства для регулирования производительности технологических цепей ТЭС и ГЭС	Уменьшение энергопотребления на собственные нужды на 30–40 %; снижение себестоимости 1кВт·ч на 7–10 %
Преобразователи частоты и напряжения для регулируемого электропривода общепромышленного назначения	60–70 млрд \$
Коммунальное хозяйство, уличное освещение (НЛВД), освещение общественных помещений компактными люминесцентными лампами с электронной ПРА	90–120 млрд \$
Бытовая электроника (пылесосы, холодильники, светильники, стиральные машины, индукционные плиты и др.)	Только на 10 % холодильников за 3 года 1 млрд \$
Автомобильная электроника	29 млрд \$ при 10 % экономии топлива
Повышение эффективности источников электропитания	2–3 млрд \$

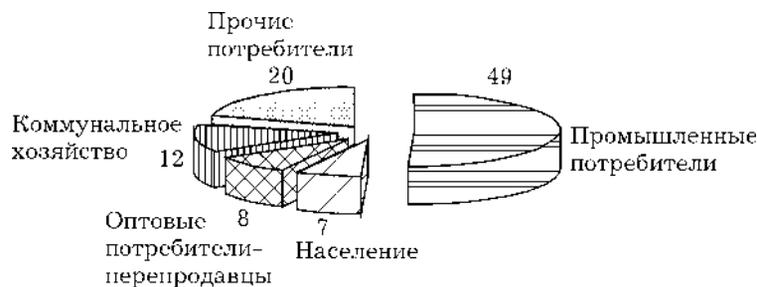


Рис. 1. Схема структуры энергопотребления в Российской Федерации.

ки. Использование регулируемого электропривода компрессора холодильника приводит в среднем к 40 % экономии электроэнергии, а также к снижению общей цены холодильника и экономии 70 \$/год для 200-литровых холодильников. К 2003 г. ежегодная экономия может составить 1 млрд \$ при переводе 10 % холодильников на регулируемый компрессор. Стиральная машина с интеллектуальным силовым регулятором режимов работы экономит 60 % воды. Индукционная плита имеет КПД выше 90 %, вместо 50 % у электроплит.

В бытовом освещении светильник с люминесцентной лампой 20 Вт заменяет лампу накаливания 100 Вт.

В табл. 1 приводятся области применения устройств силовой электроники и экономический эффект от их внедрения.

ТАБЛИЦА 2

Детальный состав и структура потребителей электроэнергии

Потребитель	Электроэнергия, млрд кВт·ч		Тепловая энергия, млн Гкал	
	Всего	Доля, %	Всего	Доля, %
Промышленность	276.2	49	135.3	30
В том числе:				
топливная	61.9	11	27.4	6
черная металлургия	41.1	7	3.6	1
цветная металлургия	52.1	9	8.1	2
химия и нефтехимия	31.7	6	46.4	10
машиностроение и металлообработка	38.5	7	20.2	4
деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная	9.3	2	4.9	1
промышленность стройматериалов	11.4	2	4.1	1
легкая	3.8	1	2.8	1
пищевая	6.3	1	2.4	1
прочая	14.1	2	15.4	3
Сельское хозяйство	29.1	5	5.9	1
Лесное хозяйство	0.3	0	0.8	0
Транспорт и связь	56.3	10	5.2	1
Строительство	4.7	1	3.9	1
Жилищно-коммунальное хозяйство	67.6	12	59	13
Население	38.5	7	187.4	41
Прочие отрасли	94.9	16	56.1	13
Всего	567.6	100	453.6	100

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКОВ СБЫТА УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Реальным способом оценки минимальных потребностей в устройствах силовой электроники в Российской Федерации в настоящее время является анализ потребителей электроэнергии по данным РАО «ЕЭС России» с учетом мировых тенденций развития энергосберегающих технологий, которые в конечном счете станут определяющими и в РФ.

На 01.01.2000 г. установленная мощность генерирующих предприятий РАО «ЕЭС России» составляла 156.2 МВт или 72.7 % от установленной мощности электростанций России. Схематичное изображение структуры потребителей электроэнергии в РФ представлено на рис. 1. Детальный состав и структура потребителей электроэнергии в 1999 г., по данным РАО «ЕЭС России», приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 3

Структура потребителей и предельная емкость рынка устройств и систем силовой электроники

Область применения	Установлен- ная мощ- ность, кВт	Стоимость, млн \$		Тип прибора
		устройства силовой электроники	полупровод- никовые приборы	
Преобразователи для генерирующих электростанций (объектов)	1.20E+07	1.20E+03	400	GTO,IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
Подстанции для экспорта электроэнергии за рубеж		1.58E+03	546	GTO,IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
Промышленность в целом	7.65E+07	7.65E+03	2296	GTO, IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
В том числе:				
топливная		1.69E+03	505	GTO,IGCT, IGBT, диоды, драйверы
черная металлургия		1.07E+03	321	GTO,IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
цветная металлургия		1.38E+03	413.3	GTO,IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
химия и нефтехимия		9.18E+02	273	GTO,IGCT, IGBT, диоды, тиристоры, драйверы, снабберы
машиностроение и металлообработка		1.08E+03	344	IGCT, IGBT, MOSFET, диоды, драйверы, снабберы
Связь (ВИП, БИП, ЗУ, обогрев и проч.)	5.00E+06	3.90E+03	1300	IGCT, IGBT, MOSFET, диоды, драйверы
Транспорт				
железнодорожный и городской электрический (преобразовательные подстанции и др.)	1.00E+07	4.90E+02	195	Диоды, тиристоры
автомобильный (усилитель руля, стартер-генераторное устройство, стеклоподъемники, впрыск центральный и распределенный)		3.10E+02	103	IGBT, MOSFET, диоды, драйверы
Жилищно-коммунальное хозяйство, население	2.90E+07	2.94E+03	980	
освещение (ППА, системы защиты, проч.)		2.40E+03	800	IGBT, MOSFET, диоды, драйверы
обогрев, бытовая электроника		5.40E+02	180	Симисторы, драйверы, IGBT, MOSFET, диоды
<i>Итого</i>		1.81E+04	5.82E+03	

Табл. 2 позволяет определить структуру потребителей устройств и приборов силовой электроники, а также произвести оценку предельной емкости их рынка сбыта. Последние расчеты производились исходя из оценок удельной стоимости электронного оборудования каждого класса. Диапазон значений удельной стоимости устройств силовой электроники лежит в пределах 0,08–2 \$/Вт, при этом эта величина практически обратно пропорциональна мощности устройства.

Результаты анализа табл. 2 представлены в табл. 3.

В табл. 4 приводятся данные о важнейших инвестиционных проектах развития экспорта электроэнергетики РАО «ЕЭС России».

Как следует из табл. 3, емкость рынка устройств силовой электроники в России составляет 18,1 млрд \$, а емкость рынка приборов – 582 млн \$. Надо отметить, что данная оценка является заниженной, так как, в

частности, не учитывает такие факторы, как рост генерирующих мощностей в ближайшие годы (рис. 2), а также затраты на приобретение устройств силовой электроники при реконструкции и ремонте объектов энергетики (см., например, табл. 5). Данный тезис подтверждает следующее высказывание: «Для поддержания безопасного состояния электроэнергетики необходимо ежегодно заменять примерно 6000 МВт мощности основного электрогенерирующего оборудования» (из выступления секретаря Совета безопасности РФ С. Б. Иванова 3 марта 2000 г. в Сургуте на Всероссийском совещании по развитию топливно-энергетического комплекса России). О размерах затрат на реконструкцию энергетического оборудования можно судить, например, по табл. 5, где приведены перспективные реальные проекты реконструкции объектов электроэнергетики РАО «ЕЭС России».

ТАБЛИЦА 4

Важнейшие инвестиционные проекты развития экспорта электроэнергетики РАО «ЕЭС России»

Энергомощность, мощность энергетической сети	Этапы строительства и их стоимость	Стоимость, млн \$		Типы используемых приборов
		устройства силовой электроники	приборы силовой электроники	
Россия – страны Центральной и Юго-Восточной Европы (Львовское и Молдавское сечения), 3600 МВт	1-й – 6 млрд кВт·ч/год, 2-й – 13–15 млрд кВт·ч/год, инвестиции для 2-го этапа – 310 млн \$	220	55–65	Диоды, тиристоры, ГТО, ИГСТ, драйверы, снабберы
Россия – страны Центральной и Западной Европы через электрические сети Беларуси, Украины и Польши, 4800 МВт	1-й – 10 млрд кВт·ч/год, 2-й – 16 млрд кВт·ч/год, инвестиции для 1-го этапа – 250 млн \$, 2-го этапа – 180 млн \$	200	50–60	То же
Россия–Япония, 4000 МВт	1-й этап – 12,0 млрд кВт·ч/год, 2-й этап – 25 млрд кВт·ч/год, предварительная оценка инвестиций – 9600 млн \$	480	160	»
		480	160	»
Восток–Запад, 4000 МВт	Предварительная оценка инвестиций – 1300 млн \$			
Россия–Китай, 2000 МВт	Объем экспорта 15–18 млрд кВт·ч/год, предварительная оценка инвестиций – 1500 млн \$	180	60	»

ТАБЛИЦА 5

Перспективные проекты реконструкции объектов электроэнергетики

Наименование проекта	Цель проекта	Срок реализации, год	Проектная мощность	Состояние проекта	Стоимость, млн \$	Срок окупаемости, лет
Техническое перевооружение и реконструкция АО "Костромская ГРЭС"	Замена выработавших парковый ресурс энергоблоков 4xК-300-240 1-й очереди на парогазовые установки 4xПГУ-325 для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей ОЭС Центра, повышения КПД электростанции и снижения вредных выбросов	2	1-я очередь – 1300 МВт, мощность станции – 3700 МВт, выработка электроэнергии – 21.6 млрд кВт·ч/год	Выполнены предпроектные исследования	550 (собственные и заемные средства)	8
Реконструкция котлоагрегатов 1-й очереди АО "Рязанская ГРЭС"	Обеспечение надежного энергоснабжения потребителей ОЭС Центра, повышение КПД электростанции и улучшение экологических условий	2	1-я очередь – 1200 МВт, выработка электроэнергии – 7.2 млрд кВт·ч/год	ТЭО реконструкции 1-й очереди	200 (собственные и заемные средства)	8
Реконструкция и техническое перевооружение 1-й очереди АО "Конаковская ГРЭС"	Замена 4 энергоблоков К-300-240 на парогазовые установки 4xПГУ-325 для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей ОЭС Центра, повышения КПД электростанции и улучшения экологических условий	3	Мощность ГРЭС – 2500 МВт, в том числе 1-я очередь – 1300 МВт, выработка электроэнергии – 14.2 млрд кВт·ч/год	Выполнен проект реконструкции	570 (собственные и заемные средства)	8

ТАБЛИЦА 5 (окончание)

Наименование проекта	Цель проекта	Срок реализации, год	Проектная мощность	Состояние проекта	Стоимость, млн \$	Срок окупаемости, лет
Реконструкция и техническое перевооружение первой очереди АО "Черепецкая ГРЭС"	Обеспечение надежного энергоснабжения потребителей ОЭС Центра, повышение КПД электростанции и улучшение экологических условий	2	1-я очередь – 600 МВт, выработка электроэнергии – 3.6 млрд кВт·ч/год	Предварительное ТЭО	300 (собственные и заемные средства)	7
Реконструкция первой очереди АО "Троицкая ГРЭС"	Повышение надежности энергоснабжения потребителей ОЭС Урала, реконструкция котлов 1-й очереди (6×ПК-14) путем перевода их на сжигание газа, повышение КПД электростанции и улучшение экологических условий	3	1-я очередь – 1059 МВт, выработка электроэнергии – 6.0 млрд кВт·ч/год	Предварительные технические решения	450 (собственные и заемные средства)	7
Реконструкция первой очереди АО "Ириклинская ГРЭС"	Замена выработавших парковый ресурс энергоблоков 4×К-300-240 1-й очереди на парогазовые установки 4×ШГУ-325 для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей ОЭС Центра, повышения КПД электростанции и улучшения экологической обстановки в регионе	4	1-я очередь – 1300 МВт, выработка электроэнергии – 7.5 млрд кВт·ч/год	Предварительные технические предложения	620 (собственные и заемные средства)	8

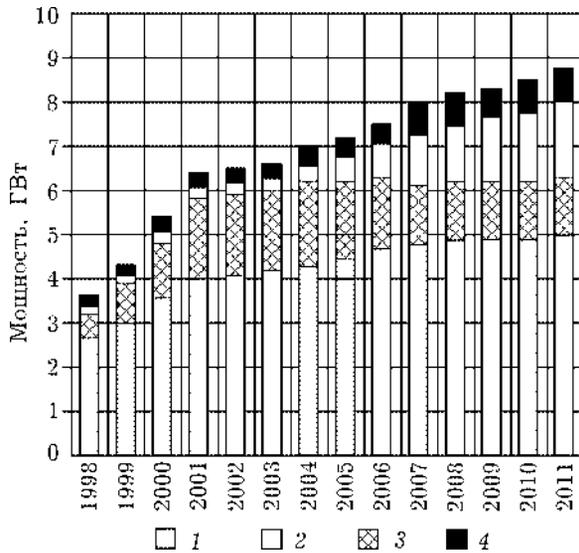


Рис. 2. Прогноз прироста энергетических мощностей России в 1998–2011 гг.: 1 – тепловые станции, 2 – газотурбинные, 3 – ГЭС, 4 – атомные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на спад в экономике страны в прошедшее десятилетие, Россия по-прежнему занимает одно из ведущих мест в мире по объему производства и потребления электроэнергии. Установленная мощность электростанций России к концу 2000 г. превысила 220 ГВт, за текущий год будет выработано и потреблено более 850 млрд кВт·ч электроэнергии. В то же время потребление электроэнергии на производство единицы валового внутреннего продукта в России более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель экономически развитых и большинства развивающихся стран мира.

Положение в электроэнергетике России не является гарантировано стабильным. По данным РАО «ЕЭС России», к 2005 г. выработает

свой ресурс около 40 %, к 2010 г. – 55 % действующих мощностей электростанций. Повышение эффективности использования энергии – не просто способ снижения издержек, а важнейший рычаг подъема экономики.

Как показывает мировой опыт, уже введение электронного регулирования ныне используемых систем электропривода и освещения без изменения технологии по существу обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии на 20–30 %. Разработка и широкомасштабное использование новых технологий, существенной частью которых является полупроводниковая силовая электроника, обеспечит многократное снижение расхода электроэнергии на производство единицы валового внутреннего продукта.

В настоящее время масштаб использования энергосберегающих устройств, основанных на применении современных систем силовой электроники, в российской экономике не превышает 10 %. Потенциальный объем российского рынка систем силовой электроники на ближайшее десятилетие может быть оценен в 4–6 млрд \$ в год в зависимости от конкретного сценария развития российской энергетики. Стоимость полупроводниковых силовых приборов в мировой практике составляет одну треть от стоимости систем силовой электроники. Соответственно потенциальный объем рынка полупроводниковых приборов для предназначенных к применению в России систем силовой электроники составит от 1.3 до 2 млрд \$ в год.

Доля Сибирского региона в российском рынке по различным системам силовой электроники составляет от 11 до 14 % и может быть оценена в 600–800 млн \$ США в год.