

Посвящается памяти профессора  
Ильинского Николая Федотовича

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**Ж**изнь современного горожанина немыслима без основных систем жизнеобеспечения — электро-снабжения, водопроводно-канализационного и топливно-энергетического хозяйства. Теплоснабжение такой северной страны, как Россия, 80% территории которой находится в холодной климатической зоне, фактически обеспечивает выживание населения. В жилищно-коммунальном хозяйстве страны расходуется 45% всей вырабатываемой тепловой энергии, а потенциал энергосбережения в этой отрасли оценивается как 26% от имеющегося в стране.

Электропривод насосов и вентиляторов является основой тепло-водоснабжения и всей технологической линии — от выработки тепловой энергии и транспортировки теплоносителя по магистральным трубопроводам до распределения и подачи тепла и воды жителям. Однако до настоящего времени нередко используются энергетически неэффективные способы управления технологическими переменными при простейших нерегулируемых электроприводах.

Главная цель данного учебного пособия — перевод теоретически обоснованных и теперь уже очевидных представлений о решении задач энергосбережения средствами регулируемого электропривода в практическую область на примере важнейшей подотрасли — тепло-водоснабжения населения. Делается акцент на неразрывности технологических проблем и проблем энерго- и ресурсосбережения.

Эффект от регулирования собственно технологического процесса проявляется в повышении качества продукта или увеличении производительности. Для конкретных производителей продукции во всем мире технологическая востребованность регулирования является основным побудительным мотивом внедрения регулируемого электропривода. Сопровождающий эффект энерго- и ресурсосбережения является следствием совершенствования технологического процесса.

Основываясь на собственном опыте модернизации объектов теплоэнергетики, авторы излагают ряд задач, решение которых обеспечивает не только экономию электроэнергии, потребляемой электроприводом, но и экономию газа, тепла и воды. Показываются экологические выгоды применения регулируемого электропривода в составе котлоагрегатов, а также труднооцениваемые в экономических показателях другие сопутствующие положительные эффекты. При общетеоретическом рассмотрении преимуществ регулируемого электропривода в отрыве от конкретных технологий его применения подобные эффекты выявить затруднительно, а их достижение и оценка показаны на примере системы тепло-водоснабжения населения.

Приводятся примеры практического решения ряда технологических проблем и реального достижения энерго- и ресурсосбережения как на отдельных объектах теплоэнергетики, так и в районных теплосетях больших городских массивов.

Рассматривается проблема тиражирования удачных решений и перехода к массовому внедрению с применением отечественного регулируемого электропривода.

Значительное внимание уделяется проблеме надежности и бесперебойности тепло-водоснабжения, в том числе преодолению негативных явлений, сопутствующих внедрению частотно-регулируемого электропривода. Показываются возможности решения задачи бесперебойной работы непрерывных производств в условиях кратковременного нарушения электропитания применением нового секционированного вентильно-индукторного электропривода.

Регулируемый электропривод рассматривается как локальная система автоматического регулирования технологических координат, на базе которой с объединением нескольких систем строится автоматизированная система управления технологическим процессом. На примерах реальных объектов (теплостанций) показывается построение АСУ ТП, качественно повышающих уровень производства и условия труда персонала.

Материал опирается на теоретические и практические работы ученых и практиков, внесших значительный вклад в совершенствование технологии с достижением экономии энергоресурсов в энергетике и водоканализации России. Ссылки на их работы делаются в процессе изложения. Используются практические результаты работы на объектах теплоэнергетики Московской объединенной энергетической компании таких фирм, как ООО «Центртехкомплект», НПФ «Эксперт», НПП «Цикл+», ООО «Вектор», а также научной группы А. М. Русакова в составе кафедры ЭКАО Московского энергетического института.

Учебное пособие является практическим развитием направлений энерго- и ресурсосбережения, указанных и теоретически обоснованных профессором Н. Ф. Ильинским, и посвящается его памяти.

Авторы выражают благодарность доктору технических наук профессору М. Г. Бычкову за рецензирование рукописи и сделанные ценные замечания и кандидату технических наук Е. Н. Штину — за предоставленные материалы.

Над материалами пособия работал доктор технических наук, профессор Ю. А. Крылов, но, к сожалению, подготовка к изданию книги происходит уже после его ухода из жизни. Поэтому данный труд в определенной степени является итогом творческого пути ученого и специалиста, много лет занимавшегося проблемами энергосбережения, автоматизации, разработки и внедрения регулируемых электроприводов в различных отраслях промышленности и топливно-энергетического комплекса. Надеемся, что пособие окажется полезным студентам, магистран-

там, аспирантам, обучающимся по электротехническим направлениям, а также специалистам, занимающимся проблемами энергосбережения и автоматизации, обеспечиваемыми средствами частотно-регулируемого электропривода.

Материалы для учебного пособия получены в рамках гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (государственное соглашение №14. В37.21.0334).

## ВВЕДЕНИЕ

**П**о мере роста потребления различных видов энергии в мире все более осознается необходимость энерго- и ресурсосбережения. Начиная с 1970-х годов, энергосбережение является политикой многих развитых стран, а энергетические кризисы, резкие колебания цен на топливо и диктат энергоснабжающих государств вынуждают уделять этой проблеме повышенное внимание.

К сожалению, повсюду сохраняется ситуация, когда проблема энерго- и ресурсосбережения еще не овладела массами людей, непосредственно расходующих энергию при производстве продукции. Производитель, имеющий возможность включения в стоимость продукции затрачиваемых энергии и ресурсов, не имеет прямого экономического интереса к их сокращению. В более крупном масштабе, при наличии конкуренции товаров на внешнем рынке, побеждает производитель, использующий дешевую энергию.

Специалисты и ответственные руководители, осознающие ограниченность ресурсов ископаемого топлива и экологические аспекты всевозрастающего его потребления, понимают, что грядущие условия обитания человека и экономическое состояние цивилизации напрямую зависят от количества потребляемой энергии во всех сферах человеческой деятельности и уровня энергосбережения.

Энергосбережение — это снижение бесполезных потерь энергии. Тема энергоэффективности и энергосбережения особенно актуальна для России ввиду высокой удельной

энергоёмкости экономики, основными причинами которой являются климатические условия и сложившаяся структура производства. Холодный климат предопределяет затраты энергии на душу населения большие, чем, например, в странах Европейского союза (ЕС). Количество энергии, расходуемой на выживание населения (отопление), составляет 45% от всей энергии, вырабатываемой в России. В результате энергоёмкость внутреннего валового продукта в России в 2,2 раза выше, чем в США, в 3,2 раза выше, чем в ЕС, и в 3,6 раза выше, чем в Японии.

Теплоснабжение относится к числу важнейших приоритетов государственной экономической и энергетической политики России, и повышение его надёжности, качества и экономичности является безальтернативной задачей. Любые сбои в обеспечении населения теплом негативным образом воздействуют на экономику страны и создают социальную напряжённость.

«Энергетическая стратегия России до 2030 года» оценивает потенциал энергосбережения в жилищно-коммунальном комплексе как 26% от имеющегося в стране, а ее стратегическими целями являются:

- надёжное снабжение теплом и водой предприятий экономики и населения страны;
- повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития отрасли на базе современных технологий;
- снижение вредных выбросов от энергоисточников в окружающую среду.

Мировой опыт последних 15–20 лет показывает, что наряду с множеством путей энергосбережения в теплоснабжении одним из эффективных решений является сокращение потерь мощности, потребляемой многочисленными насосными и вентиляторными установками, оснащёнными асинхронным электроприводом. Исключение дросселирования механическими устройствами не только экономит электроэнергию, но и обеспечивает многие важные технологические возможности.

Причин для энерго- и ресурсосбережения с точки зрения мировой экономики и энергетики достаточно, и они

осознаны руководителями многих уровней государственных служб и отраслей промышленности. Но каковы же побудительные мотивы внедрения регулируемого электропривода в конкретные производства? Эксплуатирующие организации без побудительных мотивов не склонны брать на себя риски освоения новой техники, если имеющееся оборудование работает нормально. Ни один бизнесмен не станет вмешиваться в хорошо отлаженное производство и нести финансовые затраты, если единственным аргументом является экономия электроэнергии по уже указанной причине — возможность включения ее стоимости в конечный продукт. Веские доводы появляются при рассмотрении свойств регулируемого электропривода в непрерывной связи с технологией, которую он обеспечивает, и именно поэтому есть отрасли и технологии, где он особенно эффективен. К таковым относится и тепло-водоснабжение в сфере обеспечения жизнедеятельности человека — ЖКХ городов.

**Энерго- и ресурсосбережение.** В энергосбережении особое внимание уделяется экономии электрической энергии, доля которой от объема потребления всех видов энергии в развитых странах составляет около 20%. Основным потребителем электроэнергии является электропривод (60%), совершенствование которого продолжается по всем направлениям.

Использование громадного потенциала системы электропривода в целом оказалось возможным с созданием электронных устройств для регулирования частоты вращения асинхронного электродвигателя. Причем доля экономии электроэнергии в цепочке регулируемый электропривод — технологический показатель составляет десятки процентов в сравнении с нерегулируемым, а для насосов и вентиляторов — 40 и более процентов. Это объясняется тем, что основная доля потерь связана именно с технологическим процессом и способом управления технологическими координатами. Например, в системах водоснабжения с нерегулируемым электроприводом и при регулировании напора или расхода дросселирующими устройствами доля потерь энергии может достигать 50% от потребляемой из электросети.

Неразрывность регулирования с технологическим процессом, в зависимости от конкретного применения, может обеспечивать экономию других, кроме электрической, видов энергии и ресурсов. Например, в теплоснабжении населения, благодаря регулируемому электроприводу насосов, дополнительно экономятся тепло и вода, а значимость этой экономии в денежном выражении превышает стоимость электросбережения.

При выработке тепловой энергии эффективность расхода топлива зависит от соотношения подаваемых в топку компонентов горения (например, воздух — газ), и условий горения (разрежение в топке, тяга). Оптимальным управлением соответствующих координат посредством регулируемого электропривода достигается экономия топлива.

**Технологическая востребованность.** Переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому, являющийся генеральным направлением энерго- и ресурсосбережения, обеспечивает эффект от регулирования собственно показателей технологического процесса. Именно это способствует либо повышению качества продукта, либо увеличению производительности. Для конкретных производителей продукции технологическая востребованность регулирования является основным побудительным мотивом внедрения регулируемого электропривода.

**Автоматизация производств.** Электропривод, осуществляющий регулирование координат технологического процесса, является локальной автоматической системой. Само использование локальных систем создает предпосылки для создания комплексных систем автоматического управления технологическим процессом (АСУ ТП), в которых электропривод является одним из объектов управления. Ввиду значимости и распространения электропривода в большинстве технологий возникают возможность и целесообразность модернизации производств с применением современных средств управления.

**Сопутствующие положительные свойства.** Положительное, но труднооцениваемое в экономических понятиях (денежном выражении) свойство регулируемого



электропривода нередко называют «ресурсной» составляющей экономического эффекта. Его использование ведет к увеличению межремонтного периода и срока службы, включая исполнительный механизм и узлы технологической линии, связанные с этим электроприводом. Прямой пуск электродвигателя от сети в той или иной степени подобен ударному приложению усилий: механических — к насосу, гидравлических — к запорно-регулирующей арматуре, уплотнителям, трубопроводам. Плавный разгон электропривода устраняет ударные воздействия, уменьшает риск аварий и увеличивает ресурс оборудования. Этому же способствует и работа на пониженной частоте вращения. Однако в очевидности этого преимущества персонал эксплуатирующих организаций убеждает только длительный опыт эксплуатации.

В рассматриваемой подотрасли выработка тепловой энергии сопровождается выбросом в атмосферу вредных веществ. Оптимизацией режима горения с помощью регулируемого электропривода может быть существенно улучшена экологическая ситуация.

Следует отметить выгоды, получаемые смежными ведомствами или организациями, не участвующими во внедрении регулируемого электропривода и не несущими затрат. Оценить эти выгоды практически невозможно, хотя они косвенно связаны с качеством поставляемой продукции. Например, снижение напора воды, подаваемой в квартиры, до нормативного уровня снижает количество порывов гибких подводов и разрушений кранов и тем самым — риск затопления квартир водой.

Совокупность положительных свойств регулируемого электропривода, соотношение и значимость которых определяется конкретными технологиями производства, и является побудительным мотивом его широкого внедрения.

**Эквивалентность гидравлических и электрических схем.** Практическая работа по внедрению регулируемого электропривода требует от специалистов знания технологии. В специальной технической литературе, например в учебнике для вузов «Теплофикация и тепловые сети»

профессора Е. Я. Соколова, имеются все необходимые сведения по теплоснабжению, но это не входит в курс подготовки инженеров электротехнических специальностей.

В общем случае следует согласиться с тем, что технологические задачи электроприводчику должен ставить технолог. На практике эта схема зачастую не срабатывает из-за предубеждения специалистов, что чуждую область знания осваивать не стоит.

Благодаря знанию законов электрических цепей, дистанция между «что нужно делать» и «как сделать» электроприводчиками преодолевается сравнительно легко. Например, закон Ома напрямую к гидравлической схеме неприменим из-за квадратичной зависимости напора (эквивалент напряжения) и расхода (эквивалент тока), но общие закономерности, упрощающие понимание гидравлики, характерны для обеих систем. Именно поэтому при анализе гидросхем широко применяется метод эквивалентной электрической схемы.

Перед рассмотрением технологических схем системы тепло-водоснабжения рекомендуется изучить таблицу В.1 условных обозначений в гидравлических схемах, принятых в книге, и их функциональных аналогов — в электрических. Возможные отличия поясняются по мере изложения материала. Например, обратный клапан и диод (строка 5) полностью идентичны, а задвижка и выключатель (строка 3), имея одно назначение — «закрыт — открыт», могут несколько отличаться: задвижка в ограниченном диапазоне (не полностью закрыта) может пропускать рабочую среду (воду), являясь дросселирующим устройством.

Буквенные обозначения характеристик гидросистемы нередко совпадают с обозначениями электрических величин, что вызывает определенные сложности. В таблице В.2 приведены наиболее часто применяемые обозначения, на которые следует обратить внимание для понимания излагаемого материала. Здесь же указаны единицы измерения, употребляемые в технической литературе и практике. Некоторые из них отличаются от международной системы СИ, например, напор (давление)

Таблица В.1

**Обозначения основных элементов гидравлических схем и их электрические аналоги**









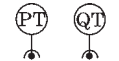
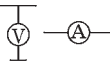
№ п/п	Гидросхема		Аналог в электросхеме	
	Обозначение	Название	Обозначение	Название
1		Трубопровод с постоянным гидросопротивлением		Электропроводник с постоянным резистором
2		Насос, вентилятор, дымосос		Источник напряжения
3		Задвижка		Выключатель
4		Дросселирующее устройство, дроссель (регулирующий клапан, шибер и др.)		Переменный резистор
5		Обратный клапан		Диод
6		Преобразователь тепловой энергии — теплообменник (бойлер)		Преобразователь электрической энергии — трансформатор
7		Датчик давления, расхода и др. с токовым выходом		Вольтметр, амперметр

Таблица В.2

**Обозначения характеристик системы тепло-водоснабжения и единицы измерения, наиболее часто используемые на практике**

№ п/п	Обозначение	Название	Единицы измерения	Электрический аналог
1	$H, \Delta H$	Напор в трубопроводах; падение напора на элементах гидросхемы (для воды)	м. в. ст. (атм, кг/см <sup>2</sup> , Па)	$U, \Delta U$ — напряжение, падение напряжения
2	$Q$	Расход (воды, воздуха, газа и др.)	м <sup>3</sup> /ч	$I$ — ток
3	$N, \Delta N$	Механическая мощность, потребляемая с вала электродвигателя и расходуемая в гидросистеме на перемещение рабочего тела	кВт	$P$ — активная мощность
4	$S$	Гидравлическое сопротивление	м·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> (Па·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> )	$R$ — активное сопротивление

Продолжение таблицы В.2

№ п/п	Обозначение	Название	Единицы измерения	Электрический аналог
5	$P$	Давление: газа, воздуха; разрежение	кг/см <sup>2</sup> (атм, Па) мм. в. ст.	$\phi$ — потенциал относительно земли
6	$\Theta$	Тепловая энергия	Гкал	$\mathcal{E}$ — электрическая энергия
7	$W$	Тепловая мощность	Гкал/ч	$P$ — активная мощность
8	$T^{\circ}$	Температура теплоносителя	$^{\circ}\text{C}$	температура
9	$\eta_{\text{нас}}$	КПД насоса, резко переменная величина в зависимости от расхода	%, относит. единицы	$\eta_{\text{нас}}$ — КПД электрооборудования

воды и разрежение в топке котла измеряются в метрах и миллиметрах водяного столба.

Ориентируясь на электрические аналоги или, по мере надобности, обращаясь к таблицам, любую из приводимых далее гидравлических схем нетрудно представить в виде эквивалентной электрической схемы. Это значительно упростит восприятие технологических задач в системе тепло-водоснабжения.

# ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЗАДАЧИ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ГОРОДА

## 1.1. СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРОДА

**Ж**илищно-коммунальная сфера определяет качество и уровень жизни каждого горожанина. Город нуждается в общественном транспорте, дорогах, уличном освещении, торговом обеспечении и еще множестве того, что делает жизнь населения комфортной. Жизнь современного горожанина немыслима без электричества, воды и отопления, т. е. без эффективной работы основных систем жизнеобеспечения — электроснабжения, водопроводно-канализационного и топливно-энергетического хозяйства.

Структуру энергетического баланса по всем потребителям города можно показать на примере Москвы [1], таблица 1.1.

Таблица 1.1

Структура энергетического баланса Москвы

Распределение потребления энергетических ресурсов по отраслям	Структура потребления энергетических ресурсов	
	Тепловая энергия, %	Электроэнергия, %
Промышленность	17,1	39,8
Жилищно-коммунальное хозяйство	59,6	26,4
Строительство	2,5	3,5
Транспорт	2,6	11,7
Прочие отрасли	18,2	18,6

Очевидно, что наибольшая доля тепловой энергии и воды в городе потребляется в жилищном, а вырабатывается и поставляется в топливно-энергетическом

и водопроводно-канализационном хозяйстве. По мере строительства нового жилья требуется наращивание энергетических мощностей, но более высокую рентабельность имеют мероприятия по энергосбережению, так как при меньших капитальных затратах можно получить экономию энергии, используемую на новых объектах.

«Энергетическая стратегия России до 2020 года» оценивает существующий потенциал энергосбережения в 40–45% текущего потребления (360–430 млн т. у. т.). Свыше 45% всей вырабатываемой тепловой энергии в России используется на отопление и горячее водоснабжение, т. е. на выживание в условиях сурового климата. В водопроводно-канализационном и топливно-энергетическом хозяйствах широко используется электропривод устройств и механизмов, которые обеспечивают выработку тепловой энергии и транспортировку питьевой, горячей, технической воды и теплоносителя (перегретой воды). И именно здесь имеются резервы экономии, которые следует использовать, но без снижения уровня комфорта населения.

**Системы тепло-водоснабжения городов.** В городском хозяйстве многих стран используются две основные системы тепло-водоснабжения: централизованная и децентрализованная. Для централизованных характерна концентрация тепловой мощности источников, их удаленность от потребителя, нередко за городскую черту, наличие промежуточных пунктов преобразования и распределения энергии, приближенных к потребителю, а также единых служб эксплуатации.

Децентрализованные системы отличаются максимальным приближением источников тепла к потребителю, короткими теплотрассами, индивидуальным подводом топлива и воды, а также небольшой единичной мощностью применяемого оборудования. Примером городских децентрализованных систем являются индивидуальные котельные отдельных домов (крышные или подвальные), их элементом могут быть системы горячего водоснабжения с использованием квартирных газовых колонок.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)