

## II. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 620.9

Л. А. Варинская, А. Н. Андриенко

### Современное состояние и оценка технико-экономических перспектив теплоэнергетической отрасли Украины

*На основе сопоставления технических и экономических характеристик проектов по перевооружению теплоэнергетических мощностей анализируется опыт отечественных предприятий в решении актуальных проблем повышения эффективности работы предприятий ТЭС.*

Тепловые электростанции (ТЭС) являются одним из основных генерирующих источников тепло- и электроэнергии Украины. Проектом Стратегии развития энергетики до 2030 г. [1] предусматривается увеличение доли выработки электроэнергии (рис. 1) ТЭС.

Однако, современное состояние ТЭС Украины следует рассматривать как критическое. Оборудование, введенное в эксплуатацию в 60–70-е годы и запроектированное по нормам 50-х годов прошлого столетия, отработало ресурс, физически и морально устарело. 76 энергоблоков из 104 (или 73 %) находятся за пределом физического износа. Еще 17 энергоблоков (или 16,3 %) вплотную приближаются к предельной границе износа, а остальные 11 блоков (или 10,5 %) – к ее расчетному пределу. Кроме этого, продолжает увеличиваться количество отказов оборудования. Так количество отказов первой и второй категорий в 2003 г. возросло до 452 против 384 в 2002 г., т. е. почти на 18 % [1].

Также следует отметить, что технологическая эксплуатация оборудования ТЭС довольно часто осуществляется не на проектном топливе, а в маневренных режимах, непредусмотренных проектом, что приводит к быстрому износу оборудования и сниже-

нию технико-экономических показателей, дополнительному расходу мазута или природного газа. В настоящее время из-за старения оборудования, нехватки средств на закупку топлива и спада электропотребления, из 36 млн. кВт общей установленной мощности ТЭС практически лишь активно участвует в генерации около 19 млн. кВт, т. е. всего – около 53 %. Почти вся оставшаяся часть неиспользуемых мощностей ТЭС исчерпала свой ресурс и должна быть выведена из эксплуатации, так как ее наличие снижает экономические показатели отрасли. Планируемый к 2010 г. вывод из эксплуатации энергоблоков суммарной мощностью 18,4 млн. кВт, имеющих предельную наработку, может привести к снижению резерва мощности до «опасного» уровня. В то же время расчеты, сделанные при разработке «Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу» [1] свидетельствуют о необходимости в недалеком будущем увеличения рабочей мощности ТЭС.

Дополнительно нужно отметить, что накопление устаревшего оборудования приводит к росту издержек на ремонт. В результате затраты на многократное продление ресурса становятся сопоставимыми со сто-

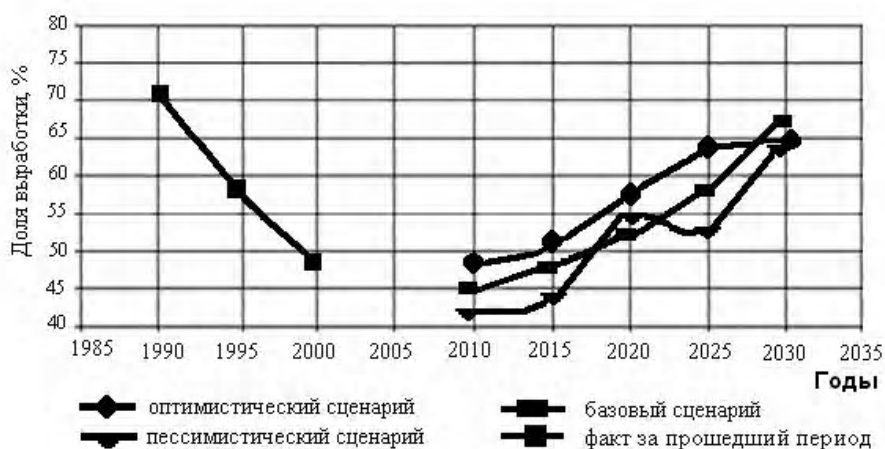


Рис. 1. Изменение доли выработки электроэнергии ТЭС Украины в 2010–2030 гг. [1]

имостью нового оборудования. Так в 2002 г. расходы на ремонт оборудования ТЭС уже составили 348 млн. грн. или 12 % от себестоимости выработанной ими электроэнергии, т. е. можно предположить, что при продолжении эксплуатации устаревшего оборудования затраты на ремонт возрастут к 2010 г. в 2,4 раза и составят не менее 785 млн. грн. в год (или около 150 млн. дол. США). В табл. 1 представлены данные Министерства топлива и энергетики по программе реконструкции ТЭС Украины [2].

Таблица 1. Основные показатели программы реконструкции ТЭС Украины до 2010 года

	2003–2005 гг.	2006–2010 гг.
Годовой отпуск электроэнергии, млрд. кВт ч	77,8	82,7
Годовые расходы, млн. т условного топлива (у. т.)	32,0	32,7
Удельные расходы, г у. т./кВт ч в том числе:	363,1	347,0
уголь, млн. т у. т.	23,2	24,6
%	70,8	72,2
газ, млн. т у. т.	8,4	7,8
%	27,6	26,1
мазут, тыс. т у. т.	350	350
%	1,6	1,7
Годовые капитальные вложения, \$млн.	500	1335

В данной статье предлагается проанализировать отечественный опыт по перевооружению теплоэнергетической отрасли. В качестве примеров рассматриваются проекты по реабилитации энергоблока № 8 Змиевской ТЭС (Харьковская область), выполненной с привлечением средств иностранных фирм, а также – модернизация котельной «Южная» в когенерационную станцию, выполненная силами НПО «РЕНКО».

Проекты, реализованные в Польше, Чехии, Словакии, Болгарии, Латвии, Эстонии [3], демонстрируют примеры внедрения в условиях тепловых электрических станций этих стран высокопроизводительных инновационных технологий сжигания угля в атмосферном циклическом кипящем слое (ЦКС), что обеспечивается использованием специальных встроенных циклонов и теплообменников. Одним из преимуществ котлов, сконструированных под ЦКС, является их неприхотливость к качеству исходного топлива, когда допускается сжигать как высокосортный антрацит, так и другие низкосортные виды топлива с высокой зольностью и влажностью. Другое преимущество указанной технологии состоит в возможности сочетать уголь с биомассой, что благоприятствует сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Данная технология была применена на ТЭЦ «Элхо» (Польша): два энергоблока с котлами ЦКС, спроектированные на сжигание нескольких типов угля, обеспечивали эксплуатационную гибкость при работе станции. Стоимость проекта составила EURO 235 млн. с гарантией значительного экологического эффекта, так как выбросы на 1 МВт снижались: SO – на 93 %, NO – на 50 %, пыли –

на 94 %. Польской фирмой «Foster Wheeler Energia Polska» также выполнялась реконструкция энергоблоков мощностью 200 МВт для тепловой электрической станции «Нарва» (Эстония) с повышением КПД ТЭС с 30 % до 36,5 %, снижением выбросов SO, пыли, NO, CO соответственно на 95 %, 97 %, 55 % и 23 %.

Внедрение инновационной технологии с применением ЦКС для очистки дымовых газов было выполнено при реализации проекта по реконструкции котлов энергоблока № 8 Змиевской ТЭС (Харьковская область). Стоимость проекта была оценена экспертами в EURO 60,5 млн. Заемщиком средств являлась компания «Центрэнерго», в состав которой входит Змиевская тепловая электростанция. Непосредственное начало работ относится к 1999 году. Кредит не предполагал правительственных гарантий. Главными инвесторами выступали пул немецких банков и правительство Германии, а реализовала проект группа немецких компаний во главе с концерном Siemens. Задачи, поставленные проектом, были масштабные – усовершенствовать процесс сжигания угля до полного отказа от использования газа для так называемой «подсветки». Планировалось также довести уровень вредных выбросов до европейских стандартов. С этой целью меняли электрофильтры. Официально все работы были завершены летом 2002 года, но по техническим причинам, не зависящим от украинской стороны, первую электроэнергию блок дал только в конце 2003. В связи с этим инцидентом немецкая страховая компания, сопровождавшая проект, должна была сделать компенсационную выплату в размере EURO 1 млн. По словам В. Безъязычного, начальника Харьковского областного управления топливно-энергетического комплекса: «Эти средства пойдут на ремонт вышедшего из строя оборудования» [4].

Оценка первого масштабного проекта реконструкции ТЭС с участием иностранных фирм была неоднозначной. Так, директор Института проблем машиностроения академик НАНУ Ю.М. Мацевитый отмечал: «Конечно, без денег ничего не делается и их нужно привлекать. Но сейчас можно сказать точно, что их не нужно привлекать так, как это было сделано при реконструкции 8-го блока Змиевской ТЭС. То есть, когда привлекли инвестиции корпорации “Сименс”, которая потом 80 % инвестированных средств забрала для загрузки своих предприятий. Мы заинтересованы загрузить свои заводы, которые испытывают недостаток заказов, на которых рабочие получают нищенскую зарплату... если бы заказы по реконструкции 8-го блока были размещены на наших предприятиях, можно было на эти средства модернизировать несколько блоков. А ведь теперь нужно еще и кредиты возвращать. Кроме того, каждая запасная часть при ремонте будет “золотой”» [5].

Подводя итоги работы за 2003 год, заместитель Министра топлива и энергетики Украины высказывался по этому поводу следующим образом: «К сожалению, внедрение первых проектов (по перевооружению) проходит с большим напряжением. Получен не только положительный, но и негативный опыт. И нужно, чтобы этот опыт был обобщен и изучен всеми энергокомпаниями и электростанциями. Первое, что

следует отметить, – это длительный срок подготовки и реализации проекта. За период с момента подготовки ТЭО проходит столько времени, что за этот период появляются новые, более совершенные технические решения. Проект устаревает, не успев родиться. А ведь можно работать иначе. Второе – имеет место недостаточно внимательное отношение к выдаче исходных данных проектантам, что приводит к неправильным техническим решениям и дискредитации самой идеи проекта. И самое негативное – почти полное отстранение специалистов Украины от участия в проектировании, изготовлении, наладке оборудования, поставляемого зарубежными фирмами. Покупая оборудование у иностранных фирм, надо думать и том, как организовать дальнейшее его производство и техническое обслуживание в Украине. Все это следует учитывать при реализации других проектов» [2].

При реконструкции 8-го энергоблока Змиевской ТЭС было достигнуто:

- а) мощность 8-го энергоблока после модернизации увеличилась на 50 МВт;
- б) внедрение ступенчатых вихревых горелок фирмы «Штайнмюллер» для стабильного загорания и полного сжигание топлива;
- в) коэффициент осаждения частичек стал 99,67 % (благодаря установке электрофильтров);
- г) повышение КПД топки – до 97,5 %, а котла в целом – до 86,4 %, достигнутые за счет использования эффективной системы возврата на дожигание уловленной в электрофильтрах золы (около 80 %), обеспечивающие снижение недопада в летающей золе до 15 %;
- д) повышение коэффициента полезного действия турбоагрегата, что позволило достичь активной мощности 325 МВт. [6].

Другой пример модернизации теплоэнергетичес-

кой отрасли связан с деятельностью производственной компании «Рассвет». Кризисная ситуация, которая сложилась в украинской энергетике в 90-ые годы прошлого века, поставила перед компанией задачу поиска оптимальных форм для консолидации науки, производства и финансовых ресурсов с целью создания современной и эффективной бизнес-структуры. Первый проект компании относится к концу 2001 года и связан с модернизацией старой котельной в когенерационную станцию [7]. Для модернизации котельной «Южная» была выбрана гибридная тепловая схема (рис. 2), сочетающая в себе элементы утилизации тепла выхлопных газов ГТД (газотурбинного двигателя) не только в котле утилизатора, но и в штатных водогрейных котлах. Эта схема позволила сохранить расход топлива на установку на уровне расхода топлива на котельную до модернизации. Выхлопные газы газотурбинного генератора мощностью 2,5 МВт согласно данной схемы направляются в пассивный котел-утилизатор, обеспечивая тепловую мощность 5,38 МВт, и далее поступают в три водогрейных котла, где используются в качестве окислителя при сжигании природного газа. Контактные теплообменники (скрубберы), расположенные за котлами, обеспечивают глубокую утилизацию дымовых газов, и этим самым позволяют на 13–15% сэкономить расход топлива, снижая расход условного топлива на 1 кВт час электрической энергии до 140–150 г (при сохранении среднего уровня расхода условного топлива на выработку тепла в пределах 135 г/кВтч). Стоимость демонстрационной установки в момент ее запуска оценивалась в 1 млн. дол. США, а срок окупаемости – в 2,8 года за счет более низкой, чем тариф у Запорожоблэнерго, стоимости 1 кВт часа отпущенной электрической энергии (соответственно 8 коп. против 12).

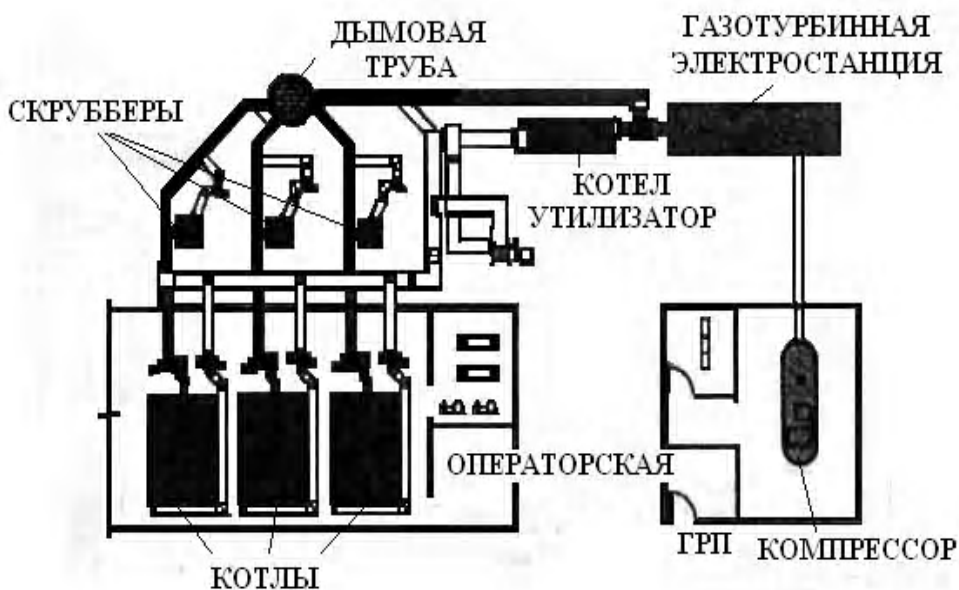


Рис. 2. Принципиальная схема когенерационной установки на котельной «Южная»

По авторитетным заявлениям специалистов, основной принцип когенерации не был чем-то новым, а в соответствии с концепцией компании состоял в наращивании и более эффективном использовании уже существующего оборудования. При когенерационной модернизации возможно сократить капитальные затраты в 2–2,5 раза за счет отказа от строительства новых теплогенерирующих предприятий в пользу реконструкции имеющегося в наличии оборудования и его приспособления к новым технологическим условиям эксплуатации. Подсчеты относительно экономических преимуществ осуществленной модернизации котельной «Южная» в когенерационную станцию показали, что только (благодаря сокращению потребления газа

на 30–40 %) городской бюджет мог экономить более 2 млн. грн. в год.

Анализ технико-экономических показателей когенерационной установки на базе ГТУ-2500 (прототип «станции «Южная») подтверждает преимущества данной технологии. А именно: в зависимости от режима работы когенерационной установки величина удельного расхода условного топлива на выработку электрической энергии (от 138 до 190 г/кВтч согласно табл. 2) практически в 2 раза меньше аналогичных показателей, приводимых по Министерству (табл. 1). Однако, со снижением тепловой нагрузки (для режима утилизации теплоты выхлопных газов ГТУ с тепловой нагрузкой 5,1 МВт) показатели работы станции несколь-



Рис. 3. Структуры себестоимости 1 кВтч по режимам: 1 – для 40,7 МВт, режим 2 – для 32 МВт, режим 3 – для 5,1 МВт мощности тепловой нагрузки

Таблица 2. Техничко-экономические показатели когенерационной установки на базе ГТУ-2500 с водогрейными котлами

№ п/п	Наименование показателя	Размерность	Режимы		
			40,0	32,0	5,1
1	Тепловая нагрузка	МВт	40,0	32,0	5,1
2	Удельный расход условного топлива на выработку тепла	г/кВтч	135	135	135
3	Электрическая нагрузка	МВт	2,5	2,5	2,5
4	Суммарный отпуск энергии когенерационной установки	МВт	43,2	34,5	7,6
5	Коэффициент использования тепла		0,91	0,915	0,803
6	Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии	г/кВтч	138	122	190
7	Режим работы станции в году	час	8000		
8	Годовой отпуск электроэнергии	МВтч	20000		
9	Капитальные затраты на строительство установки	\$млн.	1,84		
10	Годовые эксплуатационные затраты	\$тыс.	287	270,2	341,8
11	Себестоимость отпускаемой энергии	Цент/кВтч	1,43	1,35	1,7
12	Срок окупаемости	год	4,2	4,09	4,86

ко ухудшаются. Снижение эффективности работы когенерационной установки вызывает повышение расхода топлива (газа), что находит отражение в изменении структуры себестоимости 1 кВтч электрической энергии. На рис. 3 показаны структуры себестоимости 1 кВтч по соответствующим режимам: режим 1 – для 40,7 МВт, режим 2 – для 32 МВт, режим 3 – для 5,1 МВт тепловой нагрузки.

По итогам конкурса «Лидер топливно-энергетического комплекса Украины – 2005» компания «РЕНКО» стала лауреатом в номинации «Инвестиционный проект года» [8]. В соответствии с данным проектом планируется создание широкой сети когенерационных станций для комбинированного производства тепловой и электрической энергии на базе существующих крупных объектов промышленной теплоэнергетики и централизованного коммунального теплоснабжения, для которых природный газ является безальтернативным топливом. Исходя из концепции программы, за 10 лет будет создано 5 тыс. МВт когенерационных мощностей, работающих как единая, но распределенная территориально станция с централизованным управлением из диспетчерского пункта. Таким образом, с одной стороны, энергетика Украины получит новые, высокоэффективные маневренные электрогенерирующие мощности вместо выводимых из эксплуатации блоков устаревших тепловых электростанций и котельных. С другой стороны, регионы будут обеспечены бесперебойными источниками недорогого тепла и электроэнергии. Широкое внедрение когенерационных технологий позволит [8]:

- применить установки глубокой утилизации теплоты уходящих газов котлоагрегатов, что даст экономию 10–12 % для природного газа;

- использовать потенциал вторичных ресурсов (утилизация твердых бытовых отходов, иловых отложений водоканалов, генераторного газа и т. д.), что снизит потребление природного газа еще на 5 %.

Кроме того, в процессе модернизации объектов коммунального хозяйства и промышленной теплоэнергетики будут внедряться новые эффективные горелки (дадут дополнительно около 2–3 % экономии), предизолированные трубы для теплосетей (обеспечат до 20 % экономии), приборы учета и контроля энергии (принесут 15 % экономии). В итоге общий энергосберегающий эффект (для 5 тыс. МВт когенерационных мощностей) при реализации программы составит: экономию 20 млн. т угля и 3–4 млрд. куб. м. природного газа в год, что (с учетом современных цен на топливо) равноценно годовой экономии 13,5 млрд. грн.

Выполнение проекта предполагается выполнить силами НПО «РЕНКО», а финансирование проекта (общей стоимостью в 14187,1 млн. грн.) осуществить за счет:

- акционерного капитала – 7093,6 млн. грн.;

- банковских кредитов – 4256,1 млн. грн.;

- продажи квот согласно Киотскому протоколу – 2837,4 млн. грн.

Для защиты окружающей среды предприятиями, входящими в состав НПО «РЕНКО» (в частности, «Южцветметгазоочистка»), выполняются работы по модернизации фильтров, что также является приоритет-

ным направлением деятельности компании. Например, на Запорожской ТЭС была выполнена модернизация электрофильтров, что позволило снизить выбросы золы в атмосферу с 1,5–3,0 г/м<sup>3</sup> до 0,05–0,3 г/м<sup>3</sup>. Аналогичные работы компания осуществила на энергоблоке № 8 Буштырской ТЭС и на Докучаевском флюсоудолomitном комбинате.

В настоящее время вопросы, стоящие на повестке дня компании «РЕНКО», имеют отношение к комплексной программе превращения Запорожского региона в зону высокой энергетической эффективности. В соответствии с этой программой предполагается внедрение в коммунальную теплоэнергетику города энергосберегающих (когенерационных) технологий, использование потенциала нетрадиционных видов топлива, сбросового потенциала промышленности и др. Однако, сложности реализации данной комплексной программы и других похожих проектов определяются несовершенством украинской законодательно-правовой базы. Отсутствие прозрачных и простых механизмов мотивации промышленных предприятий к энергосбережению, к повышению экологической защиты препятствует внедрению инноваций в энергетике. Например, предприятиям теплосетей не выгодно брать тепло отходящих газов у металлургических заводов, так как прибыль коммунальщиков напрямую зависит от общих затрат, т. е. от расхода топлива: чем больше они сожгут газа, тем значительно будут их доходы. Комментируя «Закон о теплоснабжении», глава технического совета «РЕНКО» П. Сабашук, подчеркнул [9]: «Что теперь, в соответствии с новым Законом, мэрия обязана выбирать по результатам тендера из нескольких производителей тепла, подключенных к одной магистрали, того, у которого тепло дешевле. Это создает реальную возможность промышленным предприятиям напрямую быть заинтересованными в отборе тепла отходящих газов и использовать его для продажи населению, но по более низким, чем у коммунальщиков, ценам». Поэтому принятие законов об энергосбережении, в которых найдет отражение экономическая выгода экономить тепло, топливо, защищать экологию как для производителей, так и для потребителей энергии, будет реально способствовать решению проблем по энергосбережению. Этого требуют новые рыночные отношения, т. к. одного общественного сознания теперь недостаточно.

## Выводы

1. Анализ существующего состояния ТЭС свидетельствует о том, что степень изношенности теплоэнергетического оборудования на ТЭС Украины составляет критическое значение: около 65 % оборудования находится за пределом физического износа, также заметно увеличивается количество отказов при работе оборудования.

2. В соответствии с «Энергетической стратегией Украины на период до 2030 года» [1] предполагается значительный рост энергопотребления, который невозможно обеспечить наличными мощностями по причине их изношенности и низких технико-экономических и экологических показателей.

3. Актуальной проблемой для теплоэнергетичес-

кой отрасли Украины является техническое перевооружение и доведение технического и технологического состояния оборудования до европейских стандартов.

4. В случае осуществления проектов по перевооружению отрасли с использованием иностранных инвестиций возникают проблемы, связанные с отстранением отечественных специалистов, перераспределением кредитов в пользу иностранных компаний и др.

5. Пример модернизации котельной в когенерационную станцию «Южная» (в г. Запорожье) продемонстрировал и подтвердил существование эффективных способов технического перевооружения энергетической отрасли «собственными» отечественными предприятиями.

6. Несовременное законодательство не способствует заинтересованности предприятий в энергосбережении и экологической защите.

#### Перечень ссылок

1. Шеберстов О. М Стан теплових електростанцій України, перспективи їх оновлення і модернізації / / Енергетика і електрифікація – 2004. № 12 [Цит. 2005, 10 февраля] – Доступный с: [www.mpe.kmu.gov.ua/.../publish/](http://www.mpe.kmu.gov.ua/.../publish/)
2. Сыроватка С. Правительство определило модель модернизации ТЭС // Деловая столица – 3–4, 2004. – 1–26. Доступный с: <http://www.dsnews.ua/economy/art12913.html>

3. Марциняк М. В Развитие технологии ЦКС. // О конференции: «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» – 2004, 24–30 сентября, г. Алушта. Доступный с: [http://www.triacon.org/Events/Coal2004/index\\_ru.htm](http://www.triacon.org/Events/Coal2004/index_ru.htm)
4. Торжественное открытие реконструированного энергоблока Змиевской ТЭС сорвалось // Электроэнергия – 2002. № 12 [Цит. 2002, 21 декабря] – Доступный с: [info@deco.com.ua](mailto:info@deco.com.ua)
5. Грищенко А. Никакой наркобизнес не дает такой прибыли, сколько дает грамотное использование научных достижений // STATUS QUO – [Цит. 2004, 24 февраля] – Доступный с: [http://sq.com.ua/show\\_article/90/index.html](http://sq.com.ua/show_article/90/index.html)
6. Сябер Н. А. Реконструкция блока № 8 Змиевской ТЭС // О конференции: «Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития» – 2004, 24–30 сентября, г. Алушта. Доступный с: [http://www.triacon.org/Events/Coal2004/index\\_ru.htm](http://www.triacon.org/Events/Coal2004/index_ru.htm)
7. Журавлев А. Скачок приведет к прорыву // Новое слово – [Цит. 2001, 3 декабря] – Доступный с: [http://www.rassvet.zp.ua/press\\_ukr.html](http://www.rassvet.zp.ua/press_ukr.html)
8. 5000 Мегаватт // Содружество – 2006. – № 1 (38). – С. 10–11. – Доступный с: [http://www.rassvet.zp.ua/press\\_ukr.html](http://www.rassvet.zp.ua/press_ukr.html)
9. Громов И. Трубу – к ветку! // Миг – 2006. – № 3. – С. 8.

Поступила в редакцию 12. 01. 08 г.

После доработки 28. 05. 08 г.

*Через зіставлення технічних і економічних характеристик проектів по переозброєнню теплоенергетичних потужностей аналізується досвід вітчизняних підприємств в рішенні актуальних проблем підвищення ефективності роботи підприємств ПЕК.*

*Through a comparing the technical and economic parameters of projects connected with a reequipment of heat power capacities is suggested to study and analyze an experience of the domestic enterprises in order to decide the actual problems how to increase an efficiency in the activity of heat power enterprise of Ukraine.*

УДК 621.313.322

Л. Н. Канов

## Оценка степени несинусоидальности формы напряжения в автономной электроэнергетической системе с использованием метода имитационного моделирования

*Предложена основанная на имитационном моделировании методика численного определения коэффициента несинусоидальности напряжения синхронного генератора при импульсном возбуждении. Разработаны имитационные модели генератора со статической активно-индуктивной и асинхронной двигательной нагрузками, для которых выполнены расчеты коэффициента несинусоидальности.*

### Введение

Качество электроэнергии определяется совокупностью параметров, описывающих особенности про-

© Л. Н. Канов 2008 р.

цесса производства и передачи энергии и характеризующих напряжение в электроэнергетической системе. Привлечение внимания к качеству электроэнергии обусловлено тем, что искажение формы напря-