I АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТОПЛИВА

Постолатий В.М., Быкова Е.В.
Институт энергетики АНМ

Аннотация. Разработан методический подход к оценке удельных расходов энергии первичного топлива на выработку электрической и тепловой энергии на различных типах энергетических установок. Предложен метод приведения электрической энергии к тепловым единицам измерения. Проведен анализ изменения удельных расходов на общую выработку энергии при изменении долевого соотношения электрической и тепловой энергии в общем количестве произведенной энергии. Показаны преимущества применения парогазовых установок для комбинированного производства электрической и тепловой энергии.
Ключевые слова: удельные расходы первичной энергии топлива, конденсационные станции, газотурбинные установки, парогазовые установки.

ANALIZA EFICIENȚEI SURSELOR DE ENERGIE ELECTRICE ŞI TERMICE CU LUAREA ÎN CONSIDERAȚIE DE CONSUMUL SPECIFIC DE COMBUSTIBIL

Vitalie Postolati, Elena Bîcova
Institutul de Energetică al AŞM

Rezumat. Este elaborată o abordare metodică a evaluării consumului specific de energie a combustibilului primar pentru elaborarea energiei electrice şi termice pentru diferite tipuri de centrale electrice. Este propusă o metodă de reducere a energiei electrice la unitățile de măsură termice. Este efectuată o analiză a schimbărilor costurilor specifice pentru producerea totală a energiei la modificarea raportului energiei electrice şi termice în valoarea totală a energiei produse. Sunt arătate avantajele utilizării ale plantelor electrice cu ciclu combinat pentru producerea combinată a energiei electrice şi termice.
Cuvinte-cheie: consumul specific de energie primară, turbine cu gaz cu condensare, ciclu combinat.

ANALISYS OF THE EFFICENCY OF THE SOURCES OF ELECTRIC AND THERMAL ENERGY IN VIEW OF SPECIFIC FUEL CONSUMPTION

Vitaly Postolaty, Elena Bicova
Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract. Methodological approach to the evaluation of specific energy consumption of the primary fuel for electricity and heat for the various types of power plants is designed. Method of reduction electrical energy to a thermal unit is offered. Analysis of changes specific energy consumption for different shares of electric and heat energy in the total production of energy is held. Advantages of combined cycle power plants are shown.
Keywords: specific consumption of primary energy, condensing power plants, gas turbines, combined-cycle plants.

Введение

В качестве возможных вариантов источников электрической и тепловой энергии могут быть приняты к рассмотрению:

-тепловые электростанции (ТЭС), на которых вырабатывается только электроэнергия с использованием паросилового цикла и конденсационного режима турбин;

-тепловые электроцентрали (ТЭЦ) для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии с использованием паросилового цикла с теплофикационными отборами тепла;

- газотурбинные установки (ГТУ) для выработки электрической энергии с утилизацией тепловых выбросов;

- парогазовые установки (ПГУ) для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, включающие в свой состав газотурбинные установки (ГТУ), а также паровые турбины при их работе в конденсационном режиме и с промежуточными отборами пара для теплоснабжения;

-обычные водогрейные котельные для выработки только тепловой энергии.

Технико-экономический эффект, который может быть получен за счет применения комбинированной выработки электрической и тепловой энергии [1], возможно оценить только при вполне определенных конкретных расчетных условиях и соотношениях потребностей в электрической и тепловой энергии для потребителей. Именно в разности величин к.п.д. котельных [2], где вырабатывается только тепловая энергия при высоком к.п.д. (до 80-90 %), и к.п.д. ТЭС, где производится только электрическая энергия при значениях к.п.д. до (33-35) %, заключается резерв по повышению эффективности использования газообразного топлива при необходимости выработки электрической и тепловой энергии. Обоснование целесообразности выбора того или иного типа источника может быть выполнено на основании расчета суммарного к.п.д., который может быть достигнут при заданном соотношении потребной электрической и тепловой энергии.

Целью настоящей работы является сопоставление значений удельных расходов на производство электрической и тепловой энергии на различных установках в зависимости от долевого соотношения вырабатываемой ими электрической и тепловой энергии.

Постановка задачи

Выбор типа системы энергоснабжения (электро- и теплоснабжения) следует делать на основе анализа баланса потребностей энергии и их видов в общем потреблении. Так как потребителям нужна и тепловая и электрическая энергия, то надо искать способы рационального получения той и другой энергии, учитывая затраты на ее производство и фактические значения к.п.д. Затраты на выработку должны включать текущие, эксплуатационные затраты, стоимость топлива и др., а также капитальные вложения, приведенные к одинаковым временным расчетным условиям. Стоимость топлива должна включать транспортные расходы и его фактическую калорийность (теплоту сгорания).

Анализ составляющих затрат при производстве энергии

На этапе предварительного технико-экономического обоснования строительства тепловых электростанций малой мощности можно ограничиться учетом следующих составляющих:

- топливной составляющей (стоимости топлива и его калорийности);
- капитальных затрат, приведенных к одному году;
- транспортных затрат (наличие железных дорог, газопроводов и др.);
- соотношений к.п.д. установок;
- другие затраты, если они специфичны для выбранного цикла (например, затраты на ремонт, если они существенно отличаются от затрат на ремонт других типов установок, учет долговечности и технического ресурса основного оборудования и др.).

Дальнейший методический подход основан на принятии условия необходимости удовлетворения запросов потребителей, как в электрической, так и тепловой энергии. Принимается условие, что закупается определенное количество топлива (энергоносителя) для выработки электрической и тепловой энергии. Рассматривается энергоноситель – природный газ. Все дальнейшие рассуждения ведутся применительно к газу.

Энергия, извлекаемая при сжигании газа, является главной расчетной величиной. Первичной является тепловая энергия

$$Q = C_т \cdot V,$$

где $C_т$ – теплота сгорания газа (ккал/м^3), для разных газов она имеет различные значения ;

V – объем сжигаемого газа (м^3).

Для усредненных расчетов теплота сгорания природного газа в дальнейшем принята равной величине низшей теплоты сгорания метана, составляющей 8555 ккал/м^3. С учетом того, что удельный вес метана равен 0,78 кг/м^3 (1 кг газа соответствует 1/0,78=1,282 м^3 газа), теплота сгорания 1 кг газа будет равна 10 968 ккал/кг.

В большинстве случаев электроэнергия вырабатывается на электростанциях конденсационного типа. Например, в Молдавской энергосистеме наиболее крупным производителем электрической энергии является Молдавская ГРЭС, работающая в конденсационном режиме.

Потребители покупают электроэнергию по тарифам, составленным с учетом себестоимости производства электроэнергии, которая в свою очередь в основном определяется величиной топливной составляющей (Тээ). Топливная составляющая достигает величины 80 % от себестоимости производства электроэнергии. Часть потребителей, расположенных в крупных городах, в которых имеются теплоэлектростанции (ТЭЦ) (например, в Кишиневе и Бельцах), получают тепловую энергию от данных ТЭЦ, работающих по теплофикационному циклу (с промежуточными отборами пара для подогрева сетевой воды системы централизованного отопления и горячего водоснабжения).

При комбинированной выработке электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, при сложившихся пропорциях производства электрической и тепловой энергии (при приведении их к одному виду энергии), суммарно достигается снижение себестоимости около 15-20 % по сравнению с раздельным производством тех же количеств электрической энергии на конденсационных станциях и тепловой энергии на водогрейных котельных.

Теплофикационные циклы имеют, несомненно, преимущество перед конденсационными. Однако большинство потребителей тепловой энергии получают ее от обычных котельных с водогрейными или паровыми котлами при использовании на них в качестве топлива природного газа, являющегося высококалорийным топливом, температура сгорания которого достигает более 1000°С. К.п.д. водогрейных и паровых котлов достаточно высок. Его величина может достигать 0,8-0,9. Если предположить, что потребитель нуждается только в тепловой энергии, то, очевидно, что для него следует предусматривать котельные с водогрейными или паровыми котлами.

Другой крайний случай может иметь место, если потребитель не нуждается в тепловой энергии, а нуждается только в электрической энергии. Тогда для ее выработки необходимы соответствующие технологические циклы и энергетическое оборудование, которое обеспечит выработку только электроэнергии. Для выработки электрической энергии могут использоваться конденсационные паросиловые установки, или газотурбинные, или парогазотурбинные. Парогазотурбинные установки (ПГУ) являются наиболее экономичными. Чисто газотурбинные установки могут иметь к.п.д. на уровне 24-36%, паросиловые, как уже отмечалось, на уровне 33-35%. При применении парогазотурбинных циклов выработки электрической энергии к.п.д. могут достигать значений 47-53%, а при утилизации тепловых выбросов- и более высоких значений(более 60%).

В ПГУ, как известно, продукты сгорания газа из газовой турбины при температуре 420-550°С направляются в котлы-утилизаторы, где они отдают свое тепло на парообразование в паросиловом цикле. В котлах-утилизаторах может быть предусмотрено дополнительное сжигание топлива для обеспечения необходимых параметров пара по условиям работы паровой турбины, осуществляющей в паросиловом цикле производство дополнительной электроэнергии, а, при промежуточных отборах пара, и тепловой энергии для систем теплоснабжения.

Ниже проведен количественный анализ зависимости удельных расходов энергии первичного топлива электростанций различных типов при изменении соотношений вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

Предположим, что электротеплоэнергетической установкой произведена электрическая энергия (Эээ), приведенная к тепловым единицам измерения, и тепловая энергия (Э тэ). Их сумма составляет:

$$Э_{\Sigma}=Э_{ээ}+Э_{тэ} \qquad (1)$$

Введем обозначения:

$$D_{ээ}= Э_{ээ}/ Э_{\Sigma}$$
$$D_{тэ}= Э_{тэ}/ Э_{\Sigma}\ , \qquad (2)$$

где $D_{ээ}$- доля электрической энергии в общем объеме выработанной энергии;

$D_{тэ}$ -доля тепловой энергии в общем объеме выработанной энергии;

Очевидно, что

$$D_{ээ}+ D_{тэ}=1 \qquad (3)$$

Из выражений (2) следует:

$$Э_{ээ} = Э_{\Sigma} * D_{ээ} \qquad (4)$$
$$Э_{тэ} = Э_{\Sigma} *D_{тэ} \qquad (5)$$

На производство общего объема энергии затрачено топливо, общее количество которого, выраженное в тепловых единицах, определяется соответствующей суммой:

$$Q_{т}=Q_{т\ ээ}+Q_{т\ тэ}, \qquad (6)$$

где $Q_{т\ ээ}$- количество тепловой энергии топлива, затраченное на производство электрической энергии;

$Q_{т\ тэ}$- количество тепловой энергии топлива, затраченное на производство тепловой энергии.

Различные энергетические установки характеризуются своими удельными расходами топлива (первичной энергии топлива) на выработку электрической ($q_{ээ}$) и тепловой энергии ($q_{тэ}$) .

Удельный расход топлива на выработку единицы энергии служит основой для определения к.п.д. энергоустановки, который, по существу, является отношением величины полезно используемой части энергии топлива на выработку единицы энергии к общей при этом затраченной.

Установим связь между к.п.д. и удельными расходами топлива на выработку энергии. В качестве топлива принимаем (кг.у.т.) с теплотворной способностью 7000 ккал/кг.

При различных значениях к.п.д. энергоустановок в полезную энергию ($Э_{пол}$) из 1 кг.у.т. превращаются следующие величины энергии:

При к.п.д.=0,8 (котельные) – $Э_{пол}$ = 7000·0,8=5600 ккал;

При к.п.д.=0,35 (ТЭС) – $Э_{пол}$ = 2450 ккал;

При к.п.д.=0,36 (ГТУ) – $Э_{пол}$ = 2520 ккал;
При к.п.д.=0,6 (ПГУ) – $Э_{пол}$ = 4200 ккал.

Выражение (6) с учетом различных к.п.д. электроэнергетических установок по производству электрической и тепловой энергии можно записать в следующем виде:

$$Q_т = (Э\ т\ ээ / N\ ээ) + (Э\ т\ тэ / N\ тэ), \qquad (7)$$

Где Э т ээ- произведенная электрическая энергия, приведенная к тепловым единицам измерения;

Э т тэ- произведенная тепловая энергия;

N ээ- к.п.д. энергетической установки при выработке электрической энергии;

N тэ-к.п.д. энергетической установки при выработке тепловой энергии;

Выражение (7) с учетом (4-5) примет следующий вид:

$$Q_т = Э_{\Sigma} *((D\ ээ / N\ ээ) + (D\ тэ / N\ ээ)) \qquad (8)$$

Из выражения (8) можно получить выражение среднего удельного расхода энергии первичного топлива (q ср), затрачиваемого на выработку единицы приведенной энергии:

$$q\ ср = (Q_т / Э_{\Sigma}) = (D\ ээ / N\ ээ) + (D\ тэ / N\ ээ) \qquad (9)$$

Как видно из полученного выражения, средняя величина энергии первичного топлива, затрачиваемого на выработку приведенной к единым единицам измерения энергии, зависит от электрического и теплового к.п.д. энергоустановки и долевого соотношения вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

Физический смысл выражения (9) становится ясным, если принять крайние случаи: 1-ый при $D_{ээ}$=0, или 2-ой при $D_{тэ}$=0. При $D_{ээ}$=0 осуществляется выработка только тепловой энергии при к.п.д. $N_{тэ.}$ В этом случае $q_{ср}$ есть не что иное как удельный расход топлива на выработку тепловой энергии при к.п.д. теплового цикла $N_{тэ}$. При $D_{ээ}$=1 – осуществляется выработка только электрической энергии, и $q_{ср}$ – представляет собой удельные затраты топлива с учетом к.п.д. ($N_{ээ}$) цикла электростанции, вырабатывающей только электроэнергию.

При комбинированной выработке электрической и тепловой энергии часть тепловой энергии в термодинамическом цикле превращается в механическую, а затем в электрическую (турбина-электрогенератор), а оставшаяся часть тепловой энергии отдается внешнему потребителю для теплоснабжения.

Количество тепла, полезно превращаемое в электрическую энергию, зависит от типа электроустановки и ее к.п.д. Для обычных ГТУ величина к.п.д. не превышает 36 %, для паротурбинных установок – не более 35 %; для парогазотурбинных установок – до 60 % и более.

Выражение (9), в зависимости от величины к.п.д. $N_{ээ}$ и $N_{тэ}$, характеризует величину удельного расхода топлива на единицу приведенной тепловой энергии, состоящей из доли электрической энергии, приведенной к размерности тепловой энергии, и доли тепловой энергии.

Для различных исходных данных были выполнены расчеты при изменении соотношения долей вырабатываемой электрической и тепловой энергии ($D_{ээ}$/ $D_{тэ}$). В расчетах также принято условие, что $D_{ээ}$+$D_{тэ}$=1. Если задается $D_{ээ}$, то $D_{тэ}$=1- $D_{ээ}$; а если задается $T_{тэ}$, то $D_{ээ}$=1-$D_{тэ}$.

Полученные результаты расчетов позволили построить соответствующий график. На рис. 1 показаны зависимости среднего удельного расхода первичной

энергии топлива на выработку единицы приведенной энергии для принятых исходных данных:

1) электрического к.п.д. паросилового цикла $N_{ээ}$=0,33 и к.п.д. теплового цикла $N_{тэ}$=0,9;

2) электрического к.п.д. ПГУ $N_{ээ}$=0,6 и к.п.д. теплового цикла на котельных $N_{тэ}$=0,9;

Как следует из приведенных зависимостей, при увеличении доли вырабатываемой электрической энергии по отношению к тепловой, величина удельного расхода топлива возрастает. Из приведенных зависимостей видно, что минимальные удельные расходы топлива на выработку единицы приведенной энергии обеспечиваются на установках типа ПГУ

Это свидетельствует о том, что, при прочих равных условиях, если необходимо обеспечить потребителей одновременно электрической и тепловой энергией, целесообразно применение установок комбинированной выработки электрической и тепловой энергии- парогазовых установок (ПГУ), а также теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) с использованием теплофикационного цикла.

Рис.1. Зависимость среднего удельного расхода первичной тепловой энергии топлива на выработку единицы суммарной энергии: электрической на ТЭС при к.п.д.=0.3 и ПГУ с к.п.д.=0,6, приведенной к тепловым единицам измерения, и тепловой энергии на котельных при к.п.д. =0.9 от их доли (Dээ- электрической и Dтэ- тепловой) в общей энергии, о.е.

Выводы

1.Приведенные результаты являются иллюстрационными. Они показывают общую качественную картину. Их полезность состоит в том, что они наглядно показывают, какой установке или какому технологическому режиму следует отдать предпочтение в зависимости от того, в каком соотношении потребителям требуется электрическая и тепловая энергия. Сопоставление различных циклов показывает, что наиболее экономичным является применение парогазовых установок, работающих в

теплофикационном режиме. Однако и для ПГУ имеют место безвозвратные потери тепловой энергии. Для дальнейшего повышения к.п.д. необходимо обеспечивать увеличение отвода тепла в термодинамическом цикле и осуществлять более глубокий отбор тепла от уходящих продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу.

2.Выполненная работа и полученные результаты могут послужить основой для дальнейших практических работ по обоснованию проектирования и строительства на территории Республики Молдова высокоэффективных теплоэлектростанций, работающих на природном газе и обеспечивающих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии с высоким суммарным к.п.д.

Литература

1. Л.А. Мелентьев. Научные основы теплофикации и электроснабжения городов и промышленных предприятий. Избранные труды. Москва, «Наука», 1993 г., 364 с.
2. К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий. Справочник по котельным установкам малой производительности. Под ред. проф. К.Ф. Роддатиса. Энергоатомиздат. Москва, 1989 г., 487 с.

Постолатий В.М., гл.н.с., академик АН Молдовы, д.т.н. Область научных интересов: энергетические системы, управляемые линии электропередач переменного тока повышенной пропускной способности, проблемы передачи энергии, режимы энергетических систем, переходные электромеханические процессы, электрические станции, теплоэнергетика, экономика энергетики, вопросы управления энергетическим комплексом.

Быкова Е.В., вед. н.с., к.т.н. Профессиональные интересы находятся в области исследования и анализа общих проблем энергетики, методологии расчета и мониторинга индикаторов энергетической безопасности страны (региона); в области применения современных технологий производства электрической и тепловой энергии и окружающей среды.

MULTILEVEL CONVERTERS FOR MICROWELDING BASED ON M-ARY SYSTEM

V. Zhuikov, V. Spivak, T. Tereshchenko, J. Yamnenko, V. Bezhenar, M.Tirsu

Abstract. Multilevel converter constructing and functioning principles are given. Two different approaches to increase efficiency are described. Both decisions are compared with typical applications, so advantages and drawbacks are specified.
Keywords: multilevel converter, microwelding.

CONVERTIZOARELE CU MULTE TREPTE BAZATE PE STRUCTURA MATRICIALĂ

V. Juicov, V. Spivac, T. Terescenko, J. Iamnenko, V. Bejenar, M.Tîrşu

Rezumat. Sunt prezentate principiile de construire şi de funcționare ale convertizoarelor cu multe trepte. Două abordări de majorare a eficienței de funcționarea lor sunt descrise. Neajunsurile şi avantajele pentru diferite aplicații ale convertizoarelor sunt descrice.
Cuvinte-cheie: convertizor cu multe trepte, microsudare.

МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

В. Жуйков, В. Спивак, Т. Терещенко, Е. Ямненко, В. Беженар, М. Тыршу

Аннотация. Представлены принципы проектирования и функционирования многоуровневых матричных конверторов. Рассмотрены два подхода повышения их эффективности.

Ключевые слова: многоступенчатый преобразователь, микросварка.

Introduction

Contact microwelding of the parts with the thickness from a few micrometers up to 0.5 millimetres is widely used in radioelectronic and instrument-making industry while producing circuit boards, integrated circuit and electronic components.

Special feature of the microwelding is high level of the heat emitted within the contact between the electrode and the part. This level is comparable with the heat level in welding contact due to relatively low own resistance of the parts and low welding effort. High quality of microwelding can be provided by forming of welding current pulses with assigned complicated waveform.

Method of welding current forming by assigned law on the base of m-ary counting system using multilevel converters and adding of output currents of each cell in common node is proposed in the paper. Such method allows remaining invariable structure of electrical circuit. Assigned waveform of welding current is defined by pulse-width modulator that allows simplifying the control system.

Proposed method of current forming for contact microwelding equipment allows significant decreasing of cells and switches quantity, increasing of energy efficiency with assigned high quality of welded joint.

Basic of m-ary System for n-stage Converters

The circuit of fig.1 shows the basic topology of one m-stage converter used for the implementation of multi-stage converters. It is based on the n-switches converter (in practice it could be less or more switches depending of principle scheme and total power), used for single phase converters or for dual converters. In general these converters are able to produce m levels of current in the load from 0 to Is with [Is(i+1)- Is(i)] current step and zero. Each current source produces Is(i) = mI0 that is the key feature of m-ary system conversion [1], so in this case current step is I0.

Developing of m-ary System Converters for Microwelding

Fig. 2 depicts base principle of organization m-ary converter with adding of output currents of each cell in common node. Output current of such converter has stepped waveform with equal level of each step. Durations of the steps are assigned by control system (CS) and define waveform of output current. When all steps durations are the same then graded approximation

of linearly increased function will be formed at the output. For microwelding output current waveform depends of materials and usually non-linear function.
As each converter has different power supplies (PS) scaled in the power of m (for example m=3) it allow to obtain maximum output current levels with minimum switching cells (SC). All the switches operates in only switching mode in contrast to schemes with linear and combined regulation [2]. Using a high frequency modulation module (HFM) allows to generate PWM control signal equal to linear regulation method.

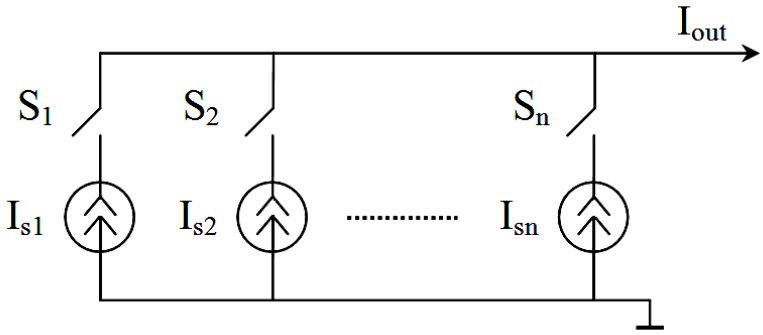
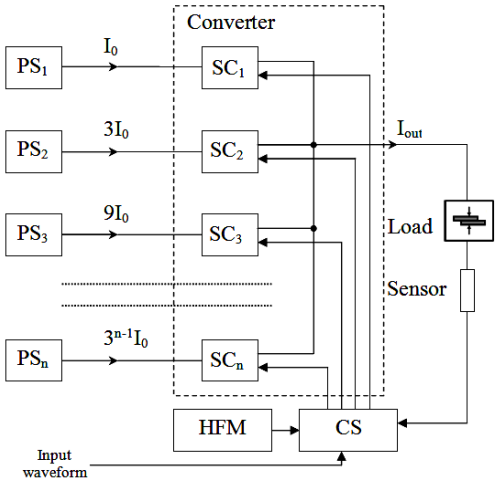
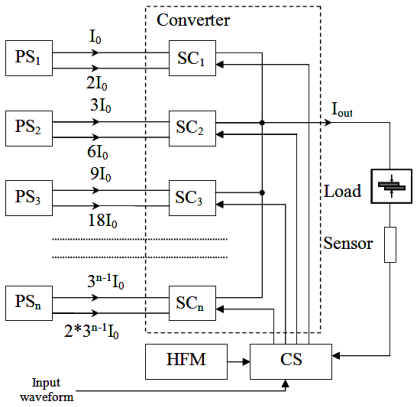


Fig. 1. *n-stage current m-ary converter*

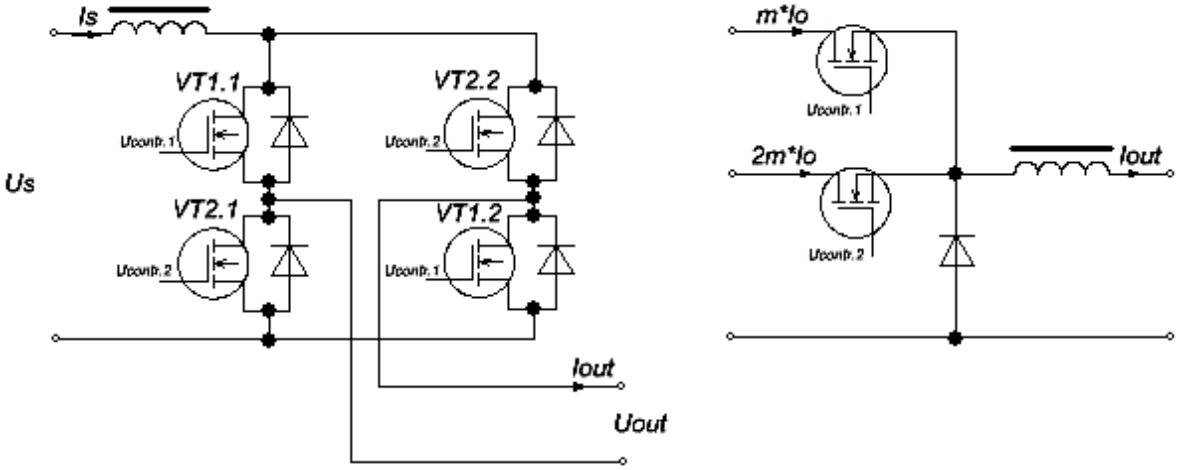


a)



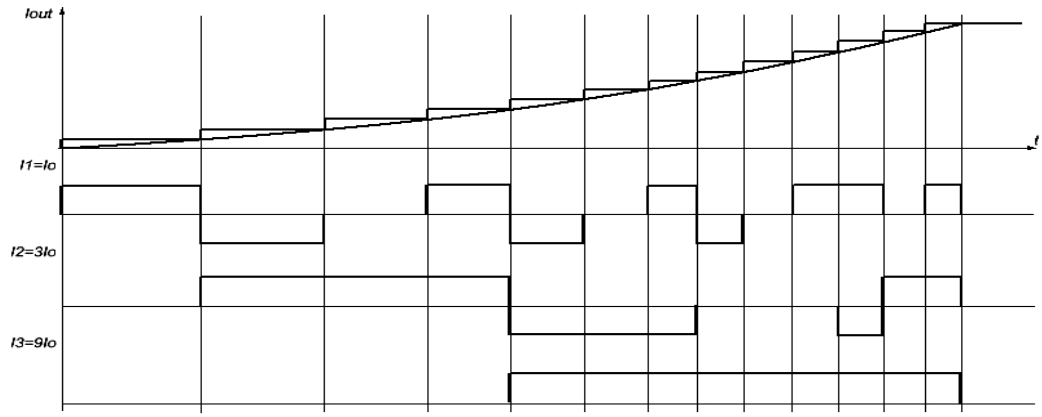
b)

Fig. 2. *Multilevel m-ary converters with single (a) and dual (b) power supply*

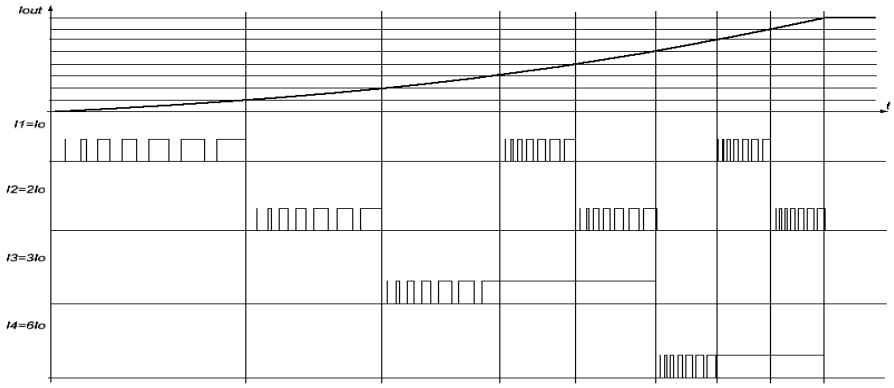


a) b)

Fig. 3. *Typical full-bridge (a) and dual current supply (b) switching cell in case of m=3*



a)



b)

Fig. 4. *Forming of the output waveforms for schemes with bridge switching cell without PWM (a) and dual current supply with PWM (b)*

The main advantage of this technique is that switches don't operate at active mode so their power dissipation is much lower. Also the proposed approach overcome drawback of maximum amount of heat that can be emitted by switch during one cycle of welding. Use of transistors in switching mode only reduces their total power, cost and dimentions of device at all. Furthermore control system don't include DAC or any analog particles and could be performed as single microcontroller.

If output current waveform is not smooth enough an additional PWM of control signals could be used. In this case the structure of the power of the circuit remains unchanged, and given waveform of the output current is determined by the pulse-width modulator, which simplifies the control system versus linear regulator.
There are output currents (fig. 4) for both schemes (fig. 2) with different types of control system and switching cells (fig. 3). Fig. 4a depicts simple approach with standard current sources and bridge converter. Four transistors calculated at full power are required that is twice than the next one. Method (fig. 4b) is better efficient and required less switching elements. Also there is no current subtraction that increase power loses. The only one disadvantage is complicated power supplies.

Conclusions

Two structure schemes for multilevel transistor converter using m-ary system have been designed. Unified structure of the cells represented for both circuit solutions. Control system has been also improved and is completely digital now. As there are no transistors operated in active mode the dimensions and mass of the device could be significantly reduced.

References

1. J. Dixon, L. Moran, Multilevel inverter, based on multistage connection of three-level converters scaled in power of three, IEEE, 2002, vol. 2, pp. 456–461.
2. Y.E. Paerand, The former of special form current pulses for micro resistance welding, Compatibility and Power Electronics (CPE '09). – Badajoz, Spain. – 2009. – PP. 396-401.

About authors

V. Zhuikov *- Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.*

V. Spivak *- Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.*

T. Tereshchenko *- Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.*

e-mail tta@i.com.ua

J. Yamnenko *- Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.*

V. Bezhenar *- Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.*

**Este recomandată de colegiul de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Internaționale „Energetica Moldovei-2012" Aspecte regionale de dezvoltare. Ediția a II-a.*

EVALUAREA ŞI PROGNOZA INDICATORILOR FIABILITĂȚII REȚELELOR ELECTRICE

Popescu V.S.
Universitatea Agrară de Stat din Moldova
vspopescu @mail.ru

Rezumat. La etapa actuală în rețelele electrice au loc un număr mare de refuzuri, care afectează procesul de alimentare cu energie electrică a consumatorilor. Asigurarea fiabilității rețelelor electrice de diferite niveluri de tensiuni constituie o problemă multifactorială şi depinde în mare măsură de influența diferitor factori. Determinarea comportamentului factorilor de influență, atât determinați şi nedeterminați, asupra procesului de distribuție a energiei electrice permite elaborarea mecanismului de prognoză şi asigurare a nivelului de fiabilitate a rețelelor electrice de diferite niveluri de tensiuni.
Cuvinte-cheie: fiabilitatea de funcționare; indicatori de fiabilitate; factori aleatori; prognoza refuzurilor din rețelele electrice.

ANALYSIS OF INDICATORS OF RELIABILITY OF ELECTRICAL NETWORKS

Popescu *V.S.*
Agrarian University of Moldova, vspopescu@mail.ru

Abstract. Problems of the optimization reliability in electrical networks of the different class of voltage have probabilistic nature, they discretely change and depend on the number of factors both definite and indefinite and have importance by selection of electric equipment, graph of development of electrical networks and voltage levels. The definition of the major factors, which have determining significance on their value and speed of their change allow to elaborate methods of their optimization and to elaborate effective methods of their growth limitation in electrical networks with the different class of voltage.
Keywords: functioning reliability; reliability indicators; the random factors; analysis of refusals in electrical networks.

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Попеску В.С.
(Государственный Аграрный Университет Молдовы)
vspopescu@mail.ru

Аннотация. На современном этапе развития сетей из-за большого числа непредвиденных отказов составных элементов недоотпуск электрической энергии потребителям является весьма значительным. Уровень надежности питающих сетей определяется графом электрических сетей и состоянием составных элементов, которые зависят от влияния различных вероятностных факторов. В статьи представлен метод анализа и прогноза показателей надежность электрических и питающих сетей с различными уровнями напряжения.
Ключевые слова: надежность электрических сетей; показатели надежности; вероятные факторы; анализ и прогноз отказов электрических сетей.

Introducere

În rețelele electrice republicane de diferite niveluri de tensiuni au loc un număr semnificativ de refuzuri, care afectează fiabilitatea alimentării cu energie electrică a tuturor consumatorilor. Stabilirea factorilor de cauză a acestor întreruperi şi estimarea nivelului de influență a lor asupra fiabilității echipamentelor instalate în rețelele electrice, permite elaborarea mecanismului de asigurare a continuități alimentării consumatorilor cu energie electrică.

Cauzele apariției refuzurilor şi impactul lor asupra fiabilității rețelelor electrice nu sunt studiate în prezent la nivelul stipulat de documentele în vigoare privind indicatorii de fiabilitate [2,5]. Asigurarea continuității alimentării cu energie electrică calitativă a consumatorilor poate fi realizată numai în bază de cunoaştere profundă a fenomenelor ce

însoțesc acest proces, ceea ce permite o planificare justificată, din punct de vedere tehnic şi economic, a măsurilor şi activităților serviciilor de exploatare a rețelelor electrice, în vederea asigurării indicatorilor normați de fiabilitate [1,3,6].

Prezenta lucrare are ca scop determinarea şi prognoza factorilor de influență asupra fiabilității rețelelor electrice, având drept obiective elaborarea criteriilor de procesare a datelor experimentale cu privire la refuzurile în funcționare a rețelelor respective şi determinarea mecanismului de asigurare a continuității alimentării cu energie calitativă a consumatorilor.

Dezvăluirea problemei

Investigațiile cu privire la fiabilitatea şi calitatea funcționării rețelelor electrice au fost efectuate în baza rețelelor electrice cu diferite niveluri de tensiuni din Republica Moldova, caracteristicile cărora sunt prezentate în tabelul 1. Întru aprecierea comportamentului factorilor de influență asupra procesului de alimentare cu energie electrică a consumatorilor conectați în sistemul energetic republican, s-au elaborat schema structurală de calcul şi algoritmul de prognoză a nivelului de fiabilitate (figura 1), care au dat posibilitatea de a evidenția factorii de influență asupra procesului de furnizare a energiei electrice şi de a sistematiza consecutivitatea operațiilor realizate în procesul de apreciere a fiabilității [2,4].

Tabelul 1. Lungimile sumare ale rețelelor electrice republicane

Nivelul de tensiune, kV	**Lungimea sumară, km**	**Nivelul de tensiune, kV**	**Lungimea sumară, km**
0,4	39340	110	4070
6-10	29430	330	530
35	2385	400	214

În rezultatul cercetărilor au fost evidențiați 12 factori aleatori care au condiționat apariția refuzurilor în funcționare a rețelelor electrice şi au influențat procesul de alimentare cu energie electrică a consumatorilor de toate categoriile de fiabilitate.

Procesarea informației caracteristice privind refuzurile condiționate în rețelele examinate, a fost efectuată în baza unui procedeu standard de analiză şi calcul, care constă în utilizarea noțiunii de unitate specifică de lungime (100 km de rețea). Acest concept a dat posibilitatea de a determina şi compara indicatorii de fiabilitate, pentru toate rețelele electrice, indiferent de lungimea sumară a lor [1,4].

La etapa de evaluare a fiabilității rețelelor electrice şi determinarea comportamentului factorilor de influență asupra indicatorilor de fiabilitate, au fost utilizate următoarele: teoria grafelor şi a matricelor; teoria probabilității; metodele de analiză statistică şi procesare a datelor experimentale privind refuzurile în sistemele de distribuție; teoria ecuațiilor liniare şi neliniare; modelarea matematică; tehnica de calcul cu soft-urile specializate în analiza statistică.

Ca rezultat al utilizării conceptului elaborat privind procesarea informației referitoare la întreruperile din rețelele examinate, s-a determinat frecvența de apariție a refuzurilor cauzate de fiecare factor aleator, la 100 km de linie, pentru fiecare sistem în funcție de sezon. Toate acestea au dat posibilitatea de a simplifica calculul şi a stabili legile de apariție a întreruperilor, care permit de a prognoza comportamentul factorilor de influență asupra fiabilității rețelelor electrice.

În conformitate cu cele remarcate au fost examinați următorii parametri ai refuzurilor: frecvența de apariție pe sezon, timpul de deconectare şi numărul consumatorilor afectați.

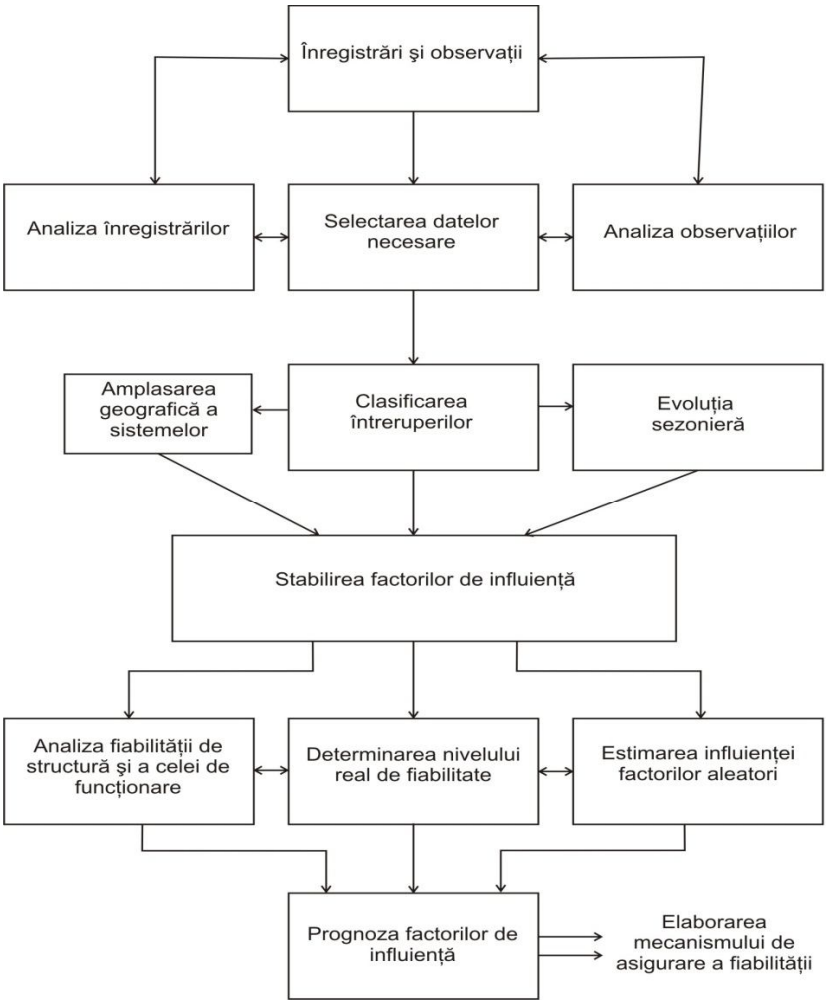


Figura 1. Schema structurală de calcul şi prognoză a fiabilității

În baza acestui procedeu standard au fost stabiliți parametrii distribuțiilor deconectărilor aleatorii cauzate de factorii de influență pentru perioada de studiu. În tabelul 2 se prezintă valorile parametrilor determinați, ca exemplu, pentru rețelele de medie tensiune (numărul mediu de întreruperi pe fiecare an, dispersia D, abaterea medie pătratică σ, coeficientul de variație, numărul minim şi maxim de întreruperi pe an, diapazonul, valorile marginale ale intervalului de încredere, coeficienții de asimetrie şi exces, tipul repartițiilor).

Examinând valorile parametrilor stabiliți se poate de constatat că, cea mai apropiată repartiție teoretică a acestor evenimente este repartiția Gauss şi datele pe care le avem ne permit să estimăm valorile marginale ale devierilor aşteptate ale mediei aritmetice în ansamblul de date analizat, adică valorile limite ale întreruperilor aleatorii specifice pentru fiecare an. Valoarea aşteptată a mediei aritmetice a deconectărilor aleatoare pentru rețeaua electrică cu lungimea de 100 km se află în limitele $57{,}62<n_{dec.}<69{,}59$.

Valorile obținute indică faptul, că în rețelele republicane intensitatea medie a deconectărilor aleatoare pe parcursul anului depăşesc valoarea de 57,62 deconectări pe an la 100 km de rețea, dar numărul lor nu va depăşi media anuală de 69,59 deconectări aleatorii la 100 km de rețea. Această prognoză are eroarea de cca 5%.

Tabelul 2. Parametrii distribuţiilor anuale ale deconectărilor aleatoare

Anul	Parametrii distribuţiilor deconectărilor											
	Num. mediu de într.	**D**	**σ**	**Coef. de var.**	**Num. min. de într.**	**Num. max. de într.**	**Diapazon**	**Lim. de jos**	**Lim. de sus**	**Coef de asim**	**Coef. de exces**	**Repartiţia teoretică apropiată**
2006	65,18	52,56	7,25	0,11	55,20	74,17	18,97	58,55	71,80	-0,23	-0,15	Normală
2007	54,83	121,8	11,04	0,20	44,53	68,22	23,69	48,20	61,45	0,50	-1,35	Normală
2008	68,09	243,6	15,61	0,22	51,95	91,00	39,05	61,46	74,71	0,63	-0,13	Normală
2009	56,59	24,10	4,91	0,08	48,03	60,65	12,61	49,97	63,22	-1,76	1,87	Normală
2010	73,37	55,80	7,87	0,10	59,30	77,45	18,14	66,74	80,00	-1,92	1,94	Normală
Total	63,61	134,7	11,61	0,18	44,53	91,00	46,47	57,62	69,59	0,66	-0,31	Normală

Reieşind din faptul, că distribuţia acestor deconectări este apropiată de cea gaussiană şi cunoscând experimental devierea medie pătratice σ=11,61, avem posibilitatea să estimăm valorile marginale a numărului prognozat de deconectări aleatorii şi a parametrilor lor pentru reţelele electrice cu diferită lungime. Aceasta este posibil, deoarece am demonstrat, că ansamblurile de date, ce include numărul total de deconectări aleatorii în perioada anilor 2006-2010 în diferite filiale ale reţelelor, aparţin aceleiaşi comunităţi de date statistice.

În dependenţă de probabilitatea de eroare admisă α=1% sau 5%, care corespunde nivelului de încredere 1-α = 99% sau 95% se pot stabili valorile marginale de limită aşteptate ale deconectărilor aleatorii în reţele la 100 km. Astfel, valoarea aşteptată a mediei aritmetice a deconectărilor aleatoare pentru reţeaua cu lungimea de 100 km se află în limitele $57,62<n_{dec.}<69,59$. Reieşind din cifrele primite şi cunoscând lungimea sumară a reţelelor electrice, se pot determina care sunt valorile aşteptate ale deconectărilor aleatoare pe parcursul unui an în reţelele, de exemplu: $N_{dec.\ min}=8168$ şi $N_{dec.max}= 9935$ deconectări.

Criteriul propus permite ca în funcţie de lungimea liniilor de a prognoza numărul deconectărilor aleatoare pe parcursul fiecărui an. Credibilitatea statistică a prognozei privind limitele marginale de variaţie a numărului de deconectări prognozat este de 95%, sau eroarea prognozei nu depăşeşte valoarea de 5 %.

După acest concept se pot determina legile de distribuţie, parametrii raportaţi la 100 km de reţea pentru toţi factorii de influenţă. Parametrii obţinuţi se vor utiliza la prognoza intensităţii indicatorilor de fiabilitate, reieşind din particularităţile individuale ale fiecărei reţele.

În conformitate cu criteriul de prognoză propus, au fost stabilite legile de distribuţie a refuzurilor şi s-a constatat că factorii cercetaţi au diferite comportări statistice, atât după durata întreruperilor cauzate cât şi după numărul consumatorilor afectaţi. Ca rezultat au fost elaborate modelele matematice care determină comportamentul statistic pentru toţi factorii de influenţă. În figura 2 sunt prezentate grafic ca exemplu distribuţiile refuzurilor după durată, cauzate de 4 factori: defecte din cauza consumatorilor, erori de exploatare, defecte în echipamente, calitatea energiei electrice.

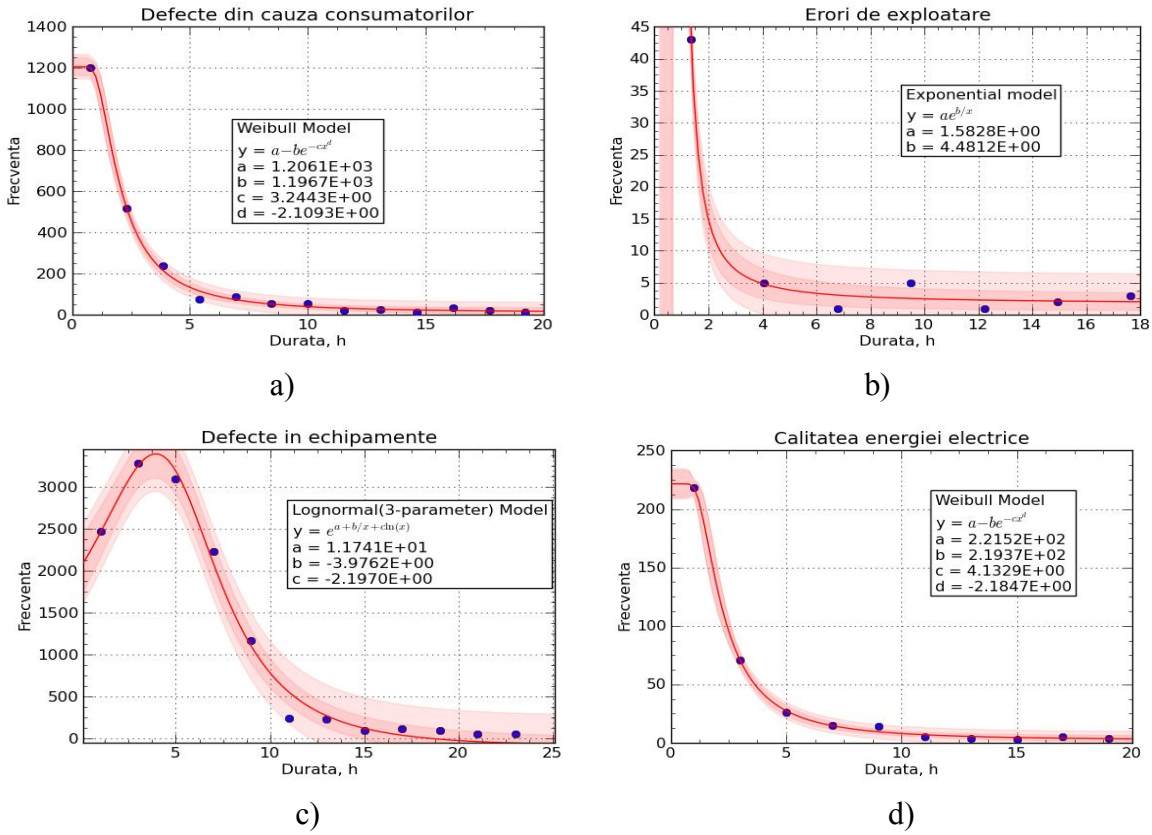


Figura 2. Prezentarea grafică a distribuţiilor deconectărilor după durată pentru factorii: defecte din cauza consumatorilor (a), erori de exploatare (b), defecte în echipamente (c) calitatea energiei electrice (d)

Pentru aprecierea calităţii de funcţionare a reţelelor electrice au fost calculaţi principalii indicatori de fiabilitate: durata medie a deconectărilor τ, frecvenţa medie a deconectărilor λ, durata medie de restabilire a deconectărilor μ, timpul mediu total de deconectare T_{med}. În tabelul 3 sunt prezentaţi ca exemplu valorile sezoniere ale indicatorilor de fiabilitate calculaţi pentru reţelele electrice de medie tensiune.

În baza analizei statistice a unor grupări de date experimentale, cu privire la deconectările din reţelele electrice, s-au stabilit parametrii principali ai repartiţiilor, care caracterizează toate refuzurile în funcţionare, cauzate de diferiţi factori de influenţă, în funcţie de durata întreruperilor şi numărul consumatorilor afectaţi (numărul total de întreruperi cauzate, durata medie a întreruperilor, numărul mediu de consumatori deconectaţi, abaterea medie pătratică σ, coeficientul de variaţie, durata minimă şi maximă a întreruperilor, numărul minim şi maxim a consumatorilor deconectaţi, diapazonul, valorile marginale ale intervalului de încredere, coeficienţii de asimetrie şi exces).

Parametrii stabiliţi dau posibilitatea de a prognoza cu credibilitatea de 95 % toţi indicii principali ce caracterizează refuzurile condiţionate de factorii de influenţă şi determină nivelul de fiabilitate al echipamentelor instalate în reţelele electrice.

Ca rezultat a fost efectuată prognoza fiabilităţii reţelelor cercetate, luând în consideraţie următorii parametri: numărul aşteptat de deconectări pe sezon (la 100 km de reţea); durata aşteptată a deconectărilor; numărul aşteptat de consumatori afectaţi; ponderea deconectărilor asupra indicatorilor de fiabilitate.

Tabelul 3. Indicatorii de fiabilitate ai rețelelor electrice de medie tensiune

Sectorul	Consumatori	Indicator	Valorile sezoniere				Anual
			Primăvara	Vara	Toamna	Iarna	
1	316441	τ, h	0,96	0,88	0,84	1,44	4,12
		λ	1,38	1,05	1,01	2,07	5,51
		μ, h	0,70	0,83	0,83	0,70	0,75
		T_{med}, h	3,10	5,63	5,40	4,65	4,69
2	162467	τ, h	4,78	7,30	7,01	7,17	26,26
		λ	4,68	3,33	3,19	7,02	18,22
		μ, h	1,02	2,20	2,20	1,02	1,44
		T_{med}, h	4,84	8,20	7,87	7,26	7,04
3	151827	τ, h	6,68	8,70	8,35	10,02	33,75
		λ	4,36	5,58	5,35	6,54	21,83
		μ, h	1,53	1,56	1,56	1,53	1,55
		T_{med}, h	4,28	6,00	5,76	6,42	5,62
4	100429	τ, h	3,58	3,85	3,70	5,37	16,50
		λ	3,64	3,20	3,07	5,46	15,37
		μ, h	0,98	1,20	1,20	0,98	1,07
		T_{med}, h	3,26	4,85	4,66	4,89	4,41
5	81389	τ, h	2,00	10,03	9,62	3,00	24,65
		λ	1,94	6,28	6,02	2,91	17,15
		μ, h	1,03	1,60	1,60	1,03	1,44
		T_{med}, h	3,96	5,43	5,21	5,94	5,13
Total	811787	τ, h	3,24	4,93	4,73	4,86	17,75
		λ	2,96	3,15	3,02	4,44	13,57
		μ, h	1,09	1,56	1,56	1,09	1,31
		T_{med}, h	3,72	5,85	5,62	5,58	5,19

Prognoza dată are marja de eroare de 5 % şi toţi indicii prognozaţi determină nivelul de fiabilitate în funcţionare a reţelelor electrice şi rezultatele obţinute privind prognozarea lor permit o planificare justificată, din punct de vedere tehnic şi economic, a tuturor măsurilor de asigurare a indicatorilor normaţi ai fiabilităţii reţelelor electrice de diferite niveluri de tensiuni.

CONCLUZII

Procesarea statistică a grupărilor de date experimentale cu privire la fluxurile de refuzuri din reţelele electrice a dat posibilitatea de a determina valorile tuturor coeficienţilor distribuţiilor teoretice stabilite pentru descrierea comportamentului statistic al celor 12 factori de influenţă evidenţiaţi în această cercetare. Astfel s-au obţinut relaţiile concrete pentru calcularea parametrilor distribuţiilor refuzurilor condiţionate de aceşti factori, care permit prognozarea indicatorilor de fiabilitate ai reţelelor electrice.

S-au calculat principalii indicatori de fiabilitate ai reţelelor electrice, care caracterizează calitatea funcţionării echipamentelor instalate în reţelele electrice republicane şi determină continuitatea alimentării cu energie electrică aconsumatorilor.

Au fost elaborate modelele matematice care determină legile de apariţie a factorilor de influenţă asupra fiabilităţii şi dau posibilitatea de a prognoza cu o credibilitate de 95 % a tuturor indicilor de fiabilitate a reţelelor electrice, ceea ce permite o planificare justificată a lucrărilor necesare de profilaxie, contribuind la asigurarea continuităţii alimentării cu energie electrică a tuturor consumatorilor.

BIBLIOGRAFIE

1. Felea I., Dziţac Simona, Fiabilitatea Echipamentelor şi Sistemelor Energetice. Editura Universităţii din Oradea, 2006, 290 p.

2. Popescu V**.** Analiza fiabilităţii sistemelor electrice de distribuţie. Problemele energeticii regionale, AŞM, Chişinău, 2012 nr.1 (17).

3. Popescu V., Studiul proceselor tranzitorii însoţite de arcul voltaic şi influenţa lor asupra fiabilităţii sistemelor de distribuţie. Analele universităţii din Oradea, România, 2007, Fascicula de Energetică, Nr. 13, p. 60-63.

4. Popescu V., Gaină A., Bodarev G. Reliability analysis of power distributoin system the voltaje of which is 6 and 10 kV. Intellectus, Nr.1. Chişinău, 2012, p. 90-96.

5. Munteanu F. Ivaş D. Nemeş C. Ingineria Disponibilităţii Subsistemelor de Distribuţie a Energiei Electrice. Iaşi: Spectrum 1999, 260 p.

6. Eftimie C., Soare D. Fiabilitatea sistemelor de distribuţie electroenergetice industriale. Bucureşti 1979. 250 p.

Popescu Victor Serghei, doctor în tehnică, lector superior universitar al catedrei „ Electrificarea şi automatizarea mediului rural”, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Interesele ştiinţifice se află în planul determinării fiabilităţii sistemelor de distribuţie, auditul energetic al consumatorilor din sectorul agrar şi al întreprinderilor de prelucrare primară a producţiei agricole. Autor şi coautor a 31 de lucrări ştiinţifice şi metodico-didactice şi o serie de articole ştiinţifice publicate în reviste recenzate, raporturi la Conferinţe Ştiinţifice Internaţionale. E-mail: vspopescu @mail.ru

SOME UNUSUAL SOLUTIONS FOR EUROPEAN NETWORKS

Vernescu V., Goia M.L., Golovanov N.
CNR/WEC- Bucharest, Romania

Abstract. *Authors present several non-conventional solutions unused in Europe which are, however, frequently adopted in some medium (M) and low (L) voltages (V) networks from North-American and Australian countries, especially in low density areas of consumption in rural and urban distribution. The proposed solutions may assure diversified supply possibilities in our middle and South–Eastern regions, as regards modernizing and upgrading the distribution networks. The solutions try to propose to adapt our European practice to the North-American experience, aiming at developing more flexible, cheaper and safer supply of the consumers, both at MV and at LV networks. Several original solutions promoted in Romanian networks and their peculiarities are also described. The paper presents distribution schemes at medium voltage in connection with low voltage supply in different condition of neutral treatment at MV or LV. It also shows the measures to be adopted in order to diminish the investment expenses in low voltage at the supplied consumers. The technical condition of co-existence of OHEL at MV and LV on the same poles, without jeopardizing the LV equipment, is necessary. Among the solutions proposed, the authors also describe the unconventional one, consisting in the supply of isolated monophase consumer at MV by ground return and also the conditions necessary for sure and safe operation of this particularly connection. Finally, there are shown some conclusions about the necessity to assure imposed environmental conditions.*
Keywords: *consumers supply, small transformers, schemes, safety operation.*

UNELE SOLUȚII NESTANDARDE PENTRU REȚEAUA EUROPEANĂ

Vernescu V., Goia M.L., Golovanov N.
CNR/WEC- Bucureşti, România

Rezumat. *Autorii prezintă câteva soluții non-convenționale ce nu sunt utilizate în Europa, dar care deseori sunt acceptate în rețelele de medie (M) şi joasă (J) tensiune (T) din America de Nord şi țările Australiene, în special în zonele cu densitatea scăzută a consumului în distribuția rurală şi urbană. Soluțiile propuse pot asigura diverse posibilități de alimentare în regiunea noastră de mijloc şi sud-estică în ce priveşte modernizarea şi renovarea rețelelor de distribuție. Soluțiile propuse încearcă să adapteze practicile noastre europene la experiența nord-americană având ca scop dezvoltarea unei alimentări a consumatori mai flexibilă, ieftină şi sigură atât pe tensiune medie cât şi joasă. Câteva soluții originale promovate în rețelele româneşti precum şi particularitățile acestora sunt descrie de asemenea. Lucrarea prezintă schemele de distribuție medie de tensiune în conexiune cu alimentarea în tensiune joasă la diferite condiții de tratare a neutrului la JT şi MT. De asemenea se arată, măsurile necesare de întreprins pentru a diminua capitalul de investiție a tensiunii joase la consumatorii alimentați. Sunt necesare condițiile tehnice a coexistenței LEA la MT şi JT pe aceleaşi poluri fără a pune în pericol echipamentul de JT. Printre soluțiile propuse autorii mai descriu şi una non-convențională, ce constă în alimentarea monofazată izolată a consumatorului la MT prin împământarea returului şi de asemenea sunt necesare condiții tehnice pentru funcționarea sigură a acestei conexiuni particulare. În final, sunt prezentate câteva concluzii privind necesitatea asigurării condițiilor de mediu impuse.*
Cuvinte-cheie: *alimentarea consumatorilor, transformatoare mici, scheme, funcționare sigură.*

НЕКОТОРЫЕ НЕСТАНДАРТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЕВРОПЕЙСКИХ СЕТЕЙ

Вернеску В., Гоя М.Л., Голованов Н.
РНК/ВЭС – Бухарест, Румыния

Аннотация. *Авторы приводят несколько нетрадиционных решений, которые не используется в Европе, однако, часто применяются в сетях среднего (С) и низкого (Н) напряжения (Н) Северной Америки и стран Австралии, особенно в районах с низкой плотностью потребления в сельском и городском распределение. Предлагаемые решения может обеспечить диверсифицированные возможности поставки в нашем Среднем и Юго-Восточном регионе, что касается модернизация и обновление распределительных сетей. Предложены решения попытаться адаптировать нашу европейскую практику к североамериканскому опыту, имея целью развитие более гибкого, дешевого и надежного снабжения потребителей электроэнергией, как среднего напряжения, так и низкого напряжения.*

Описаны несколько оригинальных решений, а также особенности их внедрения в румынских сетях. В статье представлены схемы распределительных сетей среднего напряжения. Для схем электроснабжения низкого напряжения для различных условий подключения нейтрального провода, показаны меры, которые необходимые принять, чтобы уменьшить инвестиции в низковольтные сети напряжения. Среди предлагаемых решений, авторы описывают одно нетрадиционное, которое состоит в питании однофазного изолированного потребителя на СН путем изолирования обратного провода, и также технические условия необходимые для надежной и безопасной эксплуатации для этого частного случая. Представлены несколько предложений по обеспечению экологических требований.

Ключевые слова: *электроснабжение потребителей, трансформаторы малой мощности, схемы, надежное функционирование.*

1. Medium Voltage Solutions

Electricity supply of consumers, under safety and economic conditions, is one of the major concerns of electricity suppliers. The solutions adopted to supply various types of users should comply with their installed capacity, the distance from the supply point, required safety level, possibility to recover the expenses for the delivered electricity, etc.

The accomplishment of monophase small-power (MV/0.23 kV) oil or dry transformers, with competitive technical characteristics has enabled finding out specific solutions to supply small installed capacity users, concentrated or dispersed in urban or rural areas. The solutions developed on the basis of new transformer types represent a new stage of several studies and achievements on high voltage use (1000/230 V) in order to supply small users, while diminishing the active losses in the electric supply power grid.

The solutions of bi/three phase transformers begin to be ever more considered when supplying rural consumers living in areas across which a MV electric line is passing, leading to important advantages on reduction losses in distribution network, by eliminating the low voltage network. As for the dispersed users or those grouped in small communities, the solutions with oil-insulated mono/ bi phased transformers, can offer advantageous technical-economic conditions as compared to the present ones. Locating the mono/bi-phase transformers close to the load weight center ensures loss reduction in the low voltage network, cutting down investment in the medium voltage network and providing advantageous economic parameters of the supply. In many cases, medium voltage accomplishment is possible with only one conductor (phase), leading to a substantial reduction (with 66%) of the investment in line conductors and, practically with 50% of the investment in line.

Depending on the neutral grounding of the medium voltage lines, various solutions can be adopted for the supply of rural localities nearby those lines.

2. Connection diagrams of monophase transformers

The following solutions can be considered:

- three-phase medium voltage line, passing nearby a low power consumer who has to be supplied with electricity
- three-phase line passing nearby some small power consumers who need a three-phase voltage
- small power consumer located at a relatively small distance from the three-phase medium voltage electric line which requires a single-phase supply
- small power consumer located at a relatively small distance from the three-phase medium voltage consumer requiring a three-phase supply
- load symetrization in the medium voltage network by the distributed supply of the consumers groups (low voltage distributed network). Are possible the following variants for supply the consumers which need electrical energy: a)MV lines in a resistor grounded

network, passing close or not far to small users; b)The same case but in an network by Petersen coil treated neutral. In the case of resistor grounded neutral, is necessary analizing of the return circuit in normal or transient permanent regime. It is possible to consider the variant with physical conductor or by ground return, if those few amperes of ground circuit currents remain compatibles with neighboring installations or equipments. Final solution will adopted upon a calculus of the transient created by monophase load, but upon authors opinion in south-east conditions is preferable to adopt the first variant with physical return conductor, to avoiding EMC complications.

In the case of monophasic consumers, close or not so far from MV line is recommended to assure the balance of the phase load at MV network by users groups distributed connection for load symmetrization (LV network distributed load).
In the cases of resistor grounded neutral, the user may be connected on like in the schemes presented in fig.1, 2, 3, 4 by a monophase transformer TM 11,5/0,23 kV. The line is completed with one neutral conductor ground connected at the MV substation grounded resistor R and at the place of TM too.

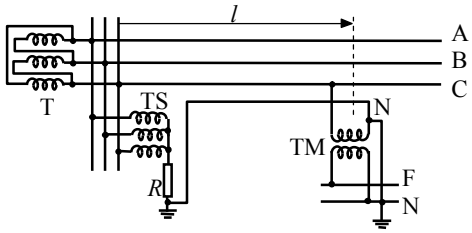


Fig.1. The solution for a monophase user close to MV line in a network by resistor neutral grounded

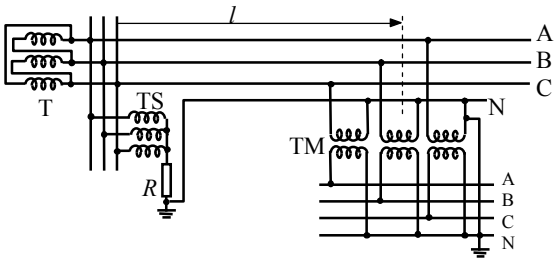


Fig. 2. Solution for three phase consumer close to MV line in by resistor neutral grounded network

The cost of the return conductor assures the competitivity of this solution even in the case of the low power users situated at relative short distance of MV line. Neutral conductor is designed for one monophased fault at the TM terminal, load current (almost few amperes) impose only mechanical criteria. The monophase TM transformer is presented in photo A and B.
For the users who need three phase, are necessary three transformers, connected at three phases of the line. This may be initial realized or like an extension of those monophased. Fig.2 is a solution for this situation.

Photo A. Monophase transformer MV/LV

Photo B. Solution for three phase user

The neutral point of LV networks connected to the same earthing like the return conductor of MV network. In the diagram from fig.5 is presented one dispersed LV network without the interconnection possibility of consumers to the same power, that assuring the same load on three phase. This solution corresponds to feed a rural locality following one river valley, with consumers to the same load with. The neutral conductor in permanent regime has the current of disequilibria created by monophased transformers, connected to the MV line (some few amperes, which flow by ground in absence of the return neutral).

3. Connection schemas with biphase transformers

These connections correspond to Peterson coil treated neutral. The connection is more simple and no need neutral conductor. May be the next variants:

- monophase user close to the MV line
- user who need 400 V
- three-phase user
- dispersed users along the MV line
- dispersed users situated relative close to the MV line (isolated farm)

In practice may find and other situations where may be used biphase small power transformers to feed some reduced load zones.

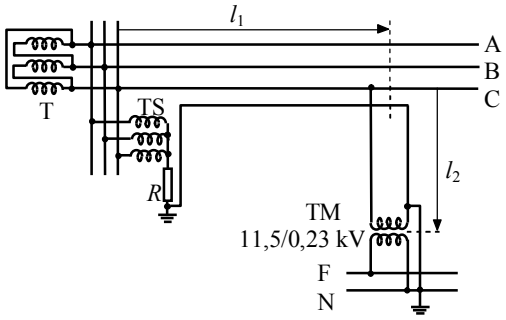


Fig. 3 Solution for one monophase user at small distance from MV line in an neutral by resistor grounded network

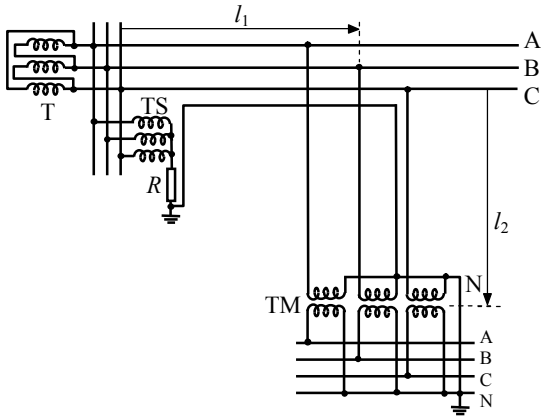


Fig.4 .Solution for three or monophase phase users at the l_2 distance from MV line in a neutral by resistor grounded network

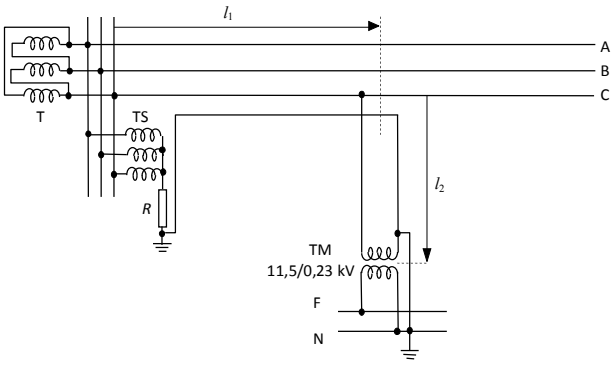


Fig. 5 – One or some consumers disposed at different distances from the T and TS sources

4. Technical limits for using small power transformers.

Monophased or biphased loads connected to three phased MV line must be monitorised and designed to not create an asymmetry factor exceeding admissible limits and significant perturbing the normative values of phase voltages at all the users in normal regime and in a load gap. Proper inequality of aerian MV line may amplify the asymmetry of phase currents. In respect of those is recommended that before transformers connect need to analyze network asymmetry to establish the phase with the greatest voltage due to natural network lack of balance. Mono (bi) phase transformers will be connected at the phases with the greatest voltage, avoiding amplifying the permanent line asymmetry. The voltage fall on return circuit must be limited at the imposed values, especially in the case is used the ground return of current. The design of the return conductor imposes only mechanical conditions because the small value of the return current (Table 1). Often is sufficient the ST/AL 25 mm^2.

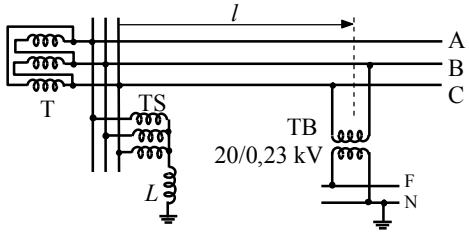


Fig. 6 – Monophase user close a MV line in Petersen coil treated network.

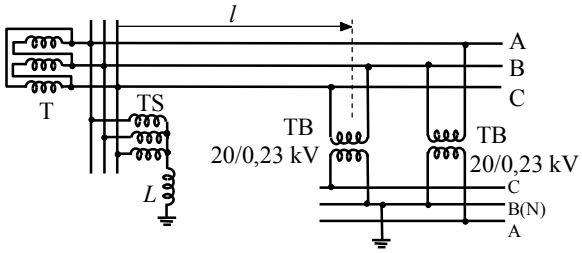


Fig. 7 – Monophase and poliphased users close to a MV line in an Petersen coil treated network.

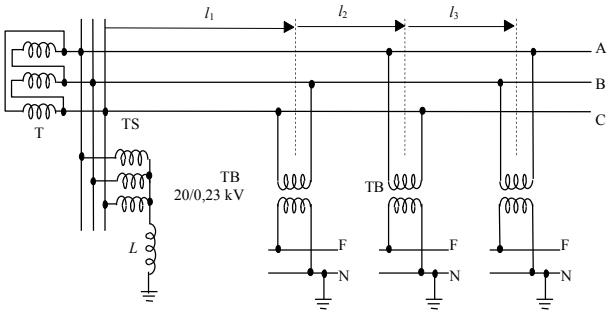


Fig. 8 – Monophased dispersed users close to MV line in Petersen coil treated network

Table 1. Electric current in monophase transformers

Nominal power kVA	Current A
5	0,433
10	0,866
15	1,3
20	1,732
25	2,165
30	2,6
35	3,03
40	3,464

5. Original alternative.

The small power single-phase consumers may be supplied from new renewable power sources, like the wind, solar or from combustion cell ones.

Such solutions became classical and have promising development perspectives in the industrial countries. In our country, some successful experiments concerning the electric power supply from such sources have been adopted, but the solutions seem not yet acceptable

for the village consumers, not so much as concerns the cost price of the power supplied from renewable sources (15¢ / kWh from photovoltaic cells, 20¢ / kWh at the wind supplied central stations) but especially because of the initial prohibitive investment. That is why the authors adopted the local power system supply.

Paper idea is based on the practical need of the supply for Poiana Florilor (PF) single-phase low voltage consumer situated at about 3 km distance from LEA 20 kV connection Aleşd Aştileu Pădurea Neagră, in Bihor county.

The mentioned line is supplied from the Aleşd station (I_{SC}=4,35 kA on bus bars), has the section of 120 mm^2 Al-ST and the from the line is situated at about 5,7 km from Aleşd station and has the section of 35 mm^2 Al-ST and a length of 1 km.

The power required by the consumer situated at 3 km from PT 63 KVA is of 30 kW at cos φ = 0,8.

The area where the consumer is situated in the second zone from meteo point of view, but is considered difficult from white frost layers point of view and frequently endangered from atmospheric discharges.

The network from which the connection is supply has the neutral point grounded with Petersen coil (BS) and network earthing capacitive current for which the ground plate is calculated of 10A.

The route the electric power supply LEA line should follow is parallel to the aces road to the "PF" consumer from reasons related to Romsilva agreement.

Starting from this real problem was treated in a more general context the electrification of single-phase small consumers distributed in areas with low consumption.

The real electrification solution in this case was selected from following main alternatives:

- Three phase/single phase medium/low voltage line
- Two phase medium (low) voltage line
- Single phase line with current return by the ground

From the constructive point of view, the lines can be achieved on concrete or wood poles with ordinary or insulated wires, in simple suspended or twisted system.

The performed analysis excluded the alternative with underground cable supply, which is by far not competitive.

From the comparative analysis following data supplied by S.C. ELECTRICA related to the specific costs of the three-phase aerial lines of the different types and compositions was chosen the solution with single phase and ground return current, at 6kV rate. The arguments and technical conditions for this selection were largely presented in [1].

The scheme and parameters for calculation is presented in fig. 9 and the diagram for PT1 and PT2 at the beginning and the terminal point of this connection in the fig.10.

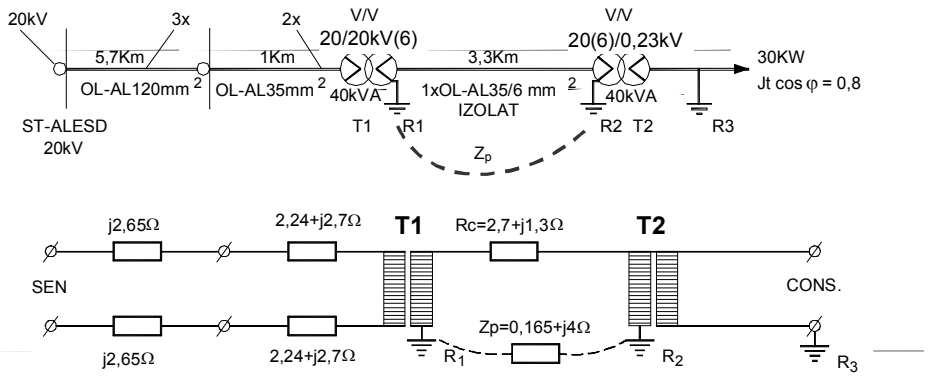


Fig. 9. Scheme and parameters for calculations

T_1;T_2: 220+j290Ω (20 kV), 18+j26Ω (6 kV) R_1;R_2: 20Ω at 20 kV; 7,5 Ω at 6 kV
Shortcircuit impedance of T_1 and T_2 are divised in two equals parts

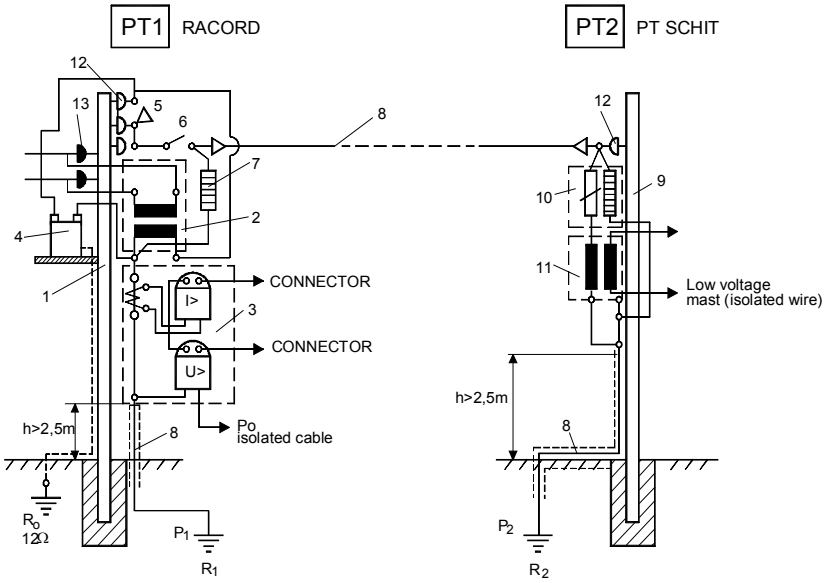


Fig. 10. Diagrams for PT1 and PT2 at 20 (6) kV connection

1. Wood pole (H type or in concrete foundation), 2. Transformer 20/20 (6) kV 40 KVA TMD, 3. Polycarbonate cabinet with current reducer, relays and d.c. battery, 4. Voltage transformer 20(6)/0,1 kV, 5. Single phase connector 24 kV in vacuum, 6. Single phase Ampact disconnector (ELCO), 7. OZn discharger (surge arrester) 8. OL AL wire 50 mm insulated, 9. Wood terminal pole (H type or in concrete foundation), 10. Fuse frame 24 kV+single phase discharger SSFED (ELCO), 11. Single phase transformer 20 (6)/0,231 kV 40 KVA TMD, 12. Insulator 24 kV, 13. Insulator 24 kV, P1, P2 Earthing 20, R Earthing 12.

5. Conclusions

The use of the monophase or biphasic low power transformers (max 100 KVA) may represent a very smart solution who leads to important economy of investments in network and in electrical losses. The conductors and isolation costs are reduced with 2/3 and the poles may be more simply and light.

The technical limits results from the accepted network asymmetry factor and from the permanent return current, especially in the case of using the ground in this purpose.

To achieve an electrification of some isolated single phase low power consumers was possible to adopt the solution with single MV phase with ground return. For this purpose was adopted

an isolation transformer from the 3F-MT network and create an isolated network who has grounded neutral.

The connections to earthling of the transformers at the both ends of the monophasic racord was realized with very good isolated wires, to prevent touch and step voltages in normal and isolation defection. The condition of design for the earthling of both transformers is very special.

References

[1] COROIU N., GOIA M. L., *UNCONVENTIONAL SOLUTION FOR LOW POWER SINGLE-PHASE CONSUMER SUPPLY*, CIRED Torino, 2005, 0389

[2] de la Rosa F., Mak S. T., *A Look into Steady State and Transient Performance of Power Lines Integrating Single Wire Earth Return Circuits*, PESGM 2007, Tampa, Florida, Rap.000471

[3] VILLOT A.V., ZAPATA A. H., GURUMETA E. M.,*ENVIRONMENTAL TRANSFORMER SUBSTA-TION* , CIRED Torino, 2005, 0103

[4]Wolfs P.J., Hosseinzadeh N., Senini S.T., *Capacity Enhancement for Aging Distribution Systems using Single Wire Earth Return*, PESGM 2007, Tampa, Florida, Rap.000388

**Este recomandată de colegiul de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Internaționale „Energetica Moldovei-2012" Aspecte regionale de dezvoltare. Ediția a II-a.*

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СИЛОВЫХ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ЮША В.Л., ЧЕРНОВ Г.И., РАЙКОВСКИЙ Н.А.
Омский государственный технический университет

Анотацция. *В статье представлены результаты теоретического анализа эффективности идеального термодинамического цикла комбинированного двигателя внутреннего сгорания с утилизацией теплоты выхлопных газов. Выполнен сравнительный анализ энергоэффективности применения дополнительного теплоносителя при его впрыске в проточную часть и при внешней утилизации теплоты выхлопных газов. Проведена оценка применимости различных типов теплоносителей в системах внешней утилизации теплоты силовых и теплоэнергетических установок.*
Ключевые слова*: рабочий цикл, утилизация теплоты, теплоноситель*

ANALYSIS OF THE IMPACT PROPERTIES OF THE COOLANT RECOVERY SYSTEM HEAT LOSSES OF COMBINED COMPRESSOR-POWER PLANT ON ITS CHARACTERISTICS

YUSHA Vladimir, CHERNOV German, RAYKOVSCKY Nicolay
Omsk State Technical University

Abstract. *The paper presents results of theoretical analysis of the effectiveness of an ideal thermodynamic cycle internal combustion engine combined with an external utilization of exhaust heat. The influence of the properties of the coolant circuit of utilization on its operational parameters and characteristics of the power plant.*
Keywords: *working cycle, heat recovery, heat transfer*

ESTIMAREA EFICIENȚEI TERMODINAMICE A SISTEMULUI DE UTILIZARE A PIERDERILOR DE CĂLDURĂ DIN INSTALAȚIILE DE FORȚĂ ŞI TERMOENERGETICE

IUŞA Vladimir, CERNOV German, RAYKOVSCKI Nicolai
Universitatea Tehnică de Stat din Omsk

Rezumat. *În lucrare sunt prezentate rezultatele analizei teoretice a eficienței ciclului termodinamic ideal a motorului combinat cu ardere internă cu utilizarea căldurii gazelor de eşapament. S-a efectuat analiza comparativă a eficienței utilizării purtătorului de căldură suplimentar la injectarea lui în canal şi la utilizarea exterioară a căldurii gazelor de eşapament. S-a efectuat estimarea posibilității de aplicare a diferitor tipuri de purtători de căldură în sistemele de utilizare exterioară a căldurii instalațiilor de forță şi termoenergetice.*
Cuvinte-cheie*: ciclu de lucru, utilizarea căldurii, agent termic*

Одним из актуальных направлений повышения термодинамической эффективности силовых установок на базе комбинированных ДВС и теплоэнергетических установок различного назначения является впрыск испаряющейся воды в поток рабочего газа [1, 2], либо внешняя утилизация теплоты выхлопных газов [3 - 5].

Анализ термодинамической эффективности комбинированного ДВС с парогазовым рабочим телом позволил установить, что впрыск воды в камеру сгорания комбинированного ДВС, последовательно нагретой при охлаждении предварительно сжимаемого воздуха и выхлопных газов, может обеспечить существенное снижение температуры газа в цикле при незначительном повышении экономичности рабочего процесса [6].

Рассмотрим, например, один из возможных вариантов термодинамического цикла комбинированного ДВС [6], в котором охлаждение сжимаемого воздуха обеспечивается впрыском воды в компрессор (рис.1; процесс 0-2). После компрессорной ступени нагретая в ней вода отделяется от воздуха, который поступает в камеру сгорания (КС) двигателя, и поступает в рекуперативный теплообменник, в котором дополнительно подогревается выхлопными газами. Затем мгновенно происходят процессы изохорного сгорания топлива в КС (процесс 2-3), подачи дополнительно подогретой воды в КС, нагрева и полного испарения воды (процесс 3-3'-3").

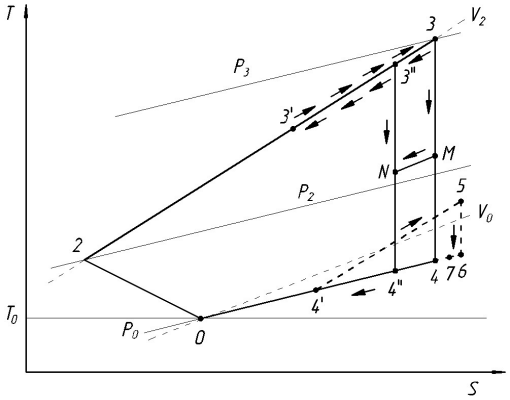


Рис. 1 *Идеальный термодинамический цикл комбинированного ДВС с подачей воды, подогретой в системах охлаждения компрессорной ступени и выхлопного газа, в камеру сгорания*

После этого газопаровая смесь расширяется до давления выхлопа, равного начальному (процесс 3"-4"); возможность достижения такого равенства давлений в комбинированных ДВС рассмотрено в [6]. После рекуперативного теплообменника температура выхлопных газов понизится до температуры в точке 4'.

Предположим, что в одном из возможных вариантов такого цикла имеет место мгновенная конденсация водяных паров в точке 4' и одновременное мгновенное отделение конденсата от газовой смеси. В этом случае выделившаяся теплота фазового перехода определяет процессы 4'–5–6–7, включающие дополнительную полезную работу расширения в процессе 5–6.

Математическая модель идеального рабочего цикла комбинированного ДВС для рассматриваемого цикла включает в себя систему допущений, расчётные уравнения, условия однозначности.

Для решения поставленной задачи приняты следующие допущения:

1. – процесс предварительного адиабатного сжатия отсутствует [6]; процессы 0–2, 3"–4" являются политропными процессами сжатия и расширения с постоянными показателями политропы и могут протекать как с подводом, так и с отводом тепла; величина политропы в этих процессах может быть как одинаковой для всех процессов, так и индивидуальной для каждого из них; процесс расширения 3"–4" протекает при одинаковой величине показателя политропы независимо от конструктивной реализации этого процесса;

2. - теплота в циклах q подводится при температуре выше окружающей среды, что возможно осуществить только за счёт сгорания топлива (тепловыделением от трения пренебрегаем);

3. - масса газа (воздуха) в процессе 0–2 постоянна; масса газа (газовая смесь продуктов сгорания) в процессе 2–3 увеличивается мгновенно на величину массы впрыскиваемого топлива; масса газовой смеси в процессе 3’’–4’’ постоянна;
4. - изохорная теплоёмкость c_v и коэффициент адиабаты k топливно-воздушной смеси являются постоянными величинами и равны изохорной теплоёмкости и коэффициенту адиабаты воздуха, т.к. доля топлива в топливно-воздушной смеси незначительна (примерно 1 часть топлива на 15 частей смеси [2, 3]);
5. - процесс расширения осуществляется до давления окружающей среды p_0 , при котором протекает процесс теплообмена в рекуперативном теплообменнике (точки 4" и 4'), т.е. давление выхлопа равно начальному давлению;
6. - основной процесс подвода тепла – это процесс изохорного сгорания топлива 2–3;
7. - во всех процессах цикла рабочий газ – идеальный газ;
8. - потери давления в органах газораспределения и в коммуникациях отсутствуют;
9. - температура и давление газа в коммуникациях не изменяется; исключение – охлаждение сжатого воздуха в ОНВ [6] и охлаждение выхлопных газов в рекуперативном теплообменнике;
10. - затраты мощности на механическое трение и на привод вспомогательных механизмов отсутствуют;
11. - параметры состояния и масса газовой и парогазовой смеси в процессах 2-3-3'-3" изменяются мгновенно;
12. - промежуточный теплоноситель (вода) испаряется полностью; его конденсация в процессе 3"-4" , а также в процессе 4"–4' отсутствует (последнее может быть справедливо применительно к быстротечным процессам [7, 8, 9]);
13. – максимально достижимая температура воды, впрыскиваемой в КС, определяется величиной давления газовой смеси в КС.

Расчётные уравнения математической модели идеального рабочего процесса комбинированного ДВС с парогазовым рабочим телом представим в соответствии с последовательностью рабочих процессов в рассматриваемом цикле.

Определение температуры T, давления p и удельного объема воздуха v в конце процесса сжатия 0–2 при условии $p_1 = p_0$ (относительное повышение давления $\varepsilon_{01} = 1$):

$$T_2 = T_0 \varepsilon_{01}^{\frac{k-1}{k}} \varepsilon_{12}^{\frac{(n_{12}-1)}{n_{12}}},$$

$$p_2 = p_1 \varepsilon_{12}, v_2 = R_B \frac{T_2}{p_2}.$$

Определение температуры, давления и объема в конце процесса 2–3:

$$T_3 = T_0 \varepsilon_{01}^{\frac{k-1}{k}} \varepsilon_{12}^{\frac{(n_{12}-1)}{n_{12}}} + \frac{q}{c_v},$$

$$p_3 = \frac{T_3}{T_2} p_2,$$

$$v_3 = R_{см} \frac{T_3}{p_3}.$$

Определение температуры жидкости при теплообмене между газом и водой в процессе 1–2 и показателя адиабаты парогазовой смеси в точке 3":

$$T_ж = T_0 + \frac{(k - n_{12})}{n_{12} - 1} \cdot \frac{c_v}{c_ж} \cdot \frac{T_0}{m} \cdot \varepsilon_{01}^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} \cdot \left(\varepsilon_{12}^{\frac{n_{12}-1}{n_{12}}} - 1 \right);$$

$$k_{смп} = \left(\frac{k}{c_{v\,нп}} + k_{нп} \frac{m}{c_v} \right) \Big/ \left(\frac{1}{c_{v\,нп}} + \frac{m}{c_v} \right).$$

Давление впрыскиваемой воды принимаем $p_ж = p_3$. Определение температуры насыщенных водяных паров и удельной теплоты парообразования, соответствующих давлению $p_ж$, производится по данным, представленным в [10]. Определение температуры и параметров парогазовой смеси для 1 кг газа при массе жидкости, приходящейся на 1 кг массы газовой смеси, равной *m*:

$$T_{3''} = \frac{\left[c_v T_0 \left[\varepsilon_{01}^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} \varepsilon_{12}^{\left(\frac{n_{12}-1}{n_{12}}\right)} + \frac{q}{c_v T_0} \right] \right] m}{c_v + m c_{v\,нп}} +$$

$$+ \frac{c_ж m T_ж - \left[r_1 + (c_ж - c_{рнп}) T_{нп1} \right] m}{c_v + m c_{v\,нп}}$$

$$c_{v\,см} = \frac{c_v}{1+m} + \frac{m}{1+m} c_{v\,нп},$$

$$R_{смп} = c_{v\,нп}(k_{смп} - 1),$$

$$p_{3''} = (1+m) R_{смп} \frac{T_{3''}}{V_{3''}},$$

$$c_v + m c_{v\,нп} \; c_ж m T_ж - \left[r_1 + (c_ж - c_{рнп}) T_{нп1} \right] m$$

$$T_{4''} = T_{3''} \left(\frac{p_{4''}}{p_{3''}} \right)^{\frac{k_{смп}-1}{k_{смп}}}.$$

Определение параметров газовой смеси после вытеснения сконденсированного водяного пара производится аналогично тому, как это представлено в [6].

Определение работы в процессах цикла:

$$l_{3''4''} = (1+m) \left(\frac{c_v}{1+m} + \frac{m}{1+m} \cdot c_{v\,нп} \right) (T_{3''} - T_{4''});$$

$$l_{4''4'} = R_{см}(T_{4''} - T_{4'})(1+m);$$

$$l_{33'} = R(T_3 - T_{3'});$$

$$l_{4'0} = R(T_{4'} - T_0)$$

$$l_{70} = R(T_7 - T_0);$$

$$l_{56} = R_{см}(T_6 - T_5);$$

$$l_{01} = R \; \frac{T_0}{k-1} \left[\varepsilon_{01}^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} - 1 \right];$$

$$l_{56} = C_v(T_5 - T_6);$$

$$l_{4'5} = R \frac{T_{4'}}{n_{4'5} - 1} \left(\lambda^{n_{4'5}-1} - 1 \right);$$

$$l_{12} = R\frac{T_1}{n_{12}-1}\left[\varepsilon_{12}^{\left(\frac{n_{12}-1}{n_{12}}\right)} - 1\right];$$

$$l_{67} = R\left(T_6 - T_7\right),$$

$$\eta = \frac{l_p - l_c}{q},$$

$$\eta_1 = \frac{l_p - l_c}{q + mv_ж\left(p_3 - p_0\right)},$$

где $l_p=l_{3''4''}$ (или для цикла с дополнительным расширением $l_p=l3_{''4''} + l_{56}$) – удельная работа расширения цикла; $l_c=l_{01}+l_{12}+ l_{33''}+l_{4''4'}+l_{4'0}$ (или для цикла с дополнительным расширением $l_c=l_{01}+l_{12}+l_{33''}+l_{4''4'} +l_{4'5} +l_{67}+l_{70}$) – удельная суммарная работа сжатия цикла; q – удельное количество теплоты, подведённое к рабочему телу в процессе сгорания топлива.

Расчёт цикла комбинированного ДВС с парогазовым рабочим телом производился при следующих условиях однозначности: $p_0 = 10^5$ Па; $T_0 = T_{ж0} = 273$ К, $\varepsilon_{01} = 1$, $\varepsilon_{12} = 15$; $v_ж = 0{,}001006\ м^3/кг$, $k = 1{,}4$, коэффициент адиабаты насыщенного пара $k_{нп} = 1{,}33$, показатель политропы в процессе 1-2находится в пределах $1 < n_{12} < k$, $\mu = 0{,}029$, $\mu_{нп} = 0{,}018$, $n_{3''4''}=k_{смп}$, q=2900 кДж/кг, c_v=897 Дж/кг·К, теплоёмкость жидкости (воды) $c_ж = 4190$ Дж/кг·К, удельная изохорная теплоёмкость насыщенного пара $c_{vнп}$=2168 Дж/кг·К; удельная изобарная теплоёмкость насыщенного пара $c_{pнп}$=2630 Дж/кг·К.

Преимущество рассмотренного цикла комбинированного ДВС по сравнению с традиционным «сухим» циклом заключается главным образом в снижении теплонапряжённости деталей ДВС и связанной с этим перспективой совершенствования конструкций комбинированного ДВС (рис.2, 3).

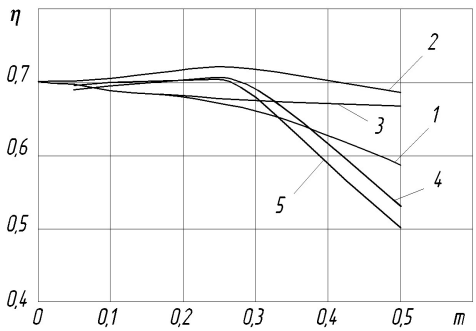


Рис. 2 . *Влияние количества впрыскиваемой воды на индикаторный КПД комбинированного ДВС: 1 – впрыск в точке 3 при температуре воды, не превышающей температуру выхлопных газов в точке 4''; 2 – то же с учётом конденсации водяных паров в точке 4' и процессов 4' – 5 – 6 - 7; 3 - впрыск в точке 3 при максимальной температуре воды, достижимой при давлении P_3 (22 МПа); 4 - впрыск в точке М при максимальной температуре воды, достижимой при давлении P_M (0,4 МПа); 5 - впрыск в точке М при максимальной температуре воды, достижимой при давлении P_M (11 МПа).*

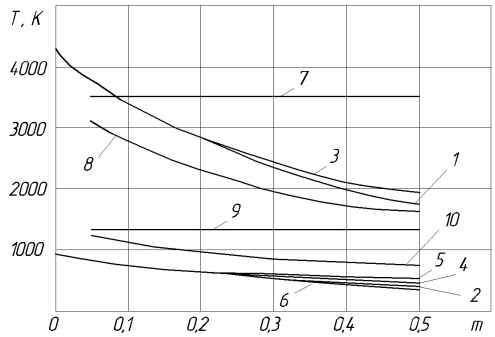


Рис. 3. *Влияние количества впрыскиваемой воды на величину температуры парогазовой смеси в рабочей камере ДВС: 1 – температура в точке 3'' при температуре воды, не превышающей температуру выхлопных газов в точке 4''; 2 – температура в точке 4'', соответствующая режиму 1; 3 - температура в точке 3'' при максимальной температуре воды, достижимой при давлении P_3 (22 МПа); 4 - температура в точке 4'', соответствующая режиму 3; 5 - температура в точке 4'', соответствующая режиму 7, 8; 6 - температура в точке 4'', соответствующая режиму 9, 10; 7, 8 - температуры в точках M и N при PM = 11 МПа; 9, 10 – температуры в точках M и N при P_M = 0,4 МПа.*

В отличие от газопаровых циклов, при внешней утилизации теплоты выхлопных газов утилизированная теплота позволяет получить дополнительную мощность в силовой установке, при этом энергетическая эффективность зависит, в том числе, от теплофизических свойств теплоносителя [5]. Рассмотрим один из возможных вариантов взаимосвязанных термодинамических циклов Отто и Ренкина применительно к комбинированному ДВС (рис.4), при котором последовательно осуществляется внешнее охлаждение сжимаемого воздуха и выхлопных газов дополнительным теплоносителем (рис.5).

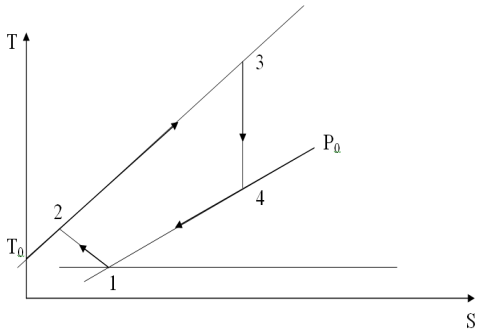


Рис. 4. *T – S комбинированного цикла Отто: 1-2 – политропное предварительное сжатие; 2-3 – изохорный подвод тепла при сгорании топлива; 3-4 – адиабатное расширение продуктов сгорания топлива; 4-1 – изобарный процесс вытеснения продуктов сгорания топлива*

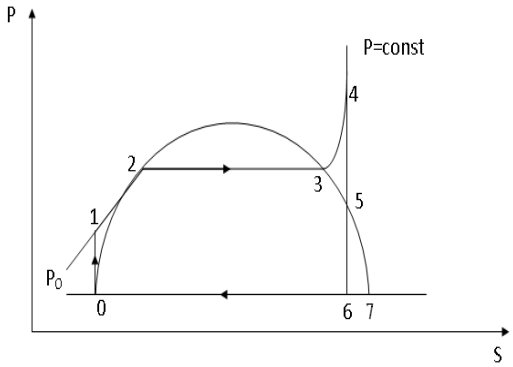


Рис. 5. *P – S диаграмма цикла Ренкина: 0-1– процесс повышения давления жидкости в насосе; 1-2 – изобарный нагрев жидкости; 2-3 – кипение жидкости; 3-4 – перегрев пара; 4-5 – адиабатное расширение перегретого пара; 5-6 – адиабатное расширение влажного пара; 6-0 – конденсация пара*

Математическая модель идеального рабочего цикла комбинированного ДВС для рассматриваемого цикла включает в себя систему допущений, расчётные уравнения, условия однозначности. Для решения поставленной задачи приняты следующие упрощающие допущения.

Допущения для цикла Отто: топливо – воздушная смесь в процессе 1-2,продукты сгорания топлива в процессах 3-4 и 4-0 являются идеальными газами со свойствами воздуха; все процессы обратимы; процесс предварительного сжатия 1-2 является политропным с постоянным показателем политропы; теплоёмкости веществ, осуществляющих цикл постоянны на всём интервале температур цикла; вся теплота, отводимая в процессе 4-0 в цикле, передаётся циклу Ренкина.

Допущения для цикла Ренкина: перегретый пар в цикле Ренкина является идеальным газом; связь параметров в области влажного пара определяется зависимостями для идеального рабочего тела; вся теплота, полученная от цикла Отто, подводится в процессах 1-2-3-4; T_4 - максимальная температура в цикле Ренкина после перегрева пара принимается равной температуре продуктов сгорания в цикле Отто после их адиабатного расширения, но при соблюдении условия, что адиабатное расширение в цикле Ренкина 4-5-6 должно заканчиваться в области влажного пара; все процессы в цикле обратимы; теплоёмкости веществ, осуществляющих цикл постоянны на всём интервале температур цикла.

Расчётные уравнения математической модели рассматриваемого идеального рабочего процесса комбинированного ДВС представим в соответствии с последовательностью рабочих процессов в рассматриваемом цикле.

Цикл Отто.

Процесс 1-2 (политропное предварительное сжатие топливо – воздушной смеси)

$$T_2 = T_1 \beta_{12}^{\frac{n_{12}-1}{n_{12}}},$$

$$p_2 = p_1 \cdot \beta_{12},$$

$$v_2 = 287 \cdot \frac{T_2}{p_2}$$

Процесс 2-3 (изохорный подвод тепла за счёт сгорания топлива в воздушной среде)

$$T_3 = T_2 + \frac{q}{c_v},$$

$$p_3 = p_2 \frac{T}{T_2},$$

$$v_3 = 287 \cdot \frac{T_3}{p_3}$$

Процесс 3-4 (адиабатное расширение продуктов сгорания)

$$p_4 = p_0,$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

$$v_4 = 287 \cdot \frac{T_4}{p_4}$$

Процесс 4 – 1 (изобарный псевдопроцесс вытеснения расширенных продуктов сгорания в атмосферу)

Определение работы в рассмотренных процессах.

$$l_{12} = 287 \frac{T_1}{n_{12} - 1} \left(\beta_{12}^{\frac{n_{12}-1}{n_{12}}} - 1 \right),$$

$$l_{34} = c_v (T_3 - T_4),$$

$$l_{40} = 287 (T_4 - T_1)$$

Работа сжатия в цикле $l_c = l_{12} + l_{41}$

Работа расширения в цикле $l_p = l_{34}$

Работа цикла $l_{ДВС} = l_p - l_c$

КПД цикла $\eta_{ДВС} = \frac{l_{ДВС}}{q}$

Зависимость температуры кипения от давления для цикла Ренкина

$$T = T_0 + (T_{кр} - T_0) \frac{\ln \frac{p}{p_0}}{\ln \frac{p_{кр}}{p_0}}$$

где T_0 - температура окружающее среды ($T_0 = 273$ K); $T_{кр}$ - критическая температура, К; p_0 - давление кипения (конденсации), соответствующее $T_0 = 273$ K, Па; $p_{кр}$ - критическое давление, Па.

Уравнение кривой насыщения (зависимость температуры точек кривой насыщения *T* от удельной энтропии *s*, $s = 0$ считается для жидкости при T_0).

$$T = -\frac{4 \cdot T_0^2 (T_{кр} - T_0)}{r_0^2} s^2 + \frac{4 \cdot T_0 (T_{кр} - T_0)}{r_0} s + T_0$$

r_0 - удельная теплота парообразования, соответствующая $T_0 = 273$ K, $\frac{Дж}{кг}$

Зависимость удельной теплоты парообразования от давления

$$r = r_0\left(T_0 + \left(T_{кр} - T_0\right)\frac{\ln\frac{p}{p_0}}{\ln\frac{p_{кр}}{p_0}}\right)\sqrt{\frac{\ln\frac{p_{кр}}{p}}{\ln\frac{p_{кр}}{p_0}}}.$$

Удельная энтропия на линии насыщенного пара

$$s = \frac{r_0}{2T_0}\left(1 + \sqrt{\frac{\ln\frac{p_{кр}}{p}}{\ln\frac{p_{кр}}{p_0}}}\right).$$

Удельная энтальпия в области перегретого пара определяется выражением
$h = r_0 + c_р\left(T - T_0\right)$,

где c_p - удельная массовая изобарная теплоёмкость, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$

Масса вещества, реализующего цикл Ренкина

$$m = \frac{q_{Рен}}{r + c_р\left(T_4 - T\right) + c_ж\left(T - T_0\right)},$$

где $q_{Рен}$ - теплота, подведённая к циклу Ренкина, Дж; r – удельная теплота парообразования, соответствующая рабочей температуре T; $c_ж$ - удельная теплоёмкость жидкости, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$; T_4 - максимальная температура в цикле Ренкина после перегрева пара (принимается равной температуре продуктов сгорания в цикле Отто после их адиабатного расширения, но при соблюдении условия, что адиабатное расширение в цикле Ренкина 4-5-6 должно заканчиваться в области влажного пара)

Для определения температуры в точке 5 T_5 сначала определяется энтропия в $s_5 = s_4$ по формуле $s_5 = s_4 = s_3 + \Delta s_{3-4}$,

где $s_3 = \frac{r_0}{2T_0}\left(1 + \sqrt{\frac{\ln\frac{p_{кр}}{p}}{\ln\frac{p_{кр}}{p_0}}}\right)$;

$$\Delta s_{3-4} = c_р \ln\frac{T_4}{T}$$

Затем по энтропии s_5 находится температура T_5

$$T_5 = -\frac{4 \cdot T_0^2\left(T_{кр} - T_0\right)}{r_0^2}s_5^2 + \frac{4 \cdot T_0\left(T_{кр} - T_0\right)}{r_0}s_5 + T_0.$$

Степень сухости в точке 6 находим для изобары p_0 по формуле

$$x = \frac{s_5 - s_0}{s_7 - s_0} = \frac{s_5 \cdot T_0}{r_0},$$

с учётом того, что $s_0 = 0$, а $s_7 = \frac{r_0}{T_0}$ как энтропия насыщенного пара для изобары p_0.

Определение работы в цикле Ренкина определяется по следующим соотношениям:
работа в процессе нагрева 1-2-3

$l_{1-2-3} = p(v_3 - v_ж)$, где $v_3 = R\frac{T}{p}$, R - газовая постоянная используемого рабочего вещества;

работа в процессе перегрева 3-4

$l_{3-4} = R(T_4 - T)$;

работа в процессе расширения в области перегретого пара

$l_{4-5} = \frac{R}{k-1}(T_4 - T_5)$;

работа в процессе расширения в области влажного пара

$l_{5-6} = u_5 - u_6 = (h''_5 - p_5 v_5) - (h_6 - p_0 v_6)$

Учитывая, что $p_5 v_5 = RT_5$,

$h_6 = h_0(1-x) + h_7 x$,

$v_6 = v_ж(1-x) + v_7 x$,

$h_0 = 0$,

$h_7 = r_0$,

а h''_5 определяется выражением

$h''_5 = r_0 + c_p(T_5 - T_0)$,

получим

$l_{5-6} = r_0 + c_v T_5 - c_p T_0 + p_0 v_ж - (r_0 - p_0[v_7 - v_ж])x$ при этом значение v_7 задаётся.

Работа в процессе конденсации 6-0

$l_{6-0} = p_0(v_6 - v_7)$;

работа насоса 0-1

$l_{0-1} = v_ж(p - p_0)$;

работа расширения в цикле Ренкина

$l_{рРен} = l_{1-2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-6}$;

работа сжатия в цикле Ренкина

$l_{сРен} = l_{6\text{-}0} + l_н$;

работа цикла Ренкина

$l_{Рен} = l_{рРен} - l_{сРен}$;

КПД цикла Ренкина

$\eta_{Рен} = \frac{l_{Рен}}{q_{Рен}}$;

КПД бинарного цикла $\eta_{бин} = \frac{l_{ДВС} + l_{Рен} \cdot m}{q} = \frac{q \cdot \eta_{ДВС} + q_{Рен} \cdot \eta_{Рен}}{q}$,

или

$$\eta_{бин} = \frac{q \cdot \eta_{ДВС} + q(1 - \eta_{ДВС}) \cdot \eta_{Рен}}{q}.$$

Отсюда

$$\eta_{бин} = \eta_{ДВС} + (1 - \eta_{ДВС})\eta_{Рен}$$

Расчёт рассматриваемого цикла комбинированного ДВС производился при следующих условиях однозначности: $p_0 = 10^5$ Па; $T_0=T_{ж0}$ =273 К; ε_{12}=15. Теплофизические свойства рабочего тела в контуре утилизации соответствовали свойствам рассматриваемых теплоносителей.

Как показали полученные результаты, по сравнению с рассмотренным выше циклом комбинированного ДВС с парогазовым рабочим телом, внешняя утилизация теплоты сжатия и выхлопных газов в рекуперативном теплообменнике с последующим возвратом энергии на вал силовой установки не влияет на теплонапряжённость в рабочей камере ДВС, однако позволяет существенно повысить экономичность комбинированной силовой. Для рассмотренных типов теплоносителей КПД теоретического цикла составил 0,77–0,95 (таблица 1), что в 1,05 – 1,3 раза выше, чем в ДВС с парогазовым рабочим телом. Среди рассмотренных теплоносителей наиболее экономичный термодинамический цикл обеспечивается при использовании в утилизационном контуре в качестве теплоносителя воды, этилового спирта, хладона R23. У этих веществ по сравнению с остальными рассмотренными теплоносителями КПД оказался выше на 5 – 15%. Очевидно, что полученные результаты применимы для любых типов теплоэнергетических установок, в которых конструктивно может быть

теплоносителя, заправочная масса теплоносителя и его объёмный расход в цикле. От этих факторов зависят конструкция, весовые и габаритные параметры расширительной машины и рекуперативных утилизационных теплообменников. Это особенно актуально для мобильных силовых и теплоэнергетических установок.

Следует отметить, что для решения конструкторско-проектировочных задач определяющими показателями являются также такие параметры, как рабочие давления в цикле реализована внешняя система утилизации тепловых потерь. Как следует из таблицы 1, водяной пар и пары этилового спирта имеют недопустимо большие удельный объём и заправочную массу, требующие применения крупногабаритных расширительной машины и теплообменников. Кроме того, для них требуется система вакумирования в области низкого давления, что усложняет конструкцию установки в целом. Для хладона, например, R23 эти проблемы не возникают. Кроме того, имеется целый ряд веществ, которые обеспечиваю величину КПД цикла лишь на 5 – 18% ниже, чем у рассмотренных выше (пропан, хладоны R12, R22, R134a, R404a, R707 и др.), имея при этом вполне приемлемые для практической реализации удельный объём, заправочную массу и рабочие давления. Окончательный выбор вещества теплоносителя для внешнего утилизационного контура определяется и другими факторами: химической стабильностью, рыночной ценой теплоносителя, его коррозионной активностью по отношению к конструкционным материалам, токсичностью, пожаровзрывобезопасностью, требуемыми условиями транспортировки и хранения и т.п.

Таблица 1. **Характерные точки цикла Ренкина и характеристики бинарного цикла для различных теплоносителей утилизационного контура**

	$T_0=T_1=T_6$, К	$T_2=T_3$,, К	T_4, К	η	m, кг	V, м^3	L, Дж
R12	273	381	381	0.837	5.914	0.359	$2.43*10^6$
R22		365	382	0.847	6.353	0.335	$2.47*10^6$

R23		297	301	0.906	14.509	0.189	$2.63*10^6$
R125		336	413	0.79	7.964	0.0225	$2.29*10^6$
R134a		371	438	0.829	5.24	0.398	$2.40*10^6$
R404a		341	423	0.803	6.457	0.238	$2.33*10^6$
H_2O		643	1000	0.947	0.083	17.341	$2.75*10^6$
Пропан		366	438	0.836	2.938	0.321	$2.42*10^6$
Этан		302	316	0.85	5.455	0.172	$2.26*10^6$
Эфир		461	870	0.779	1.67	0.958	$2.47*10^6$
Этил		512	693	0.923	1.122	8.3	$2.68*10^6$
R707		401	565	0.899	0.905	0.275	$2.61*10^6$

Литература

[1] Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.

[2] *Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей* / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 375 с.

[3] *Двигатели внутреннего сгорания:* в 3 кн. – М.: Высш. шк., 2007. –Кн. 1: Теория рабочих процессов. – 479 с.

[4] *Теплотехника* / А.М Архаров, И.А. Архаров, В.Н. Афанасьев и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 712 с.

[5] Селивёрстов В.М. *Утилизация тепла в судовых дизельных установках* – Л.: Изд-во Судостроение, 1973. – 342 с.

[6] Юша В.Л., Чернов Г.И. *Анализ эффективности идеального термодинамического цикла комбинированного двигателя внутреннего сгорания с парогазовым рабочим телом* // Омский научный вестник. – 2009. – №3(83). – С. 154 – 158.

[7] *Теплопередача в двухфазном потоке* / под. ред. Д.Баттерворса, Г. Хьюитта. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.

[8] Амелин А.Г. *Теоретические основы образования тумана при конденсации пара*. – М.: Химия, 1966. – 296 с.

[9] Кириллов И.И., Яблоник Р.М. *Основы теории влажнопаровых турбин.* – М.: Машиностроение, 1968. – 264 с.

[10] Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. *Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара*. – М.: Изд-во стандартов, 1969. 408 с.

ЮША Владимир Леонидович, д.т.н., заведующий кафедрой «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета;

ЧЕРНОВ Герман Игоревич, к.т.н., доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета.

РАЙКОВСКИЙ Николай Анатольевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета

**Este recomandată de colegiy de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Шnternaționale „Energetica Moldovei-2012” Aspecte regionale de dezvoltare. Ediția a II-a.*

УДК 536.248.2:532.529.5

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

А.В. Дорошенко, А.Р. Антонова
Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики
Одесской национальной академии пищевых технологий

Аннотация. Разработаны принципиальные схемы многофункциональных солнечных систем (осушения воздуха, теплоснабжения (горячего водоснабжения и отопления), хладоснабжения и кондиционирования воздуха) на основе открытого абсорбционного цикла с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента. Разработаны основные принципиальные решения для нового поколения газожидкостных солнечных коллекторов. Выполнен предварительный анализ возможностей многофункциональных систем этого типа.
Ключевые слова: многофункциональные системы, солнечная энергия, солнечные коллекторы, регенерация, пленочные течения.

SISTEMELE SOLARE MULTIFUNCȚIONALE PE BAZA COLECTOARELOR SOLARE DE TIP "GAZ - LICHID"

Doroşenko A.V., Antonova A.R.
Institutul de Învăţământ şi de Cercetări de regrigerare, criotehnologii şi ecoenergeticii al Academiei Naţionale de tehnologii alimentare din Odesa

Rezumat. Sunt elaborate schemele principale ale sistemelor multifuncționale solare (desecare de aer, aprovizionare cu căldură, şi apă caldă, climatizare) pe bază ciclului deschis de absorbție cu regenerare directă de absorbent. Sunt elaborate soluțiile tehnice principale pentru generație nouă a colectoarelor solare de tip „gaz-lichid". S-a efectuată analiza prealabilă a posibilităților ale sistemelor multifuncționale de acest tip.
Cuvinte-cheie: sistemele multifuncționale, energie solară, colectoare solare, regenerare, curgeri peliculare.

MULTIFUNCTIONAL ENERGY SYSTEMS ON THE BASIS OF GAS-LIQUID SOLAR COLLECTORS

Doroshenko A.V., Antonova A.R.
Educational and Research Institute Refrigeration, Criotehnology and Eco-Energy
Odessa National Academy of Food Technologies

Abstract. The basic circuits of multifunctional solar systems of drainage of air, heating (hot water supply and heating), cooling and air conditioning are developed on the basis of open absorption cycle with direct absorbent regeneration. The basic solutions for new generation of gas-liquid solar collectors are developed.
Keywords: multifunctional systems, solar energy, solar collectors, regeneration, film flow.

I. Введение

Солнечные системы осушительно-испарительного типа на основе открытого абсорбционного цикла разрабатываются как с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента, так и с непрямой регенерацией [1, 2]. Прямая регенерация абсорбента позволяет снизить температурный уровень регенерации до температур, не превышающих 70^0C, что обеспечивает возможность построения солнечных систем на основе плоских солнечных газо-жидкостных коллекторов-регенераторов и устраняет необходимость в десорбере традиционного типа и солнечной водонагревательной системе.

II. Принципы построения систем с прямой солнечной регенерацией абсорбента

Основные варианты солнечных систем с прямой регенерацией абсорбента представлены на рис. 1 и 2. В состав системы входит газо-жидкостной солнечный

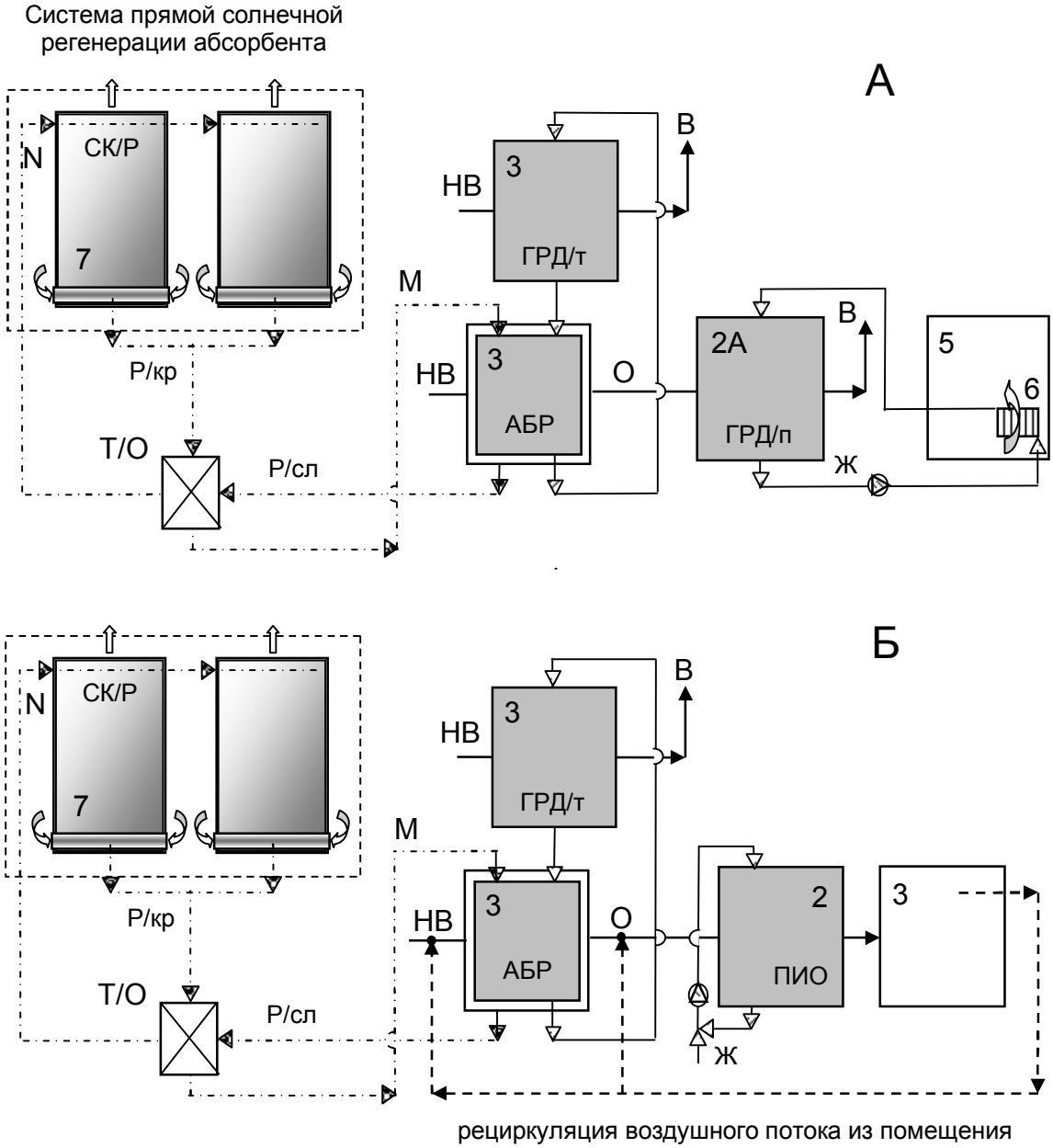


Рис. 1. Принцип построения осушительно-испарительных многофункциональных систем с использованием солнечной энергии для восстановления абсорбента.

А и Б – испарительные охладители воды (градирни) в автономном использовании.

Обозначения: 1 – солнечная система регенерации абсорбента ССРГ; 2 – солнечный коллектор-регенератор СК/Р; 3 – испарительный охладитель воздуха прямого типа; 4 – испарительный охладитель воды: ГРД – градирня; 5 – абсорбер-осушитель АБР; 6 – помещение; 7 – водо-воздушный теплообменник; НВ – наружный воздух; О – осушенный воздух; В – выброс; РА – раствор абсорбента; Ж – вода

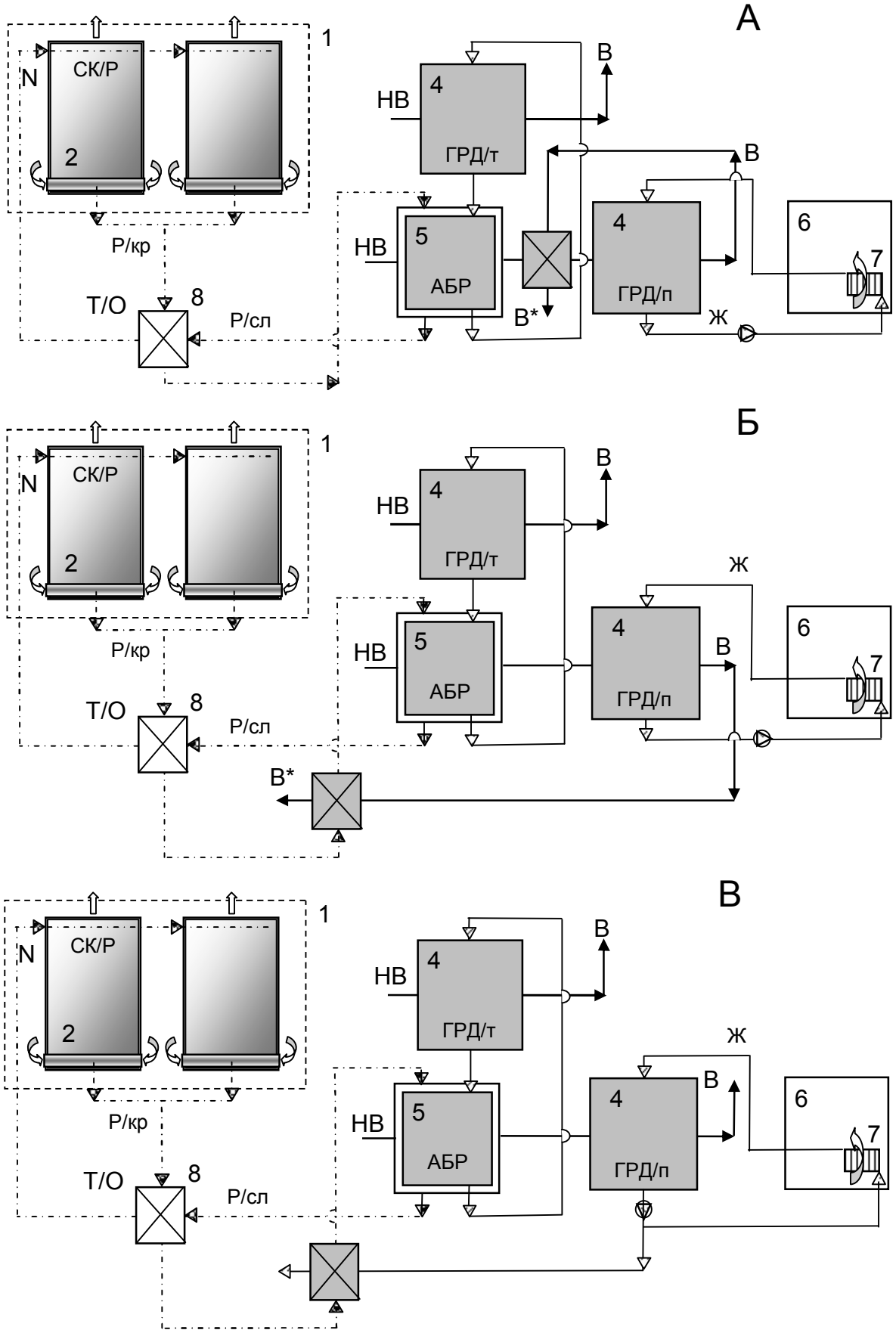


Рис. 2. Принцип построения осушительно-испарительных многофункциональных СХС. Обозначения по рис. 1

коллектор с гравитационным течением жидкостной пленки, обеспечивающий процесс восстановления абсорбента и поддержание непрерывности цикла. В охладительной части системы используются воздухоохладители (ПИО) либо водоохладители-градирни (ГРД) прямого типа.

Схема разработанного плоского солнечного газо-жидкостного коллектора СК/Р приведена на рис. 3. Этот коллектор является важнейшей частью системы регенерации (восстановления абсорбента) и представляет собой, в отличие от всех известных преобразователей солнечной энергии, тепломассообменный аппарат, в котором движение воздушного потока обеспечивается солнечным разогревом (разностью плотностей воздуха на входе и выходе из СК/Р). Он включает теплоприемник (абсорбер, 2), прозрачное покрытие (1, ПП) с воздушным зазором между ПП и теплоприемником (каналом, по которому движется воздушный поток), и теплоизоляцию дна (3). Прозрачное покрытие для снижения тепловых потерь может выполняться многослойным, а также включать замкнутые каналы.

Теплоприемник СК/Р имеет U-образную форму (рис. 3), выполнен из алюминиевого листа с черновым покрытием поверхности и обеспечивает одновременный прогрев как самого воздушного потока, так и абсорбента, стекающего в виде тонкой пленки ко «дну» теплоприемника U-образной формы под воздействием сил гравитации. Дно теплоприемника, для повышения смачиваемости поверхности, может выполняться с капиллярно-пористым покрытием, с регулярной шероховатостью поверхности, либо профилированным. Нагрев воздушного потока обеспечивает его движение через воздушный канал СК/Р; нагрев абсорбента обеспечивает необходимые условия для реализации процесса десорбции (удаления водяных паров из раствора, диффузии паров в воздушный поток и выноса водяных паров в окружающую среду). Варианты коллектора-регенератора могут выполняться в обычном и вентилируемом исполнении. Для организации движения воздуха используются малонапорные вентиляторы тангенциального типа. Особенности пленочных течений жидкостной пленки абсорбента ранее рассмотрены авторами в работе [3].

Солнечный коллектор-регенератор, как и обычный СК, ориентирован на юг, может устанавливаться вертикально, или под определенным углом наклона к горизонтальной поверхности для максимального приема солнечной энергии, с учетом характера системы: $\beta = \varphi$ для круглогодичных гелиосистем и $\beta = \varphi - 15°$ для сезонных гелиосистем (период эксплуатации апрель – октябрь). Уточнение величины этого угла, необходимое для максимального улавливания падающей на поверхность СК/Р солнечной энергии, приведено в работе [1].

На основании многолетнего опыта, накопленного в ОГАХ, по разработке, производству и эксплуатации ТМА различного назначения, в частности, для реализации процессов испарительного охлаждения сред [3], авторами был выбран, в качестве основного универсального решения для всех ТМА систем, пленочный тип аппарата, обеспечивающий раздельное движение потоков газа и жидкости при малом аэродинамическом сопротивлении и поперечноточная схема контактирования потоков газа и жидкости, как наиболее приемлемая в случае необходимости совместной компоновки многочисленных ТМА и Т/О в едином блоке аппаратуры. Поперечноточная схема обеспечивает меньшее количество поворотов потоков и меньшую величину аэродинамического сопротивления Δp, в сравнении с противоточной схемой контактирования, поскольку для поперечного тока характерны более высокие значения предельных скоростей движения газового потока в каналах насадки ТМА. Ранее в ОГАХ [1, 4] изучались проблемы устойчивости течений газо-жидкостной системы, выноса капель жидкости газовым потоком из рабочей зоны и др. Новым в настоящем исследовании является использование полимерных материалов для

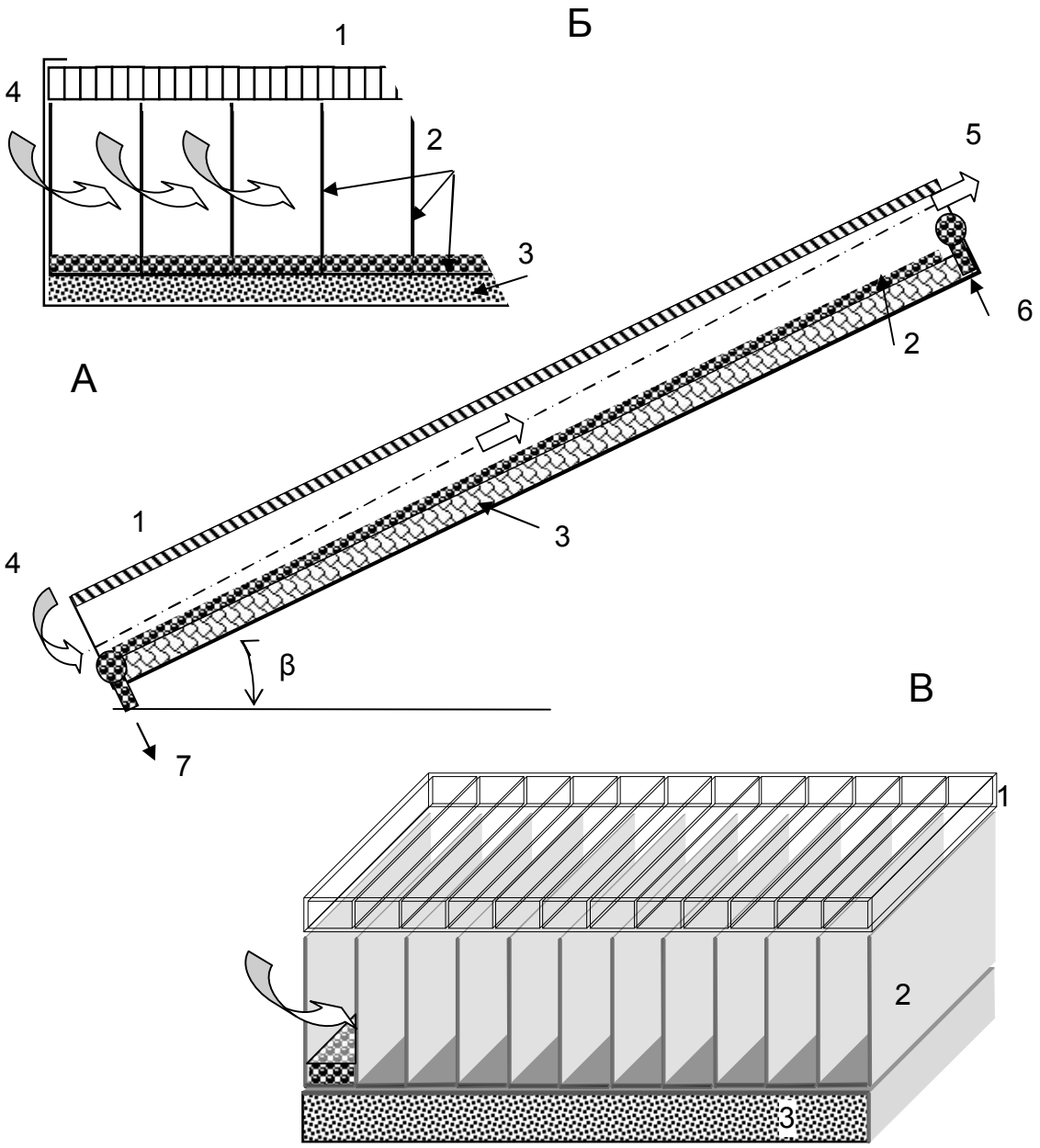


Рис. 3. Конструктивное оформление солнечного газо-жидкостного коллектора с гравитационным течением жидкостной пленки в варианте солнечного коллектора-регенератора абсорбента СК/Р.
А – СК/Р; Б, В – поперечные разрезы СК/Р.
Обозначения: 1 – прозрачное покрытие; 2 – элементы (секции) теплоприемника (абсорбера); 3 – теплоизоляция; 4, 5 – воздушный поток; 6, 7 – абсорбент, слабый и крепкий раствор, соответственно

организации насадочного слоя ТМА. Насадка пленочных поперечноточных ТМА образована вертикально установленными элементами, в виде многоканальных плит из тонкостенного поликарбоната. Плиты установлены эквидистантно друг другу и их каналы расположены вертикально. Между элементами насадки, поперечноточно стекающей жидкостной пленке, движется воздушный поток и реализуется процесс тепломассообмена.

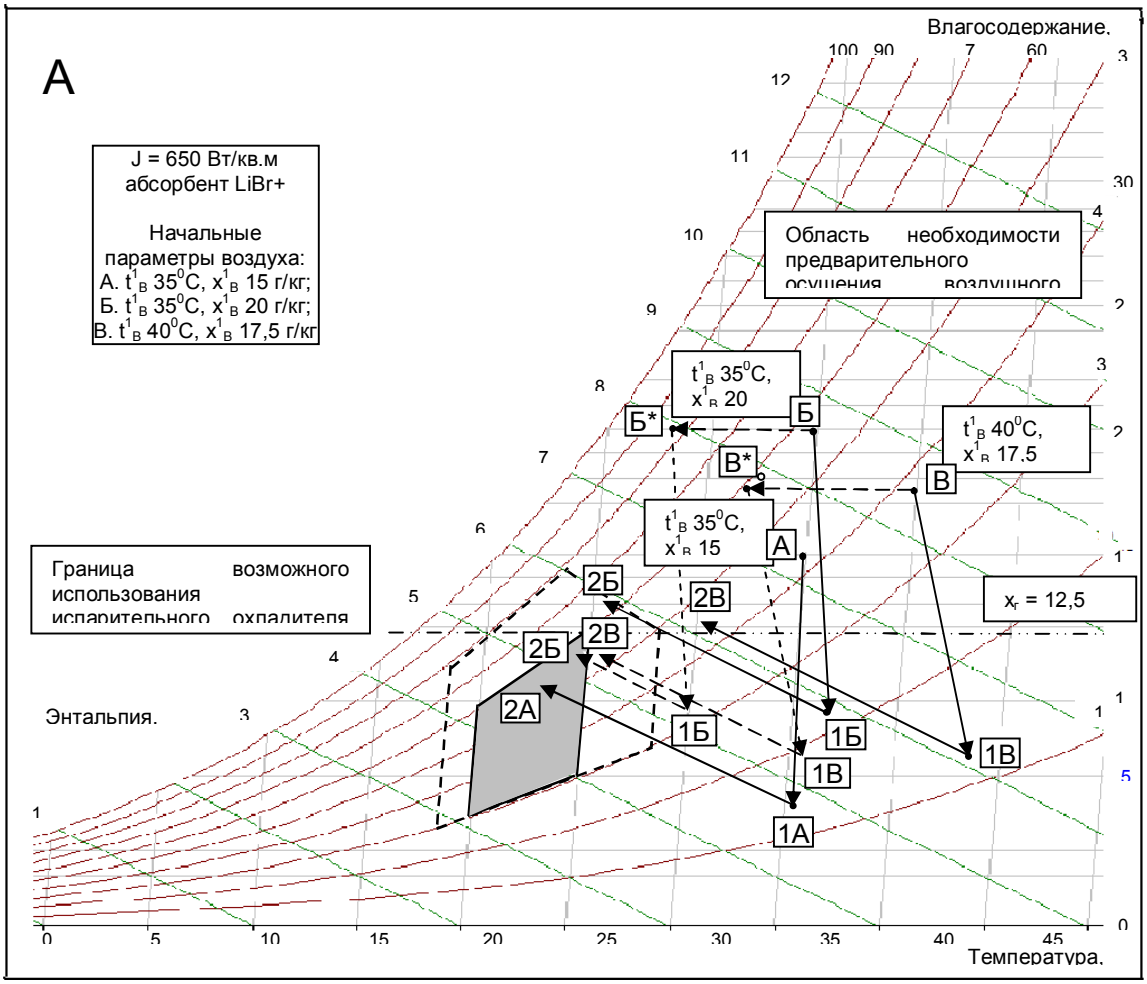
Оптимальные значения плотности слоя насадки (расстояние между листами в элементе насадки и между элементами в слое насадки, а также габаритов насадки) были определены в рамках теоретического и экспериментального изучения проблемы устойчивости пленочных двухфазных течений и составляют: эквивалентный диаметр каналов насадки – 15-20 мм; значения величин эквивалентных диаметров для многоканальной плиты и межканального пространства (канал между элементами, в котором реализуется процесс тепломассообмена) одинаковы и могут варьироваться в зависимости от принятого соотношения контактирующих потоков. Конструктивное оформление всех ТМА, входящих в разрабатываемые альтернативные системы унифицировано (абсорбер АБР, градирня ГРД и испарительный охладитель прямого типа ПИО). Проблемы, свойственные пленочным теплообменным аппаратам, были рассмотрены с учетом реального характера пленочных течений по вертикальным поверхностям. Эти вопросы специально изучались авторами работ, выполненных в ОГАХ ранее [4], включая вопросы устойчивости пленочного течения при взаимодействии ламинарно-волновой пленки жидкости и турбулентного газового потока, толщины жидкостной пленки и др. применительно к тепломассообменным аппаратам, входящим в состав альтернативных систем ССКВ.

III. Анализ возможностей разработанных многофункциональных систем

На рис. 4 на Н-Т диаграмме влажного воздуха приведен общий анализ принципиальных возможностей разработанной ССКВ для случаев, когда $x_g^1 > 13$ г/кг (для континентального климата характерна именно эта ситуация). В расчетах использовался преимущественно абсорбент LiBr+ и только в особо оговоренных случаях раствор LiBr++ (при концентрации ξ = 70%) [1, 2]. Протекание процессов в ССКВ показано диаграмме на примере характерных точек с указанными расчетными параметрами: точка А: t_g = 35 С, x_g = 15 г/кг; точка Б: t_g = 35 °С, x_g = 20 г/кг; точка В: t_g = 40 °С, x_g = 17.5 г/кг. Рабочая концентрация раствора LiBr+ изменяется в пределах 51-60%.

На диаграмме показаны процессы осушения воздуха в абсорбере и последующего испарительного охлаждения воздуха в воздухоохладителе прямого типа ПИО. Видно, что необходимость в теплообменнике на входе наружного воздуха в блок охлаждения возникает только при очень высоких начальных температурах воздуха (t_g > 40 °С, точка В), либо высоком влагосодержании воздуха (x_g = 20 г/кг, точка Б). Использование потенциала рециркуляционного воздушного потока, покидающего кондиционируемое помещение, вполне обеспечивает получение требуемых комфортных параметров воздуха.

Альтернативная солнечная система кондиционирования воздуха способна обеспечить получение комфортных параметров воздуха для любых климатических условий земного шара. В сравнении с традиционными парокомпрессионными системами кондиционирования воздуха альтернативная система ССКВ обеспечивает значительное снижение энергозатрат (на 30-60%), что подтверждается немногочисленными данными эксплуатации аналогичных установок [1, 2, 4, 5] в мире.



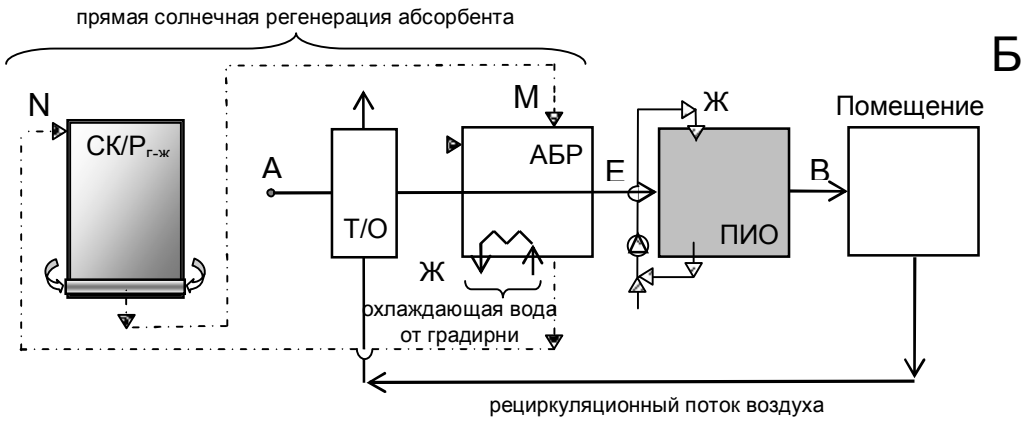


Рис. 4. Принципиальные возможности разработанных солнечных систем кондиционирования воздуха ССКВ на основе открытого абсорбционного цикла с прямой солнечной регенерацией абсорбента (схема по рис. 1Б с использованием рециркуляционного воздушного потока).

Обозначения: А-1А (Б-1Б, В-1В) – процесс осушения воздуха в абсорбере; 1-2а – процесс адиабатический; 1А-2А (1Б-2Б, 1В-2В) – процесс испарительного охлаждения воздуха в ПИО; В-В* (Б-Б*) – процесс охлаждения наружного воздуха перед абсорбером в теплообменнике

Для обеспечения собственных нужд системы в электроэнергии (насосы, вентиляторы) может использоваться солнечная энергия от фотоэнергетических станций. В этом случае решение полностью замкнуто на возобновляемые, экологически чистые источники энергии.

Выводы

1. Солнечная система с прямой (непосредственной) регенерацией абсорбента позволяет снизить энергозатраты, в сравнении с традиционными парокомпрессионными системами, поскольку здесь традиционный десорбер и солнечная система нагрева теплоносителя заменяется солнечным регенератором абсорбента. Это повышает автономность системы и позволяет создать солнечную многофункциональную систему жизнеобеспечения.
2. Разработаны солнечные коллекторы-регенераторы СК/Р для ССКВ, обеспечивающие восстановление концентрации абсорбента и поддержание непрерывности цикла только на основе солнечной энергии, обеспечивающей как необходимый подвод тепла, так и движение воздушного потока над поверхностью абсорбента, стекающего в виде жидкостной пленки по внутренней поверхности теплоприемника СК/Р.
3. Разработанная солнечная система вполне решает задачу обеспечения параметров комфортности при внешних параметрах наружного воздуха, характерных для европейского климата.

Литература:

1. А.Н. Горин, А.В. Дорошенко. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика), – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 с.
2. Alexander V. Doroshenko, Leonid P. Kholpanov, Yury P. Kvurt, Alternative Refrigerating, Heat-Pumping and Air-Conditioning Systems on the Basis of the Open Absorption Cycle and Solar Energy. USA. Nova Science Publishers, Inc., 2009. – 210 p.
3. А.В. Дорошенко, А.Р. Антонова, В.Х. Кириллов. Особенности пленочных течений в газожидкостных коллекторах-регенераторах солнечных абсорбционных систем / Холодильная техника и технология. – 2009. - №5 (121). – С. 41-49.
4. Gandhidasan, P. Performance analysis of an open liquid desiccant cooling system using solar energy for regeneration. Int. J. Refrig., vol. 17, no. 7, 1994. - P. 475-480.
5. Koltun, P. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21^{h} International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003. P. 45-57

Сведения об авторах:
Дорошенко Александр Викторович, профессор, доктор технических наук Одесской государственной академии холода. Область научных интересов: тепломассообмен, гидроаэродинамика, двухфазные потоки, альтернативная энергетика, холодильная и криогенная техника, e-mail: aldor@paco.net.
Антонова Альфия Раисовна, старший преподаватель кафедры информационных технологий Одесской государственной академии холода. Область научных интересов: тепломассообмен, гидроаэродинамика, двухфазные потоки, альтернативная энергетика, математическое моделирование, e-mail: abantonova@i.ua

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ В СОСТАВЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА, часть I

Шит М.Л., Шит Б.М.
Институт Энергетики АН Молдовы

Аннотация. Разработана схема теплового насоса, встроенного в пастеризационно-охладительную установку для молока. Рассмотрена схема системы управления газоохладителем теплового насоса. Представлены способы автономного управления газоохладителем и испарителей теплового насоса.
Ключевые слова: тепловой насос, пастеризационно-охладительная установка, молоко, термодинамический цикл, диоксид углерода, система управления.

SISTEMUL DE DIRIJARE AUTOMATĂ A POMPEI DE CĂLDURĂ ÎN COMPONENȚA INSTALAȚIEI DE PASTEURIZARE-RĂCIRE A LAPTELUI, partea I

Şit M.L., Şit B.M.
Institutul de Energetică a Academiei de Ştiinţe a Moldovei

Rezumat. Este elaborată schema pompei de căldură încorporată în instalația de pasteurizare-răcire a laptelui. Este prezentată schema sistemului de dirijare a răcitorului de gaze al pompei de căldură. Sunt demonstrate modalitățile de dirijare autonomă a racitorului de gaze şi a evaporatoarelor pompei de căldură.
Cuvinte-cheie: sistem de dirijare, dioxid de carbon, pompa de căldură.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR HEAT PUMP EMBEDDED IN INSTALLATION FOR PASTEURIZATION AND COOLING OF MILK, part I

Sit M.L., Sit B.M.
Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract. A heat pump scheme embedded into the installation for pasteurization and cooling of milk products is developed. A scheme of gas cooler automatic control system is considered. Methods of autonomous control of heat pump gas cooler and evaporators are presented as well.
Keywords: heat pump, installation for pasteurization and cooling, dairy products, thermodynamic cycle, carbon dioxide, automatic control system.

Условные обозначения	
t_{in}	температура хладагента на входе в компрессор, ^oC
t_{out}	температура хладагента на выходе из компрессора, ^oC
p_{in}	давление на входе в компрессор, МПа
p_{out}	давление на выходе в компрессор, МПа
η_{is}	изоэнтропический КПД компрессора
M_{wl}	масса 1 м. стенки, кг/м
M_L	масса жидкости, приведенная к 1 м потока, кг/м
c_{wl}	удельная теплоемкость стенки
c_{pl}	удельная теплоемкость жидкости
F_1	внутренняя поверхность теплообмена
F_2	наружная поверхность теплообмена
α_1	коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубы
α_2	коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности трубы
F	площадь поверхности

g	удельная масса вещества, кг/м
G	расход, кг/с
Подстрочные индексы обозначают: B, H, M - внутренний и наружный поток и металлическая стенка, 0 - исходный стационарный режим, 1 - вход в теплообменник,	

1. Введение

В данной работе рассматриваются варианты схем регулирования режимов теплонасосных установок (ТНУ), описанных в [1]. Также показано, как обеспечить автономность контуров регулирования температур пастеризации и охлаждения молока. Известен ряд работ по системам управления теплонасосными установками, предназначенными для отопления зданий и получения горячей воды [5, 13-15]. В последних работах по системам управлению ТНУ [5] предлагается использовать методологию линейного квадратичного управления (LQC) в паре с наблюдателями состояния и фильтрами Калмана. Нами рассматривается возможность использования систем с ПИД- регуляторами в каскадной САУ. Проблема, возникающая при регулировании рассматриваемого типа установок заключается в необходимости обеспечения полезного использования теплоты и холода полученных при использовании установки. В данной статье рассмотрен вариант решения задачи, когда дополнительный холод, вырабатываемый установкой для пастеризации и охлаждения молока (ПОУ) используется максимально эффективно, например, для получения ледяной воды, которая необходима для охлаждения различных молочных продуктов, вырабатываемых предприятием.

2. **Схема пастеризационно-охладительной установки с тепловым насосом и ее температурный режим.**

Установка с двумя испарителями (рис.1) состоит из компрессора 1, газоохладителя 2, рекуперативного теплообменника рабочего тела 3, теплообменника дополнительного подогрева рабочего тела 4, регулирующих клапанов 5, 6, 7, 7а испарителей 8 и 9, 9а, эжектора 10, рекуперативного теплообменника на линии подачи холодного молока 11 и теплообменника подогрева воды для технологических нужд 12, отделителя жидкости, поз.15, аккумулятора жидкости перед компрессором, поз.14. Регулирующий клапан 13 служит для температурного регулирования режима работы теплообменника поз. 4.

Выдерживатель молока после пастеризации на схеме явно не показан и размещен между аппаратами 2 и 11. «Точечные» линии на рис. 1 обозначают трубопроводы горячей воды для технологических или санитарных нужд. Штрих - пунктирными линиями показаны трубопроводы подачи молока, линии черного цвета – трубопроводы хладагента. Числа черного цвета в кружках обозначают температуры сред, числа красного цвета - нумерацию аппаратов в соответствии со схемой, числа черного цвета – точки соответствия схемы ТНУ и схемы термодинамического цикла, линии синего цвета - трассы молока.

Схема работает следующим образом. Молоко поступает через рекуперативный теплообменник 11 на газоохладитель 2, где нагревается до 78°C. Далее молоко после теплообменника 11 поступает на теплообменник 4 (с целью стабилизации температуры хладагента после компрессора путем регулирования температуры хладагента перед компрессором), где охлаждается рабочим телом, подогревая его, и молоко поступает далее на теплообменник 12 и испарители 8 и 9, где охлаждается от 24°C до 4°C. Часть хладагента поступает на испарители 8а или 9а, которые вырабатывают дополнительный холод для стабилизации температуры воды, поступающей на теплообменник, поз.12 (использование испарителя 8а или 9а определяется исходной температурой входной

воды) и для охлаждения других продуктов (творог, кефир и т.д.), а подогретая до 50°С вода может использоваться для санитарной обработки помещения и других целей.
После теплообменника 11 можно получить (при расходе молока 2,78 л/с) до 300 кВт тепловой мощности для нагрева водопроводной воды. Теплообменник 12 должен быть выполнен с переменной поверхностью теплообмена. Регулирование расходов и давлений на испарителях выполнено в виде двух регуляторов - одного регулятора расхода и второго - регулятора давления [7,8]). В схеме установки по рис. 1 в теплообменнике, поз.4, производится дополнительный подогрев хладагента перед компрессором.
Для рассматриваемого варианта исходных данных

$$COP = \frac{h_5 - h_4}{h_3 - h_4} = \frac{227,295 + 10,748}{46,974 + 10,748} = 4,12$$

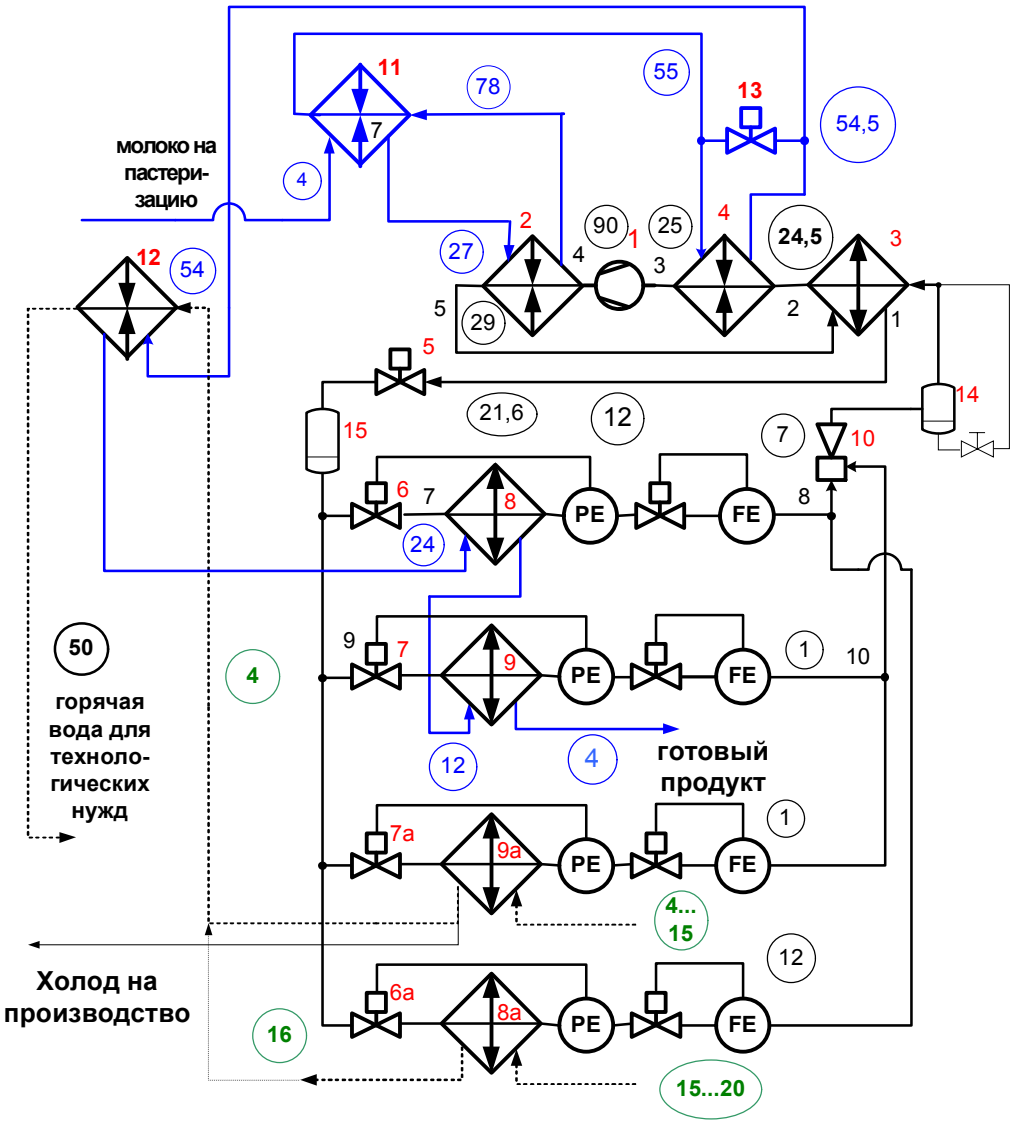


Рис. 1. Принципиальная схема теплового насоса, встроенного в пастеризационно-охладительную установку для молока

Термодинамический цикл работы установки в соответствии со схемой на рис.1 в H, p – диаграмме представлен на рис.2, а параметры узловых точек этого термодинамического

цикла сведены в табл. 1. Температура молока после газоохладителя зависит от расхода молока, расхода хладагента, режима работы компрессора, расходом газа через компрессор, температурой и давлением газа перед компрессором.

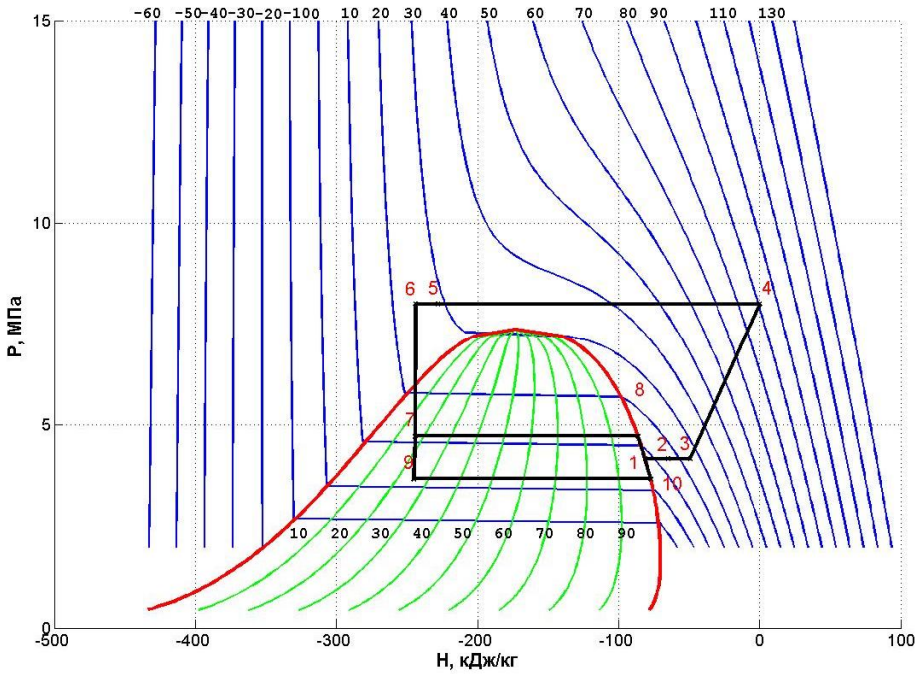


Рис. 2. Термодинамический цикл работы установки по схеме на рис.2

Таблица 1. Параметры узловых точек термодинамического цикла, на рис.3.

№ п/п	$T, ^oC$	$P, МПа$	$G, \%$	$H, кДж/кг$	$S, кДж/кг$
1	3,5	3,81	100,0	-78,192	-0.913
2	20,30	3,81	100,0	-50.081	-0,815
3	22,50	3,81	100,0	-46,974	-0,804
4	98,21	8,0	0,0	10.748	-0,741
5	29,1	8,0	0,0	-227,295	-1,482
6	21,56	8,0	0,0	-255,433	-1,576
7	12,0	4,72	10,73	-255,43	-1,561
8	12,0	4,72	100,0	-86,032	-0,967
9	1,0	3,57	21,57	-255,349	-1,552
10	1,0	3,57	100,0	-76,553	-0,899

3. Особенности системы автоматического управления установкой

Рассмотрим систему автоматического управления (САУ) газоохладителем (ГО) с регулируемым параметром - температурой продукта на выходе из ГО. Регулирующими воздействиями являются: температура хладагента на входе в компрессор 1, регулируемая посредством: воздействия на температуру на выходе теплообменника 4, изменения давления в испарителях 8, 9 и 9а. Предполагается, что расход хладагента стабилизируется, и поддерживается постоянное отношение расхода молока к расходу хладагента. Режим работы газоохладителя установки регулируется путем изменения

расхода молока через теплообменник, 4. Давление газоохладителя и испарителей регулируется по схемам, рассмотренным в [7,8].

Критерием качества работы системы стабилизации является требование нахождения в допуске температуры молока на выходе из газоохладителя. Система управления температурой газа перед газоохладителем является внутренним контуром каскадной системы управления стабилизации температуры молока после газоохладителя. Структурная схема рассматриваемой системы, с учетом сказанного выше, имеет вид:

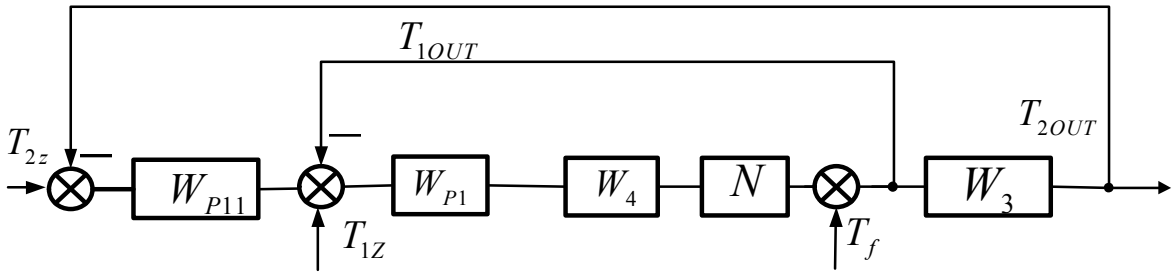


Рис. 3. Система регулирования температуры пастеризации

Предполагаем, что для каждой пары параметров хладагента (давление-температура) при заданном давлении на выходе компрессора и существующем изоэнтропическом КПД компрессора зависимость между температурой хладагента после компрессора имеет вид полинома с коэффициентами, определяемыми режимом работы установки.

$$T_{out} = T_{in} + k_1(T_{in}, p_{out}, p_{in}, \eta_{is}) \cdot (p_{out} - p_{in}) \tag{1}$$

Передаточная функция, описывающая динамику изменения температуры хладагента на выходе теплообменника, поз.4, в зависимости от расхода молока на входе в этот теплообменник имеет следующий вид (по аналогии с [7,8]):

$$W_4(p) = \frac{t_{4out}(p)}{G_{4in}(p)} = b(p)\left(1 - e^{-\frac{\tau}{a(p)}}\right). \tag{2}$$

Где:

$$a(p) = \frac{T_L\left(T_{wl}p + 1 + \chi\right)}{\left(T_L p + 1\right)\left(T_{wl}p + 1 + \chi\right) - \chi}; \tag{3}$$

$$b(p) = \frac{1}{T_L T_{wl} p^2 + \left(T_{wl} + \left(1 + \chi\right)T_L\right)p + 1}; \tag{4}$$

$$T_L = \frac{M_L c_{pL}}{F_1 \alpha_1}; \tag{5}$$

$$T_{wl} = \frac{M_{wl} c_{wl}}{F_2 \alpha_2}; \tag{6}$$

$$\chi = \frac{F_1 \alpha_1}{F_2 \alpha_2}; \tag{7}$$

Обозначим $T_{wl1} = {T_{wl}}/{1+\chi}$, $d1 = \dfrac{\tau\chi}{T_L\left(1+\chi\right)}$. (8)

$$e^{-\frac{\tau}{a(p)}} = e^{-\tau p} e^{-\frac{\tau}{T_L}} \left(1 + \frac{e-1}{T_{wl1}p+1}\right); \quad (9)$$

Где, $\tau = \dfrac{L}{v}$, v – средняя скорость хладагента, L – средняя длина пути хладагента в трубопроводе. Передаточная функция регулирующего клапана принимается в виде:

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1}; \quad (10)$$

Выбираем ПИД -регулятор как во внутреннем контуре, так и во внешнем контуре.

$$W(p) = k_p + \frac{k_i}{Tp} + T_d p; \quad (11)$$

Передаточная функция $W_3(p)$ вычисляется по методике, приведенной в [12].

$$W_3(p) = \frac{\varepsilon^* \xi^*}{c^*(p)};$$

$$c^*(p) = \xi^* T_M^* T_H^* p^2 + \left[\xi^*\left(T_M^* + T_H^*\right) + \left(1+\varepsilon^*\xi^*\right)T_M^*\right]p + \left(1+\varepsilon^*\xi^*\right);$$

$$T_M^* = \frac{T_M}{1+\varepsilon^*};$$

$$T_B^* = T_B\left(1+\varepsilon^*\right);$$

$$T_M = \frac{g_M c_M}{\alpha_B h_B}; T_B = \frac{g_B c_B}{\alpha_B h_B};$$

$$L_H = \frac{G_{Ho} c_H}{\alpha_{Ho} F_H}; \varepsilon = \frac{\alpha_{Ho} F_H}{\alpha_{Bo} F_B}; \varepsilon^* = \varepsilon L_H / \left(L_H + 1\right);$$

$$\xi^* = \varepsilon / \left(1+\varepsilon^*\right).$$

Такая схема САУ позволяет скомпенсировать возмущения по температуре хладагента, как за компрессором, так и перед компрессором. В системе используется обратная связь по температуре хладагента после компрессора, так и прямая связь по температуре и давлению хладагента перед компрессором. Система регулирования - каскадная (управляющее воздействие внутреннего контура - расход молока через теплообменник, поз.4, рис.1). После регулятора внешнего контура каскадной системы установлен функциональный преобразователь N, решающий в общем виде уравнение (1). В этом функциональном преобразователе по температурам и давлениям на выходе компрессора вычисляется его изоэнтропический КПД с тем, чтобы вычислить прогнозируемую температуру хладагента на выходе компрессора по температуре хладагента на входе в компрессор, давлениям хладагента на входе и выходе и изоэнтропическому КПД компрессора и другим параметрам (например, температуре обмоток электропривода компрессора и др.).

В системе также используется регулятор стабилизации расходов хладагента и молока, что позволяет устранить действие на объект управления возмущений этих параметров. Система стабилизации давлений газоохладителя и испарителей аналогична приведенной в работах [7,8].

Таблица 1. Обозначения на рис.3

$W_4(p)$	Передаточная функция теплообменника, поз.4, см. рис. 1, по каналу "расход жидкости (молоко) в первичной цепи (вход), температура хладагента на выходе вторичной цепи (выход)".
N	Зависимость температуры хладагента на выходе из компрессора, как функции от изоэнтропического КПД, температуры хладагента перед компрессором и давлений до и после компрессора.
$W_3(p)$	Передаточная функция газоохладителя по каналу «температура продукта на выходе из газоохладителя» – «температура хладагента на входе в газоохладитель».
$W_{P1}(p)$	Передаточная функция регулятора контура стабилизации температуры хладагента внутреннего контура каскадной системы (рис.3).
W_{P11}	Передаточная функция регулятора главного контура каскадной системы.
T_{1z}	Задание по температуре продукта на выходе из газоохладителя.
T_{1out}	Температура продукта на выходе из газоохладителя.
T_{2z}	Задание по температуре пастеризации молока.
T_{2OUT}	Температура молока на выходе газоохладителя.
T_f	Возмущающие воздействия по температуре на выходе из компрессора.

В связи с необходимостью управления установкой при различных температурах сетевой воды, возникает задача согласования теплообменника для охлаждения молока с температурой сетевой воды. При температуре сетевой воды меньшей $t = 8^oC$ в схеме установки должен быть предусмотрен один испаритель, работающий при уровне температуры хладагента 1^oC. При этом можно получить температуру горячей воды около $t = 38^oC$. При более высоких температурах воды необходимо использовать два испарителя, один из которых работает при температуре хладагента $t = 12^oC$, а другой при $t = 1^oC$. При этом также можно получить температуру горячей воды около $t = 38^oC$. Два испарителя можно использовать и при необходимости получения температуры воды до $t = 50^oC$ при входной температуре воды до $t = 12^oC$. Выбор той или иной схемы установки должен определяться потребителем в зависимости от климатических условий использования установки и возможности потребителя применить рекуперативный подогрев воды для теплообменника, поз. 12, рис.1.

Передаточная функция, описывающая динамику изменения температуры молока на выходе испарителя, в зависимости от температуры молока на входе в испаритель имеет следующий вид (по аналогии с [7,8]):

$$\frac{Y_2(p,L)}{Y_2(p,0)} = W_3(p) = e^{-\frac{\tau}{a(p)}}. \qquad (19)$$

Где, $\tau = \frac{L}{v}$, v – средняя скорость молока в трубе, L – средняя длина пути жидкости в трубе. Испаритель можно выполнить в виде кожухозмеевикового теплообменника.

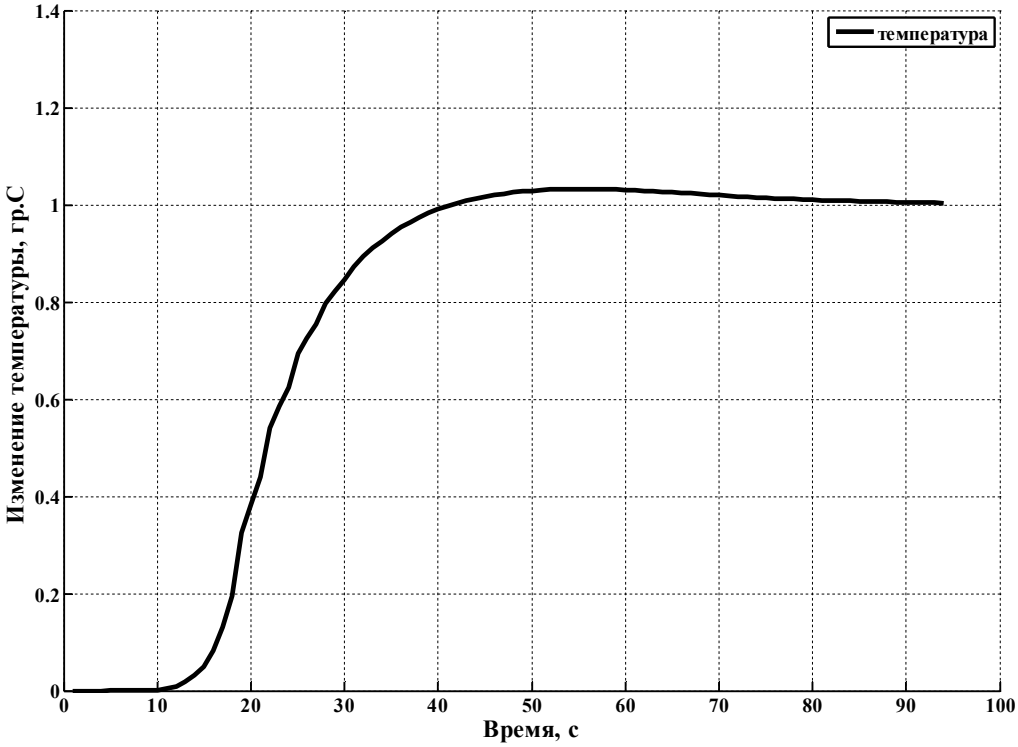


Рис. 4. Зависимость изменения температуры при скачкообразном входном воздействии по величине задания температуры пастеризации

Стабилизация режимов работы испарителей должна осуществляться в предлагаемой схеме, как путем изменения расхода воды, так и площади теплообменника, поз.12 и путем стабилизации температуры воды, поступающей на вход теплообменника, поз.12, посредством ее охлаждения в испарителе, поз. 9а или испарителе, поз.8а, расположенном параллельно испарителю, поз.8, снабженным собственными регуляторами расхода и давления хладагента, подобно испарителю, поз.9а. Режим работы этих испарителей стабилизируется путем регулирования через них расхода хладагента.

Выводы

1. Применение рассмотренной схемы теплового насоса на диоксиде углерода в составе пастеризационно-охладительных установок для молочных продуктов и для различных климатических условий позволяет существенно снизить потребление природного газа

на предприятиях молочной промышленности, и установки с предложенными схемами могут иметь приемлемые сроки окупаемости инвестиций.

2. Предложенная в работе каскадная система управления компрессором по сигналу температуры на входе в компрессор может обеспечить требуемое качество режима пастеризации молока.

3. Стабилизация температуры горячей воды и температуры молока, а также производство дополнительного холода может быть реализовано посредством распределения хладагента между испарителями теплонасосной установки.

Литература

[1] Becker H., Vuillermoz A., Marechal F., Heat pump integration in a cheese factory. Applied Thermal Engineering, 2012, v43, October 2012, p.118-127.

[2] Becker H., Marechal F. , Vuillermoz A., Process Integration and Opportunities for Heat Pumps in Industrial Processes. International Journal of Thermodynamics, Vol. 14 (No.2), pp.59-70, 2011. doi: 10.5541/ijot.260.

[3] Söylemez M.S., Operational cost minimization of heat pump for milk pasteurization in dairy. Journal of Dairy Research, 2005, v72., p.482-485.

[4] Söylemez M.S., Optimum heat pump in milk pasteurizing in dairy. Journal of Food Engineering, V.74, 2006, p. 546-551.

[5] http://telemiks.by/geo/food.html

[6] Ozyurt O., Comakli O., Yilmaz and Karsh S., Heat pump use in milk pasteurization: an exergy analysis. International Journal of Energy Research. V28, Iss.9, p.833-846, July, 2004.

[7] Шит М.Л., Балануцэ А.П., Шит Б.М., Теплонасосная установка на диоксиде углерода с испарителями, работающими на разных температурных уровнях и при переменной тепловой нагрузке. Problemele Energeticii Regionale 2(10) 2010, с. 47-58.

[8] Шит М.Л., Журавлев А.А., Шит Б.М., Управление газоохладителем теплового насоса на диоксиде углерода при работе в непрерывном режиме. Труды Одесской национальной Академии Пищевых технологий, вып.35, т.2., 2009 г. с. 241-246.

[9] http://molokoportal.ru/11-2-puti-povysheniya-kachestva-i-stojkosti-produktov-konservirovaniya-moloka/

[10] Catano J.O., Zhang TieJun, Peles Y., Jensen M.K., Wen J.T., Experimental Identification of Evaporator Dynamics for Vapor Compression Refrigeration Cycle During Phase Transition.http://pamelanorris.files.wordpress.com/2010/11/t3-c-2010-catano-experimental-identification-evaporator.pdf (дата посещения сайта: 21.12.2012).

[11] Schurt R.C., Hermes C.J.L., Neto A.T., A model-driven multivariable controller for vapor compression refrigeration systems. International Journal of Refrigeration, v32, 2009, p.1672-1682.

[12] Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. – 2-е изд.–М.: Энергоиздат, 1981.–408с.

[13] Tagliafico L.A., Scarpa F., Tagliafico G. A compact dynamic model for household vapor compression refrigerated systems. Applied Thermal Engineering, v35, 2012, p.1-8.

[14] Tao Cheng, Xiang-Dong He, H. Harry Asada "Nonlinear Observer Design for Two-Phase Flow Heat Exchangers of Air Conditioning Systems", Proceedings of the 2004 American Control Conference, Boston, Massachusetts, Denver, Colorado June 30, - July 2, 2004, p. 1534–1539.

[15] Xiang-Dong He, H. Harry Asada «A New Feedback Linearization Approach to Advanced Control of Multi-Unit HVAC Systems», Proceedings of the 2003 American Control Conference, Denver, Colorado June 4-6, 2003, p. 2311–2316.

Сведения об авторах

Шит Михаил Львович – к.т.н., зав. Лабораторией «Энергетической эффективности и систем управления» Института энергетики АНМ. Область научных интересов: тепловые насосы на диоксиде углерода, автоматическое управление технологическими процессами в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве. E-mail: mihail_sheet@yahoo.com

Шит Борис Михайлович – инженер-программист Института энергетики АНМ. Область научных интересов: тепловые насосы на диоксиде углерода, автоматическое управление технологическими процессами в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве. E-mail:boris@fld.rambler.ru.

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ

Ведь В.Е., Ровенский А.И.
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина

Аннотация. Описана конструкция и назначение основных узлов мобильного мусороперерабатывающего комплекса типа „МПК”. Представлены экспериментальные данные по каталитической очистке выпускных газов. Определено, что концентрации вредных соединений в отходящих газах „МПК” являются значительно меньшими, нежели допускаемые нормативными документами к выбросам в атмосферу.
Ключевые слова: твердые бытовые отходы, мобильный мусороперерабатывающий комплекс, катализ, отходящие газы.

COMPLEX MOBIL PENTRU TRATAREA TERMOCATALITICĂ A DEŞEURILOR

Vedi V.E., Rovenskii A.I.
Universitatea Tehnică Națională „Institutul politehnic din Harkov”, Ucraina

Rezumat. Este descrisă construcția şi destinația componentelor de bază a complexului mobil de prelucrare a deşeurilor de tipul “MPK”. Sunt prezentate datele experimentale privind purificarea catalitică a gazelor de eşapament. S-a determinat, că concentrațiile compuşilor dăunători în gazele evacuate a “MPK” sunt considerabil mai mici decât cele admise de documentele normative.
Cuvinte-cheie: deşeuri solide, complex mobil de prelucrare a deşeurilor, cataliză, gaze evacuate.

MOBILE COMPLEX FOR CATALYTIC THERMAL WASTE TREATMENT

Vedi V.E., Rovenskii A.I.
National Technical University „Kharkov Polytechnic Institute”, Ukraine

Abstract. The design and purpose of the basic units of the mobile waste processing complex “MPK” are described. Experimental data of catalytic purification of exhaust gases are presented. Experimental data on catalytic clearing of final gases of a designed mobile incinerator plant are shown. It is defined, that concentrating of parasitic bridging in waste gases of the complex are considerably smaller, rather than allowed by normative documents.
Keywords*:* municipal solid waste, mobile waste processing complexes, catalysis, exhaust gas**.**

Мировая практика утилизации муниципальных и горючей части промышленных отходов в наиболее промышленно развитых странах мира ФРГ, США, Австрии, Франции, Швеции, Италии и др. показала, что наиболее приемлемыми методами переработки являются термические [1]. Среди них термокаталитические методы являются наиболее эффективными, универсальными и экологически безопасными [2].

Использование современных термокаталитических методов позволяет решить две социально-экономические проблемы:

− утилизации имеющихся и непрерывно поступающих отходов и предотвращения дальнейшего их накапливания путем применения экологически безопасной технологии переработки;

− пополнения материально-энергетической ресурсной базы перерабатывающих производств за счет отсортировывания части коммерческих отходов, поступающих на утилизацию, а также за счет использования вторичного тепла отходящих газов [3].

Мобильные подвижные мусороперерабатывающие установки способствуют устранению негативного влияния накопления твердых промышленных и потребительских отходов на среду обитания человека на сравнительно небольших объектах; при этом они могут обслуживать определенное число производителей

отходов на значительном территориальном пространстве без нанесения ущерба окружающей среде накоплением мусора [3, 4].

Научно-производственная фирма «Технология» под эгидой Северо-Восточного центра АН Украины и Южной железной дороги при участии ряда институтов, университетов и предприятий спроектировала, изготовила и ввела в промышленную эксплуатацию мобильные мусороперерабатывающие комплексы серии МПК, предназначенные для переработки мусора в количестве от 50, до 400 кг в час и стационарные установки производительностью до 5 тонн в час. Разработанные установки базируются на экологически безопасной отечественной технологии сжигания твердых бытовых (ТБО) и промышленных отходов, полностью соответствующей требованиям Европейских стандартов, а по отдельным показателям и превосходящих их. Введенные в промышленную эксплуатацию перерабатывающие комплексы решают проблему негативного влияния накопления ТБО на среду обитания человека на сравнительно небольших объектах. В конструкциях установок учтен мировой опыт обращения с ТБО, полностью реализованы вопросы экологически безопасного уничтожения ТБО. В установках реализован комплексный подход в обращении с отходами, сочетающий сортировку ТБО с извлечением вторсырья и сжигание остатка, который обеспечивает максимальную экологическую и экономическую эффективность. Разработки защищены патентами Украины и Российской Федерации [5]. Твердые бытовые отходы (таблица 1) являются сложной многокомпонентной смесью, включающей многие сырьевые материалы (полиэтилен, цветные и черные металлы, бумага, картон, пластмассы, стекло и др.), пищевые отходы, отходы промышленных предприятий (ветошь, спецодежда, отработанные масляные и воздушные фильтры и пр.) и опасные составляющие ТБО (тяжелые металлы, болезнетворные микроорганизмы и др.). Кроме безопасного сжигания ТБО на мусороперерабатывающем комплексе возможно и уничтожение жидких нефтешламов, в том числе и отработанных масел, нефтесборочных сорбентов и т. д. На эти виды работ НПФ «Технология» получила лицензию на переработку. Комплексы по переработке отходов типа МПК обеспечивают соблюдение экологических нормативов при максимальном использовании сырьевой и энергетической ценности ТБО с минимальными приведенными затратами, сокращают расходы на утилизацию, сокращают нагрузку на полигоны ТБО на 90 % и снижают опасность отходов до IV класса опасности [6]. Комплексы по переработке ТБО выполняются в стационарном (блочно-контейнерном) или мобильном исполнении для монтажа на железнодорожной или автомобильной платформе. На рис. 1 приведен общий вид и наименование основных технологических узлов мусороперерабатывающего комплекса МПК-300.

Таблица 1. *Типичный состав мусора Дусмана, поступающего на утилизацию с железнодорожных составов*

Состав	Содержание, %
Бумага, картон	50–55
Текстиль	5–8
Пластмасса	15–20
Пищевые отходы	8–12
Деревоотходы	3–4
Резина	2–3
Неорганические отходы (песок, камни, глина)	6–8

Основные технологические переделы комплекса

Приемно-сортировочная линия предназначена для приема поступающих ТБО, дозированной подачи их на сортировку, отбора и первичной подготовки коммерческой части отходов (полиэтилен, пластик, стекло, металл, бумага и др.) и подачи остатков ТБО («хвостов») на термокаталитическое уничтожение. Приемно-сортировочная линия состоит из следующих основных узлов (рис.1):

– приемный закром, предназначенный для хранения ТБО, оснащенный грейферным гидроманипулятором для производства погрузочно-разгрузочных операций;

– перегрузочный бункер с дозировочным конвейером для подачи на сортировку;

– сортировочная кабина с конвейерным столом для переборки отходов, контейнерами для сбора коммерческой части отходов, прессами дробилками для первичной подготовки сырья и бактерицидными лампами над рабочим столом для дезинфекции;

– промежуточный бункер с конвейером для подачи остатков ТБО на термокаталитическое уничтожение.

Отделение термокаталитического обезвреживания отходов включает в себя:

– загрузочное устройство с герметичной системой подачи отходов в печь (пневмозаталкиватель, заслонка, крышка, ворошитель, пульт автоматического управления, функционирующий по двум программам);

– камерная печь, футерованная и оборудованная эжекционной форсункой и подводом горячим дутьевым в подколосниковое пространство и на форсунку; температура в камере сжигания поддерживается в пределах 850÷1000ºС;

– камера дожигания, в которой происходит объемное дожигание органических соединений; в камере установлен высокотемпературный каталитический реактор; температура в камере дожигания достигает 1100ºС, время пребывания газов в ней составляет 2÷2, 5 с.;

– система впрыска содового раствора;

– центробежно-вихревой пылеуловитель для предварительной очистки отходящих газов от крупной фракции взвешенных частиц (более 10 мкм) с бункером для уловленной пыли;

– система дымоохладителей I и II ступени;

– воздушные рекуператоры;

– низкотемпературный каталитический реактор с температурой газов 350÷500ºС;

– рукавный фильтр с импульсной регенерацией и бункером для уловленной пыли;

– адсорбционный углетканевый фильтр;

– компрессорная установка;

–тягодутьевое оборудование;

– система контроля, управления и защиты.

В блоке каталитической очистки 1-й ступени происходит каталитическое разложение органических соединений, HCl, HF, H_2SO_4, окисление полициклических ароматических углеводородов до CO_2, окисление CO до CO_2, восстановление оксидов азота до элементарного азота и частичное сжигание сажи. Не распавшиеся в камере дожигания хлорорганические соединения (диоксины, фураны) в высокотемпературном блоке каталитической очистки разрушаются, образуя углекислый газ, воду и соляную кислоту. Система впрыска содового раствора предназначена для нейтрализации кислых газообразных HCl, HF, SO_2 и SO_3 путем превращения их в безвредные соли $NaCl, NaF, Na_2SO_3, Na_2SO_4$. В центробежно-вихревом пылеуловителе, предназначенном для снижения пылевой нагрузки на каталитический реактор второй ступени и

рукавный фильтр, отходящие дымовые газы очищаются от крупных (до 50 мкм) фракций пыли и сажи на 85-95 %. В каталитическом реакторе 2-й ступени, установленном за центробежно-вихревом пылеуловителем и работающем в температурном режиме 500÷610ºС, происходит окончательное обезвреживание (нейтрализация) возможных, вследствие присутствия человеческих факторов, «проскоков» вредных хлорорганических соединений. Рукавный фильтр очищает дымовые газы от мелкодисперсной пыли. Эффективность его функционирования составляет 99,5÷99,8 %; при этом возможная концентрация пыли на выходе из него может составлять 7÷10 мг/м^3, которая является величиной меньшей, чем нормативное для теплоэнергетического оборудования, допустимое содержание пыли в выпускных газах.

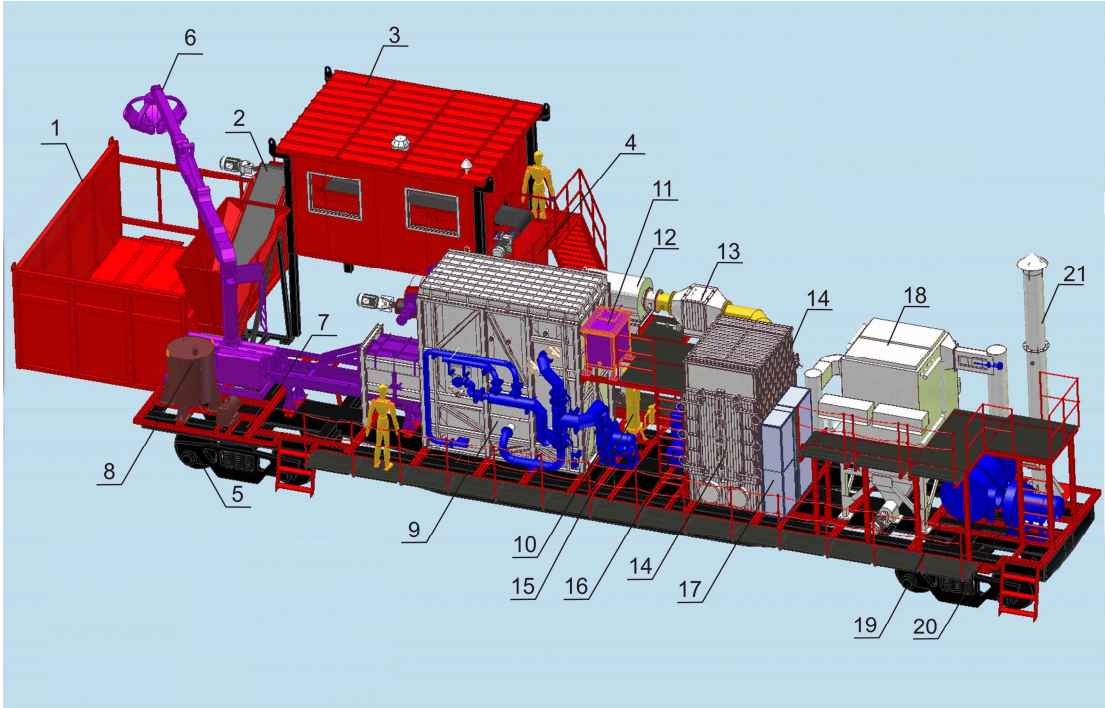


Рис.1. Общий вид мусороперерабатывающего комплекса МПК-300:
1 – контейнер для приема ТБО; 2 – загрузочный транспортер с приемным бункером; 3 – сортировочная кабина; 4 - выгрузочный транспортер с приемным бункером; 5 – железнодорожная платформа; 6 – манипулятор с маслостанцией; 7 – загрузочное устройство печи; 8 – топливный бак с системой подачи топлива; 9 – печь термокаталитического обезвреживания отходов; 10 – дутьевой вентилятор с воздухопроводами; 11 – бак с системой подачи щелочного раствора; 12 – центробежно-вихревой пылеуловитель; 13 – каталитический реактор второй ступени; 14 – дымоохладитель второй ступени; 15 – воздухоосушитель; 16 – компрессор; 17 – шкаф управления; 18 – рукавный фильтр; 19 – адсорбционный углетканевый фильтр; 20 – дымосос;21 – дымовая труба.

В углетканевом фильтре при резком охлаждении отходящих газов с 100÷120ºС до 40ºС происходит конденсация паров ртути, кадмия, кобальта и других тяжелых металлов на углетканевой кассете фильтра. Разбавление отходящих газов воздухом осуществляется через впускной клапан. Был проведен цикл исследований по определению экологической эффективности функционирования МПК-300 [7]. Сравнительные

данные по количеству веществ, выбрасываемых в атмосферу до и после очистки посредством мусороперерабатывающего комплекса, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Количество выбросов токсичных веществ до и после очистки

Наименование компонентов	Количество выбросов, кг/ч		
	до очистки	после очистки	степень очистки, %
Оксиды азота	0,41	0,162	60,5
Оксид углерода	15,2	1,54	99,0
Хлористый водород	0,216	0,012	95,0
Фтористый водород	0,135	0,007	95,0
Полициклические ароматические углеводороды	0,402	0,005	98,5
Хлорсодержащие углеводороды	0,101	0,0024	98,6
Предельные углеводороды	1,514	0,021	98,6
Бенз(а)пирен	$0{,}135\cdot10^{-5}$	$0{,}1\cdot10^{-9}$	99,92
Диоксины	$0{,}081\cdot10^{-5}$	$0{,}8\cdot10^{-9}$	99,9910
Фураны	$0{,}054\cdot10^{-5}$	$0{,}5\cdot10^{-9}$	99,99
Пыль	5,4	$3{,}0\cdot10^{-4}$	99,9
Сажа	1,0	0,09	91,0

Использование каталитических преобразователей вредных газовых выбросов на МПК-300 позволяет снизить содержание в окружающей среде токсичных веществ [8]:

- непредельных ароматических углеводородов $C_3 - C_{20}$ – на 11,944 т/год;
- хлорсодержащих углеводородов – на 0,81 т/год;
- полициклических ароматических углеводородов – 3,176 т/год.

Всего в течение года каталитические преобразователи предотвращают попадание в атмосферу около 188 т токсичных веществ. Данные по нормативному, допустимому содержанию в выпускных газах и содержанию вредных веществ в отходящих газах ПМК-300 сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Сравнительные данные нормативного, допустимого содержания вредных веществ в выпускных газах и в отходящих газах передвижной установки

Вредные вещества	Содержание в отходящих газах, мг/м^3	
	допустимое, не более	от мусоросжигательной установки
HCl	10	0,01
SO_2	50	нет
NO_x	100	70
CO	100	5,7
$C_{орг}$	10	9
Пыль	10	2

Данные, приведенные в таблицах, показывают, что применение термокаталитической технологии обезвреживания дымовых газов посредством мобильных мусороперерабатывающих комплексов, позволяет сократить содержание в окружающей среде токсичных веществ и вносить, т.о. вклад в решение важной экологической проблемы по борьбе с канцерогенами, диоксинами и фуранами,

которые являются причинами мутагенности и заболеваемости. В 2009 г. на железнодорожном вокзале Харьков–Пассажирский веден в эксплуатацию комплекс МПК-300, перерабатывающий отходы прибывающих на вокзал поездов и всех вспомогательных служб и подразделений вокзала. После ввода в эксплуатацию мусороперерабатывающего комплекса службы вокзала отказались от накопления и вывоза поступающих отходов на полигон. Как показала практика его эксплуатации, такие мероприятия оказались целиком обоснованными и являются не только более экономически выгодными, но и экологически безопасными. Расчеты показывают, что вредные выпускные газы, создаваемые мусоровозами, на порядок больше загрязняют окружающую среду, чем разработанный мобильный мусороперерабатывающий комплекс.

ЛИТЕРАТУРА

[1] В.Л., Аксенов, Ю.В. Морозов, А.Н.Дубоший, Е.С. Кернажицкая, *Сжигание твердых бытовых отходов,* Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, Экспресс-информ, Киев, УкрНИИНТИ, 1989, Вып. 1, с. 12.

[2] В.Л. Аксенов, Н.А. Дубоший, В.Д. Король., Е.С. Кернажицкая *Исследование выбросов при сжигании ТБО*, Химическая технология, 1991, № 6, с. 87-90.

[3] А.З. Рыжавский, Л.Ф. Зубков, С.С. Веприцкий, А.И. Ровенский *Экологические характеристики и использование тепла мусоросжигающих установок,* Збірник матеріалів другої науково–практичної конференції «Енергозбереження при термічній переробці відходів – значний потенціал енергоресурсів», Досвід, досягнення та перспектива, Киев, Тов. «Знання» України, 2002, с. 13–15.

[4] С.С. Веприцкий, Л.Ф. Зубков, А.И. Ровенский, *Экологически безопасные мобильные мусоросжигающие установки,* Збірник матеріалів другої науково–практичної конференції «Енергозбереження при термічній переробці відходів – значний потенціал енергоресурсів», Досвід, досягнення та перспектива, Киев, Тов. «Знання» України, 2002, с. 15–17.

[5] В.Є. Ведь, Л.П. Зубков, В.І. Бородін, О.М. Ляшенко, О.І. Ровенський, *Каталізатор для очищення газоподібних викидів, що містять пил*, Деклараційний патент України 14261, Бюл. № 1, 17.01.2005.

[6] В.Е. Ведь, Л.Ф. Зубков, В.Н. Остапчук, *Исследование эффективности каталитической очистки газов в передвижной мусоросжигательной установке*, Проблемы машиностроения, 2004, Т.7, № 4, с. 87-91.

[7] А.И. Ровенский, В.Е. Ведь, А.В. Симоненко, *Экологическая эффективность функционирования передвижных мусоросжигательных комплексов,* Матеріали Українського екологічного конгресу «Структурна перебудова та екологізація в контексті переходу України до збалансированого розвитку», Киев, Центр екологічної освіти та інформації, 2009, с. 229-233.

[8] В.Н. Остапчук, В.Е. Ведь, Н.Г. Уманец, А.И. Ровенский, *Процессы катализа как эффективные методы очистки газовых выбросов от примесей вредных веществ*, Проблемы машиностроения, 2007, Т.10, № 3, с. 76-80.

**Este recomandată de colegiul de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Internaționale „Energetica Moldovei-2012. Aspecte regionale de dezvoltare". Ediția a II-a.*

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ВИЭ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ВИЭСХ

Стребков Д.С., Харченко В.В.
Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства

Аннотация. Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) является одним из лидеров в области использования на практике технологий возобновляемой энергетики. В настоящем сообщении приводится описание некоторых выполненных в ВИЭСХ разработок в области возобновляемой энергетики, пригодных для практической реализации в Республике Молдова.
Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, биотопливо, солнечные модули, матричные солнечные элементы, концентраторы.

TEHNOLOGII INOVAȚIONALE ÎN DOMENIUL SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE ELABORATE DE INSTITUTUL RUSESC DE ELECTRIFICARE RURALĂ

Strebkov D.S., Harcenko V.V.
Institutul rusesc de electrificare rurală

Rezumat. Institutul rusesc de electrificare rurală (IRER) este unul din lideri în domeniul utilizării în practică a tehnologiilor energeticii regenerabile. În lucrarea dată se prezintă descrierea unor elaborări efectuate de IER în domeniul energeticii regenerabile posibil de aplicat în Republica Moldova.
Cuvinte-cheie: surse regenerabile de energie, energie solară, biocombustibil, module solare, elemente solare de tip matrice, concentratoare.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES DEVELOPED FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES

Strebkov D.S., Kharchenko V.V.
All-Russian Institute for Electrification in Agriculture

Abstract. The All-Russia institute for electrification in agriculture (VIESH) is one of leaders in the field of use in practice of renewable technologies. In the paper the description of some executed in VIESH workings out in the field of renewable power, suitable for practical realization in Republic Moldova is submitted.
Keywords: renewable energy sources, solar power, biofuel, solar modules, matrix solar cells, concentrators of solar radiation.

Масштабы использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во всем мире с каждым годом неуклонно возрастают.

Установленная мощность электростанций, использующих (ВИЭ) превысила в 2010 г. установленную мощность АЭС в мире и составила 388 ГВт (рост на 60 ГВт по сравнению с 2009 г.). Объем инвестиций в мировую возобновляемую энергетику составил в 2010 г. 243 млрд. долл., рост инвестиций 630% с 2004 г. [1].

По темпам роста первое место занимает солнечная энергетика. В 2011 г. в мире построено 30 ГВт солнечных электростанций (СЭС). Темпы роста производства СЭС составили 118% по сравнению с 2009 г. [2].

Годовое использование биомассы в мире эквивалентно потреблению 1 млрд.тонн нефти и сравнимо с уровнем потребления природного газа и угля. В Российской Федерации имеется 21% мировых ресурсов леса. Ежегодный прирост лесной биомассы в России составляет 800 млн. м^3, из которых 50 % может быть использовано в биоэнергетике. Биотопливо может обеспечить 20% тепловой энергетики России. Для этого потребуется менее 20% расчетной лесосеки. В северных областях на биотопливо можно перевести до 60% котельных [3].

В настоящей работе рассматриваются результаты некоторых разработок, выполненных в ВИЭСХ,которые могут представлять интерес для практического использования, в том числе и в Республике Молдова.

Солнечная энергетика

Расширение использования ВИЭ должно базироваться на оригинальных инновационных технологиях. В области солнечной энергетики ГНУ ВИЭСХ является обладателем более 100 патентов на уникальные технические решения.

Новый способ получения кремния

Более 95% всех солнечных электростанций в мире изготавливаются с использованием кремния. Стоимость монокристаллического кремния по-прежнему остается высокой, а общепринятая сегодня технология производства кремния хлоридным способом (Сименс-процесс) весьма сложен и экологически вреден.

В ГНУ ВИЭСХ разработана уникальная бесхлорная технология получения кремния с низкими энергетическими затратами, на которые получено 8 патентов РФ и США.

Эту технологию можно реализовать без какого-либо ущерба для экологии в местах строительства завода по производству кремния. В этом контексте ее можно рассматривать как перспективную для южных регионов. Введение новых мощностей по производству солнечного кремния стало бы мощным стимулом для развития отрасли производства солнечных элементов и модулей.

Применение концентраторов

Эффективный подход к решению проблемы сокращения расхода кремния связан с использованием новых типов концентраторов. В ВИЭСХ разработаны и запатентованы солнечные концентраторы со слежением за Солнцем с концентрацией x100-x1000 и без слежения за Солнцем – стационарные концентраторы с концентрацией x3-x5 [4]. Оба типа концентраторов обеспечивают равномерное освещение солнечных фотоэлектрических модулей, что исключительно важно при эксплуатации СЭС с концентраторами. Стационарные концентраторы без слежения за Солнцем могут концентрировать не только прямую, но и большую часть диффузной (рассеянной) радиации в пределах апертурного угла, что увеличивает производство электроэнергии

Матричные солнечные элементы

В ГНУ ВИЭСХ разработаны матричные солнечные элементы (МСЭ) на основе кремния, которые имеют КПД 25% в лаборатории и 20% в промышленности при 50-1000-кратной концентрации солнечного излучения [5]. Запатентованные в России МСЭ прозрачны для неактивной инфракрасной области спектра, что снижает нагрев фотоприемника и затраты на его охлаждение. Преимуществом МСЭ является генерация высокого напряжения 15-20 В на 1 погонный см рабочей поверхности. Схема получения матричных солнечных элементов с вертикальными p-n переходами представлена на рис.1.

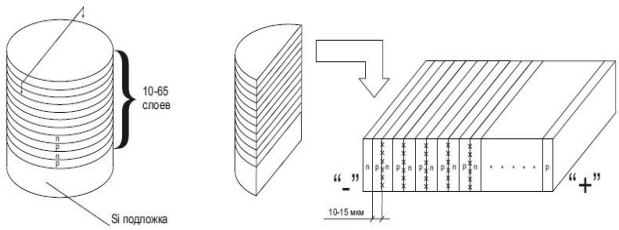


Рис.1. *Схема получения матричных солнечных элементов с вертикальными p-n переходами*

Из рисунка видно, что для создания матричного фотоэлемента сначала надо изготовить многослойную структуру с заданным образом чередующимися слоями кремния заданного типа проводимости и удельного сопротивления (на схеме слева). При этом необходимо обеспечить электрические омические контакты между соседствующими p-n переходами. Это задача не простая. Но авторам удалось решить ее с помощью оригинального, нестандартного приема, пробоя всей многослойной структуры, что позволило существенно упростить конструкцию и технологию изготовления исходной многослойной заготовки. Такая структура обладала рядом преимуществ перед классической планарной схемой.

Усовершенствованная за многие годы работы конструкция матричного солнечного элемента позволила создать высокоэффективный модуль МЭС-концентратор (линза Френеля) с высокими характеристиками.

Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фотоэлектрического модуля на основе кремниевого матричного солнечного элемента с линзой Френеля в качестве концентратора приведены на рис.2.

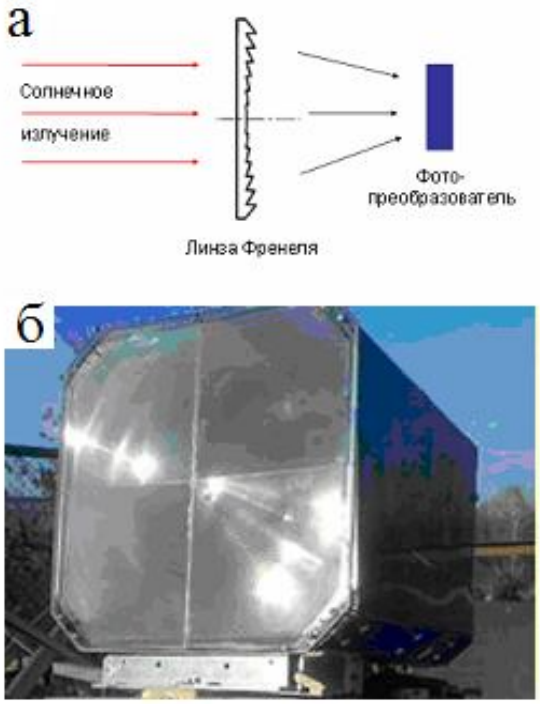


Рис.2. *Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фотоэлектрического модуля на основе кремниевого матричного солнечного элемента с линзой Френеля в качестве концентратора*

МСЭ из кремния в сотни раз дешевле солнечных элементов на основе каскадных гетероструктур на единицу площади, технология МСЭ не требует применения серебра,

многостадийной диффузии, фотолитографии, сеткографии, эпитаксии, текстурирования и других трудоемких операций, используемых на зарубежных заводах. Патент РФ на конструкцию и технологию МСЭ включен в перечень «100 лучших изобретений России».

Новая технология изготовления модулей

Все существующие в мире конструкции, материалы и технологии изготовления солнечных модулей обеспечивают срок службы модулей 20 лет в тропическом климате и 25 лет в умеренном климате с потерей до 20% мощности к концу срока службы. Причина – ультрафиолетовая и температурная деградация оптических полимерных герметизирующих материалов – этиленвинилацетата и других пластиков. Используемая технология ламинирования модулей включает вакуумирование, нагрев до 150° и прессование с затратами электроэнергии 80000 кВт·ч на изготовление 1 МВт солнечных модулей. В новой технологии, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, этиленвинилацетат и технология ламинирования заменены на заливку силиконовой композиции с последующим отверждением жидкой компоненты в полисилоксановые гели. При этом срок эксплуатации солнечных модулей увеличивается в два раза до 40-50 лет, возрастает электрическая мощность модулей благодаря более высокой прозрачности геля и снижению рабочей температуры СЭ, снижаются энергозатраты на изготовление модулей на 70 000 кВт·ч/МВт. Кроме того, удвоение срока службы увеличивает производство электроэнергии на 20 млн. кВт·ч на 1 МВт пиковой мощности. Внешний вид установки для заполнения фотоэлектрических модулей двухкомпонентным полисилоксановым компаундом представлен на рис.3.

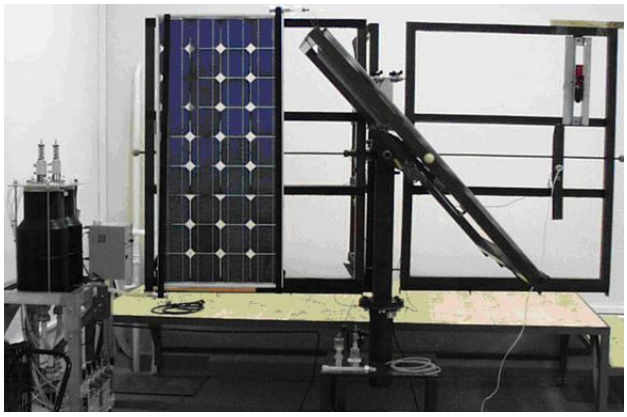


Рис. 3. *Внешний вид установки для заполнения фотоэлектрических модулей двухкомпонентным полисилоксановым компаундом*

Глобальная солнечная энергетическая система

Проблема непрерывного круглосуточного и круглогодичного производства электроэнергии солнечными электростанциями является основной в развитии глобальной бестопливной энергетики и обеспечения ее конкурентоспособности с топливной энергетикой. В ГНУ ВИЭСХ разработаны и запатентованы региональные и глобальные солнечные энергетические системы, позволяющие вырабатывать и доставлять электроэнергию потребителям независимо от времени суток и времён года. [6].В качестве иллюстрации этого подхода на рис.3 приведена принципиальная схема глобальной солнечной системы.

Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций мощностью 2,5 ТВт, площадью 200х200км^2

Глобальная солнечная энергосистема соединена с национальными энергосистемами и состоит из трех СЭС, установленных в Австралии, Северной Африке и Латинской Америке. КПД СЭС равен 25%, пиковая электрическая мощность каждой СЭС 2,5 ТВт, размеры 200×200 км^2.

На рис. 5 приведены данные по выработке электроэнергии глобальной энергосистемой в течение года.

Рис.4. *Глобальная солнечная энергетическая система (на карте Мексики в масштабе показаны размеры солнечной электростанции; станции размещаются на территории пустынь)*

Из рассмотрения рис. 4 видно, что глобальная солнечная энергосистема генерирует электрическую энергию круглосуточно и равномерно в течение года в объеме 20 000 ТВт·ч/год на уровне, соответствующем мировому потреблению. Это позволит перевести все угольные, газовые и атомные станции в мире в разряд резервных электростанций, уменьшить перегрев атмосферы и остановить изменение климата.

В качестве источника электрической энергии в резонансной глобальной солнечной энергосистеме может быть использована не только СЭС, но и энергоустановки, использующие другие ВИЭ (ГЭС, ВЭС, ГеоТЭС и др.)

.

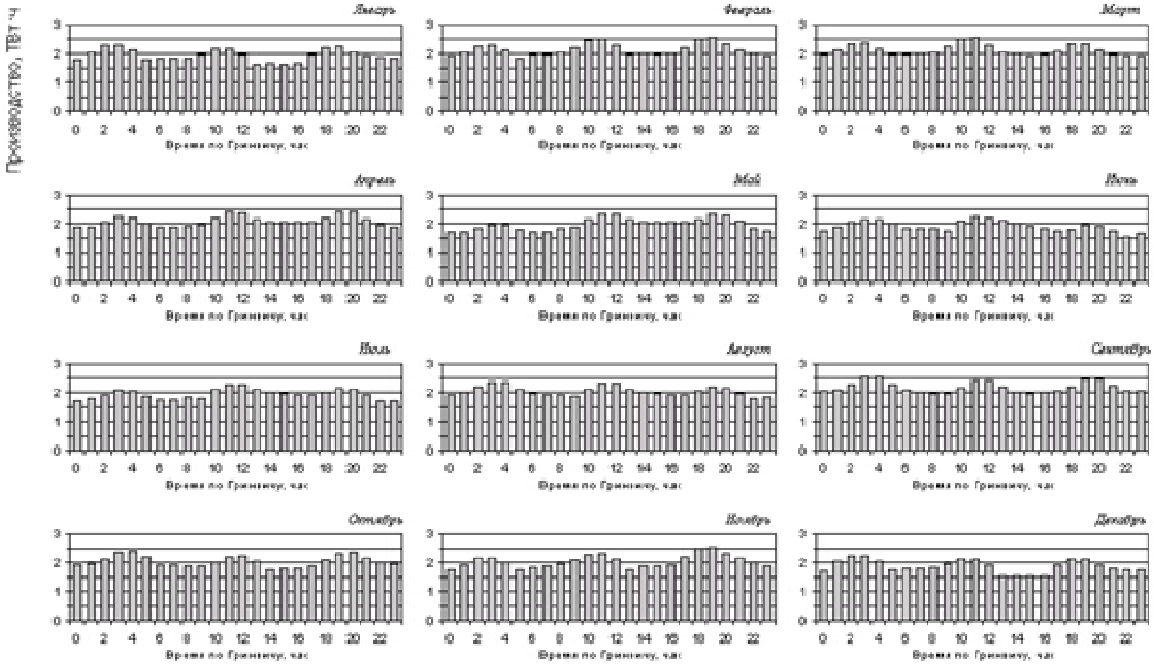


Рис.5. *Выработка электроэнергии глобальной энергосистемой в течение года*

Среднемесячное производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой, 17817,6ТВт·ч; ежегодное потребление электричества в Мире – 13810 ТВт·ч (2001)

Для создания региональных и глобальной солнечной энергетической системы в России созданы новые технологии, обеспечивающие конкурентоспособность солнечной энергетики по следующим критериям:

• КПД солнечных электростанций должен быть не менее 25%.

• Срок службы солнечной электростанции должен составлять 50 лет.

• Стоимость установленного киловатта пиковой мощности солнечной электростанции не должна превышать 2000 долл.

• Объем производства солнечных электростанций должен быть 100 ГВт в год.

• Производство полупроводникового материала для СЭС должно превышать 1 млн. т в год при цене не более 25 долл./кг.

• Круглосуточное производство электрической энергии солнечной энергосистемой.

• Материалы и технологии производства солнечных элементов и модулей должны быть экологически чистыми и безопасными.

Начало функционирования глобальной солнечной энергетической системы прогнозируется в 2050 г., выход на полную мощность в 2090 г. В результате реализации проекта доля солнечной энергетики в мировом потреблении электроэнергии составит 75-90%, а выбросы парниковых газов будут снижены в 10 раз.

Солнечная электроэнергетика нуждается в поддержке государства для законодательного обеспечения реализации пилотных и демонстрационных проектов, ждет частный капитал и нового Моргана, банкира, который 100 лет назад финансировал работы Н.Тесла. В ГНУ ВИЭСХ разработаны резонансные волноводные технологии передачи электрической энергии, которые развивают работы Н.Тесла, получено 50 патентов.

Динамично развивающаяся солнечная энергетика, основанная на инновационных российских и мировых технологиях, является альтернативой топливной энергетике и в

2050 г. будет доминировать на рынке энергетически чистых технологий, а к концу 21 века обеспечит 75-90% всех потребностей Земли в электрической энергии.

Энергия биомассы

Годовое использование биомассы в мире эквивалентно потреблению 1 млрд.тонн нефти и сравнимо с уровнем потребления природного газа и угля. В Российской Федерации имеется 21% мировых ресурсов леса. Ежегодный прирост лесной биомассы в России составляет 800 млн. м^3, из которых 50 % может быть использовано в биоэнергетике. Биотопливо может обеспечить 20% тепловой энергетики России. Для этого потребуется менее 20% расчетной лесосеки. В северных областях на биотопливо можно перевести 60% котельных [7].

Энергетические установки, использующие биомассу и отходы, в частности сельскохозяйственного производства, могут дать столько же энергии, сколько все атомные станции в России и все нефтяные месторождения республики Коми. Получение и использование этого топлива, а также смесевого и модифицированного топлива позволит пополнить энергобаланс сельских предприятий и регионов и в значительной мере снизить зависимость от централизованных закупок ископаемого топлива и электроэнергии [8,9]. По оценкам экспертов, доля биоэнергетики в мировой энергетике возрастет с 10% в 2010 г. до 40% в 2060 г. (таблица 1).

Таблица 1. Доля биоэнергетики в мировой энергетике

Годы	%
2010	10
2030	20
2060	30

Таблица 2. Темпы роста европейского рынка биотоплива

Годы	%
2008	42,8
2009	28,6
2010	17
2015	12,8

Биоэнергетика - единственный источник энергии для 2 млрд. человек с доходом 1 долл./сутки.

Европейский рынок биотоплива в 2010 году составил 28,2 млрд. долларов, что эквивалентно 102 млн. баррелей нефти, в 2015 году будет 56,6 млрд. долларов. Новая директива ЕЭС требует соблюдения принципа устойчивого развития при производстве биотоплива: не уменьшать качество жизни, не нарушать продовольственную безопасность, не увеличивать нормы выброса парниковых газов. С введением этой директивы связано снижение темпов роста европейского рынка биотоплива (таблица 2), поскольку для производства биотоплива первого поколения использовались продовольственные культуры.

Виды биотоплива: топливная древесина, древесный уголь, биодизель, биоэтанол, биогаз (метан), биоводород. Преимущества биотоплива: снижение зависимости от нефти, снижение выбросов парниковых газов. Для производства биотоплива первого поколения используются продовольственные культуры: кукуруза, рапс и др. Развитие биотоплива имеет значительные последствия для продовольственной безопасности и окружающей среды, в случае, если для производства биотоплива используются продовольственные культуры, земельные и водные ресурсы. Сырье для биотоплива

второго поколения: целлюлозная биомасса энергетических плантаций, рисовая шелуха, отходы сахарного производства, сельскохозяйственные и городские отходы.

Применение биогазовых установок на животноводческих фермах обеспечивает получение дополнительной энергии в виде биогаза и высококачественных органических удобрений, а также позволяет значительно снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Как теплоэнергетическое сырье навоз животных и помет птиц может служить для выработки горючего биогаза путем его аэробного и анаэробного метанового сбраживания. Из 1 тонны сухого вещества навоза в результате сбраживания при оптимальных условиях можно получить 340 м^3 биогаза, или в пересчете на одну голову крупного рогатого скота (КРС) 2,5 м^3 в сутки, а в течение года примерно 900 м^3.

Стоимость биогазовой станции (БГС) – 4-6 млн. евро; время переработки – 20 дней (КРС), 55 дней (птицефабрика); санитарно-защитная зона свиноводческой фермы на 100000 голов: 12 км без БГС; 300 м с БГС.

В ГНУ ВИЭСХ в 2011 г. разработана установка для получения котельного биотоплива из органических отходов.

На рис. 6 представлены гидродинамические установки для смешивания многокомпонентных жидких сред разработки ГНУ ВИЭСХ.

Рис.6А. *Установка для получения смесевого биодизельного топлива производительностью 2 тонны в час*

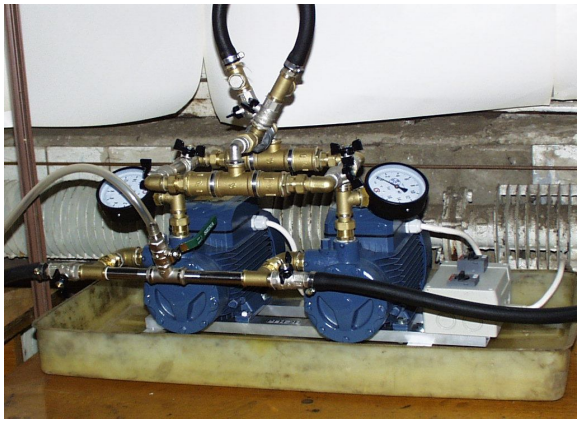


Рис.6Б. Установка для получения смесевого водомазутного топлива производительностью 2 тонны в час

Пиролизные энергетические установки используются для получения котельных топлив, пиролизного газа тепла и электроэнергии. Преимущества: нагрев до 700°С в отсутствии кислорода; продукты сгорания и зола, нетоксичны, нет сточных вод.

В таблице 3 показаны фракции биотоплива из сухой биомассы при различных температурах пиролиза.

Таблица 3. Фракции биотоплива из сухой биомассы при различных температурах пиролиза

Технология	Температура и время процесса	Фракции биотоплива		
		Жидкое	Древес-ный уголь	Газ
Быстрый пиролиз	600º С	75%	12%	3%
Медленный пиролиз	400º С	30%	35%	5%
Газификация	800º С	5%	10%	5%

Примеры. Пиролизный теплогенератор на биомассе с влажностью до 30% тепловой мощностью 1,5 МВт производства Псковского завода СПиКо. Разработаны пиролизные печи на биомассе с продолжительностью работы на одной закладке дров 3-6 суток. Пиролизные печи на пеллетах с ресурсом непрерывной работы в автоматическом режиме в течение всего отопительного сезона.

Мини-ТЭЦ с модулем пиролиза опилок разработки ГНУ ВИЭСХ показана на рис. 7.

Рис. 7. Образец мини-ТЭС электрической мощностью в диапазоне 30-100 кВт с модулем пиролиза производительностью 1 тонна растительного сырья в сутки

Жидкое топливо может использоваться в качестве печного топлива в котельных, а после модификации в качестве моторного топлива [5-8]. Себестоимость жидкого топлива при цене сырья 20 долл./т составляет 200 долл./т. Затраты энергии на собственные нужды не превышают 15 % от энергии перерабатываемого сырья.

Пиролизные энергетические установки используются для получения котельных топлив, пиролизного газа тепла и электроэнергии. Преимущества: нагрев до 700°С в отсутствии кислорода; продукты сгорания и зола, нетоксичны, нет сточных вод.

Разработаны пиролизные печи на биомассе с продолжительностью работы на одной закладке дров 3-6 суток. Пиролизные печи на пеллетах с ресурсом непрерывной работы в автоматическом режиме в течение всего отопительного сезона.

В России находятся в эксплуатации 80000 паровых котельных с производительностью 10-100т/час и давлением пара 13 ати для новых котлов и 7-8 ати для старых котлов. Неиспользуемый перепад давления пара 3-6 ати с расходом 6-50т/час можно использовать для получения 200-1500 кВт электрической мощности в паровых винтовых машинах и паровых поршневых машинах. Паровые винтовые машины разработаны в России, защищены 25 патентами. Удельный расход топлива 140-145 г. у.т./кВт·ч, электрическая мощность 800 кВт, срок окупаемости 1,5 года. Паровые поршневые машины потребляют до 40 т пара в час при давлении пара 6-60 бар, электрическая мощность до 1500 кВт.

Разработаны новые сорта быстрорастущих деревьев и растений (рис. 8) для энергетических плантаций.

Рис. 8. *Энергетические плантации Сорго в Ростовской области селекции чл.корр. РАСХН Б.Н. Малиновского (справа). Урожайность 80 т/га, выход биотоплива 7 т/га*

Площадь энергетических плантаций, необходимая для производства жидкого топлива и электроэнергии по новой технологии, составляет:

- жидкое топливо: в объеме 1 млн. тонн (15% от потребности) - 250 тыс. га;
- электроэнергия: в объеме 9 млрд. кВт·ч (15% от потребности) - 150 тыс. га.
- для обеспечения сельского хозяйства РФ на 100% в топливе и электроэнергии - 3,5 млн. га.

В таблице 4 представлены объемы производства масла из различного сырья с одного гектара [10]. Микроводоросли, используемые для производства биотоплива третьего поколения, имеют выход с одного гектара в 60 раз больше, чем рапс и другие продовольственные культуры. [10]. Основные компоненты закрытых фотобиореакторных систем: реакторные емкости, источник освещения, система очистки, система регулирования параметров, система сбора продуктов.

Таблица 4. Объемы производства масла из различного сырья с одного гектара

	кг масла/га	литров масла/га		кг масла/га	литров масла/га
кукуруза	145	172	рыжик (растение)	490	583
кешью	148	176	кунжут	585	696
овес	183	217	рис	696	828

люпин	195	232	подсолнечник	800	952
календула	256	305	какао	S63	1026
хлопок	273	325	арахис	890	1059
конопля	305	363	мак	978	1163
соя	375	446	рале	1000	1190
кофе	386	459	олива	1019	1212
лён	402	478	кастор	1188	1413
лесной орех	405	482	кокос	2260	2689
семена тыквы	449	534	пальмовое масло	5000	5950
кориандр	450	536	водоросли	-	95000
семена горчицы	481	572	рапс	-	1500

Завод по производству биодизеля снабжается растительными маслами, полученными при экстракции сырья, производимого на фермах по промышленному выращиванию водорослей; остаточная биомасса перерабатывается в биоэтанол и используется для кормления животных; завод по производству биодизеля и комплекс водорослевых ферм использует непитьевую (техническую) или соленую воду; не потребляет традиционные топлива (нефть, уголь), а самообеспечивается электрической и тепловой энергией; комплекс не загрязняет окружающую среду выбросами углекислого газа, а использует CO_2 в замкнутом цикле.

Литература

[1] Renewable Energy Focus, March/April 2011, p. 1, 4. 52-54.
[2] Photon International, March 2011, p. 1. 186.
[3] Bioenergy International, 2011, № 3 (20), p. 14.
[4] Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2007, 315 с.
[5] Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2009, т. 1, 118 с, т. 2, 227 с, т. 3 310 с.
[6] Стребков Д.С., Некрасов А.И., Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2008, 351 с.
[7] Bioenergy International, 2011, № 3 (20), p. 14.
[8] Стребков Д.С. Энергетическое использование биомассы. // Возобновляемая энергия, 1998, № 3, с. 9-12.
[9] Strebkov D.S., Bezrukikh P.P., Tyukhov I.I. Biomass energy conversion in Russia World Renewable Energy Congress. Energy Efficiency, Policy and the Environment, 1998, Italy, Florence, p. 2012-2015.
[10] Росс М.Ю., Стребков Д.С. Биодизельное топливо из водорослей. –М. Изд. ГНУ ВИЭСХ, 2008, 251 с.

Сведения об авторах

Стребков Дмитрий Семенович родился 11 марта 1937 г. в г. Винница Украинской ССР. В 1959 г. окончил факультет электрификации Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства - МИМЭСХ (ныне Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина). С 1960 по 1987 гг. ВНИИТ, инженер – зам. главного конструктора. С 1987 г. по настоящее время директор

Харченко Валерий Владимирович родился 18 декабря 1938 года. После окончания средней школы в городе Владикавказ поступил в Ташкентский политехнический институт. После его окончания много лет работал в Ташкенте в различных организациях по электронному материаловедению,в частности, по получению кремния, в том числе и для солнечных элементов. С 2003 года работает в ВИЭСХ в должности главного научного сотрудника. Основное

Всероссийского (до 1992 г. Всесоюзного) научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). С 1987 г. член-корреспондент, а с 1997 г. - действительный член Россельхозакадемии. 1971-кандидат, 1983 г-доктор технических наук.

направления исследований -технологии возобновляемой энергетики. Кандидат химических наук (1969), доктор технических наук (1987).
Основное направления исследований - технологии возобновляемой энергетики. Кандидат химических наук
e-mail: kharval@mail.ru

**Este recomandată de colegiul de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Internaționale „Energetica Moldovei-2012. Aspecte regionale de dezvoltare". Ediția a II-a.*

GAZIFICAREA BIOMASEI SOLIDE ŞI COSTUL SINGAZULUI PRODUS

GHERMAN Cristina, ŞVEŢ Olga, ARSENI Lucia
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. În lucrarea dată a fost determinat costul singazului produs din paie şi chips-uri la diferite capacităţi ale gazificatorului, în condiţiile Republicii Moldova. Pentru acesta, au fost determinate ratele de creştere ale costului anual. Costul nivelat al singazului a fost comparat cu costul nivelat al gazelor naturale.
Cuvinte-cheie: biomasă solidă, gazificare, singaz, rata de creştere, cost nivelat.

SOLID BIOMASS GASIFICATION AND THE COST OF THE SYNGAS

GHERMAN Cristina, ŞVEŢ Olga, ARSENI Lucia
Technical University of Moldova

Abstract. There has been determined the cost of syngas produced from straw and wood chips, for gasifiers of different capacities, under the conditions of the Republic of Moldova in this paper. The annual cost growth rates have been calculated. The levelized cost of syngas has been compared with the levelized cost of natural gas.
Keywords: solid biomass, gasification, syngas, growth rate, levelized cost.

ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДОЙ БИОМАССЫ И СТОИМОСТЬ ПРОИЗВЕДЕННОГО СИНГАЗА

ГЕРМАН Кристина, ШВЕЦ Ольга, АРСЕНИ Лучия
Технический Университет Молдовы

Аннотация. В данной работе была рассчитана стоимость синтез-газа, произведенного из соломы и чипсов, в газификаторах различных мощностей, в условиях Республики Молдовы. Для синтез-газа был определен годовой прирост стоимости. Выровненная стоимость синтез-газа была сравнена с выровненной стоимостью природного газа.
Ключевые слова: твёрдая биомасса, газификация, синтез-газ, прирост стоимости, выровненная стоимость.

1. INTRODUCERE

Republica Moldova este dependentă de resursele energetice din import. În anul 2010, consumul de gaze naturale a constituit cca 43 % din consumul total de energie în ţară [1]. În ultimii ani, costul acestora este în continuă creştere. Rata anuală de creştere a costului gazelor naturale este aproximativ 8% anual (valoarea medie estimată pe o perioadă de 17 ani).
În aceste condiţii, este cazul să ne orientăm către energia produsă din resurse indigene. La nivel local, cea mai accesibilă şi mai uşor a fi valorificată resursă este biomasa solidă. Aceasta poate fi uşor convertită în diverse tipuri de energie, printre care şi *gazul de sinteză* sau *singazul*.
Gazificarea este o tehnologie de conversie a biomasei solide (în special a biomasei lemnoase) în gaze combustibile. În prezent, preocupările de mediu şi preţurile crescânde la combustibilii tradiţionali fac ca această tehnologie să devină tot mai atractivă pentru producerea energiei.
Avantajul de bază al tehnologiei constă în posibilitatea convertirii biomasei în singaz, pentru producerea ulterioară a electricităţii prin intermediul tehnologiilor mature, precum motorul cu ardere internă.
În lucrarea dată se pune problema evaluării costului singazului produs din biomasă lemnoasă în condiţiile Republicii Moldova. Pentru aceasta se va utilizată metoda modelului dinamic de determinare a cheltuielilor. De asemenea, în baza datelor obţinute va fi determinată rata anuală de creştere a costului singazului. Costul nivelat al singazului urmează a fi comparat cu costul gazelor naturale din import.

2. O SCURTĂ PREZENTARE A TEHNOLOGIEI DE GAZIFICARE A BIOMASEI SOLIDE

Gazeificarea biomasei reprezintă un proces termochimic de conversie a unei materii organice într-un produs gazos (singaz), prin intermediul oxidării parțiale a acesteia. Procesul are loc la temperaturi foarte ridicate, cu cantități mici de aer, pentru a nu admite arderea completă a biomasei, dar care să fie suficientă pentru realizarea gazificării [2].
Sistemele de gazeificare transformă biomasa solidă într-un amestec de gaze. Componentele de bază ale acestuia sunt, hidrogenul (H_2), metanul (CH_4) şi monoxidul de carbon (CO). În afară de aceasta, în componența singazului se mai numără bioxidul de carbon (CO_2), azotul (N_2) şi alte gaze inerte.
Principalul element al unei instalații de gazeificare a biomasei solide este gazeificatorul, numit şi reactor. Instalația mai include un sistem de purificare şi condiționare a gazului şi o instalație de stocare a singazului obținut.
Conversia biomasei începe cu procesele de uscare şi fărâmițare, după care, aceasta este direcționată în buncărul reactorului de gazificare (fig. 1).

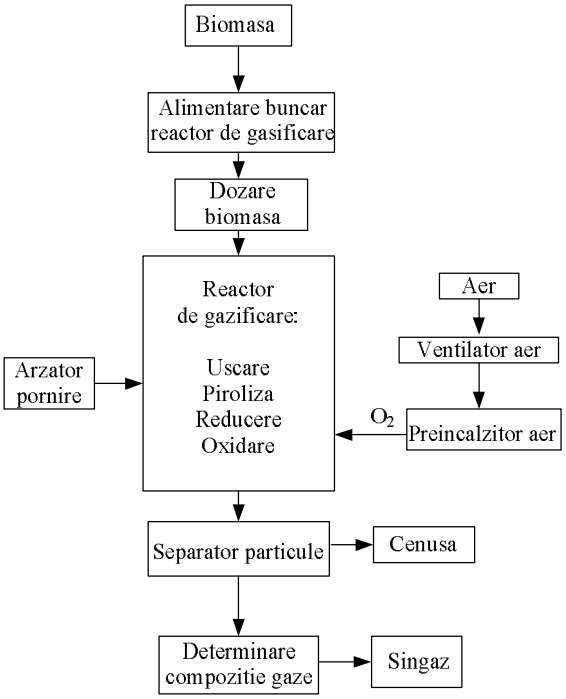


Figura 1. Procesul de gazificare a biomasei

Alimentarea reactorului se face prin intermediul unui dozator. Cu ajutorul arzătorului de pornire, ce funcționează în baza unui combustibil fosil, are loc întreținerea procesului de oxidare a biomasei.
În calitate de agent de gazificare este utilizat aerul. Acesta este îmbogățit inițial cu oxigen, după care este încălzit şi introdus în sistem.
În reactor, biomasa este supusă următoarelor procese: uscare, piroliză, reducere şi oxidare, în urma cărora se obține gazul de sinteză şi cenuşa.
Cu ajutorul unei pâlnii, gazul obținut este curățat de particulele solide şi apoi trecut printr-un ciclon turbionar, unde are loc separarea particulelor fine. Cenuşa este scoasă din proces cu ajutorul unui dozator, după care este stocată într-un colector special.

3. APLICAȚIILE PRINCIPALE ALE SINGAZULUI

Singazul este produsul final al procesului de gazificare a materiei solide organice ca rezultat al descompunerii termice a acesteia. În urma acestui proces se formează produse solide, lichide şi gazoase.

Produsul *solid* are un conținut de carbon mai mare de 76 % şi poate fi utilizat direct în scopuri industriale.

Produsele *lichide* pot fi folosite drept combustibil în cazane, turbine cu gaze sau motoare dieselProdusul *gazos* sau *singazul* poate avea mai multe aplicații în dependență de proprietățile acestuia.

Calitatea singazului produs depinde de tipul agentului de gazificare (aer, abur sau oxigen), metoda de procesare şi condițiile procesului de operare.

De obicei, aerul este utilizat ca agent de gazeificare. Tehnologia gazeificării cu oxigen/abur şi hidrogenarea, este, de asemenea, destul de răspândită. Utilizarea aburului drept catalizator influențează pozitiv performanța şi eficiența globală a procesului de gazeificare a biomasei solide

Singazul produs poate avea diferite valori ale căldurii inferioare de ardere (tab. 1).

Tabelul 1. Agentul de gazificare şi valoarea căldurii inferioare de ardere a singazului

Nr. d/o.	Agent de gazeificare	Căldură inferioară de ardere, MJ/m^3	
1	Aer, abur/aer	mică	4-6
2	O_2, abur	medie	12-18
3	H_2, hidrogenare	înaltă	40

În dependență de valoarea căldurii inferioare de ardere, singazul poate fi utilizat în mai multe domenii (fig. 2) :

- Producerea directă a electricității (valoare mică)
- Transport - gaze combustibile (valoare mică)
- Industria chimică - producerea metanului şi a metanolului (valoare medie şi înaltă), etc.

Hidrogenul, un compus al singazului, în stare pură, poate fi utilizat la producerea pilelor de combustie pentru automobile şi producerea energiei.

Prin intermediul procesului *Fischer-Tropsch*, un mol de CO reacționează cu doi moli de H_2 formând astfel alcooli primari (C_xH_{2x}). Prin intermediul reacției catalitice dintre CO şi CO_2 cu H_2 se obține metanolul (CH_3OH).

În cele mai multe cazuri, gazeificarea biomasei se realizează cu scopul producerii gazelor combustibile (cu o valoare a căldurii inferioare de ardere medie sau joasă) care, ulterior, pot fi folosite drept combustibil pentru motoarele cu ardere internă datorită unui randament relativ bun al acestora.

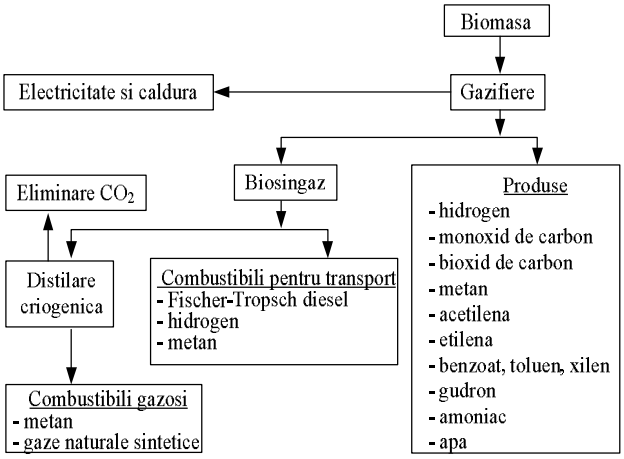


Figura 2. Derivate ale singazului produs din biomasă solidă

Producerea electricității din singaz mai poate fi realizată şi prin *tehnologia turbinelor cu gaze sau tehnologia ciclului combinat cu gazificare integrată* (IGCC), ce permite valorificarea biomasei cu o eficiență destul de mare.

4. COSTUL SINGAZULUI PRODUS ÎN INSTALAȚII DE MICĂ ŞI MEDIE PUTERE

De regulă, singazul se produce în zona locului de consum sau în zona disponibilității materiei prime. Costul acestuia depinde mult de tehnologia de gazeificare aplicată, caracteristicile materiei prime şi capacitatea instalației de gazeificare.

Pentru determinarea costului singazului produs a fost aleasă tehnologia gazeificării cu aer, cu puteri instalate de: 150, 750, 1300 şi 7000 kW, ce utilizează ca materie primă paiele sau aşchiile de lemn (chips-urile).

Tehnologia considerată este mai puțin costisitoare în comparație cu altele, însă singazul obținut are o căldură inferioară de ardere joasă. Pentru calcule a fost acceptată valoarea căldurii inferioare de ardere a singazului de 6 MJ/m^3.

Costului singazului a fost determinat pentru două scenarii de calcul: *scenariul optimist* şi *conservativ* pentru ambele tipuri de materie primă utilizată.

Scenariul optimist este caracterizat de un set de informații inițiale, care conduce către valoarea minimă a lui costului anual sau nivelat al singazului ob□inut -(rata de creştere a cheltuielilor pentru exploatare şi mentenanță – min., costul combustibilului şi rata anuală de creştere a acestuia – min., valoarea căldurii inferioare de ardere a combustibilului – max.).

Scenariul conservativ, la rândul său, este caracterizat de un alt set de informații inițiale, care conduce către valoarea maximă conservativă a costului anual sau nivelat al singazului.

Calculul costului singazului a fost realizat prin acceptarea unor parametri, comuni pentru utilizarea paielor şi a chips-urilor drept combustibil:

- *Investiția specifică* în gazificator, este una mică, datorită tehnologiei de gazificare considerate. Valoarea acesteia variază de la 2000 €/kW pentru capacitatea de 150 kW până la 600 €/kW pentru 7000 kW putere instalată [4].
- *Durata de studiu.* În calcule a fost acceptată o durată de studiu de 15 ani, unică pentru toate instalațiile, pentru a evita favorizarea unei sau altei opțiuni.
- *Durata de utilizare a puterii maxime*, reprezintă timpul de funcționare al instalației pe parcursul unui an, la parametri nominali. Acest parametru, de asemenea, este considerat unul comun şi constituie 8000 h/an,

- *Cheltuielile pentru exploatare şi mentenanţă* sunt admise la nivelul de 4% din valoarea investiţiei în gazificator,
- *Randamentul instalaţiei* este de 65 % [4].
- *Rata anuală de creştere a cheltuielilor pentru exploatare şi mentenanţă.* În calcule a fost acceptată rata de 5% pentru scenariul optimist şi 7% - cel conservativ.
- *Costul combustibilului* în anul de referinţă. Costul paielor, acceptat în calcule: 40-60 €/t, iar costul chips-urilor: 80-100 €/t.
- *Rata anuală de creştere a costului combustibilului:* 3% pentru scenariul optimist şi 5% pentru cel conservativ.
- *Căldura inferioară de ardere,* reprezintă o caracteristică importantă a biomasei utilizate. Valorile considerate în calcule - paie: 9-14 MJ/kg, aşchii de lemn: 10-16 MJ/kg.
- *Rata anuală de creştere a consumului specific de combustibil* precum şi *rata anuală de degradare a instalaţiei* sunt admise la nivelul de 0,5 % anual;
- *Rata de actualizare* sau *costul capitalului* pentru toate instalaţiile este de 12 % anual.

Costul singazului produs ($c_{t,sing}$) a fost determinat, utilizând modelul dinamic de calcul, care presupune raportarea cheltuielilor de calcul anuale (CA_t) la volumul anual de singaz produs în anul respectiv (V_t) –

$$c_{t,\,sing} = CA_t / V_t. \qquad (1)$$

Cheltuielile de calcul anuale (CA_t) cuprind cheltuielile anuale cu investiţia ($CA_{I,t}$), cheltuielile anuale pentru exploatare şi mentenanţă ($CA_{E\&M,t}$) şi cheltuielile anuale cu materia primă ($CA_{comb,t}$) -

$$CA_t = CA_{I,t} + CA_{E\&M,t} + CA_{comb,t} \qquad (2)$$

În tabelul 2 sunt prezentate rezultatele calculelor realizate pentru gazificatorul cu puterea de 150 kW ce funcţionează de paie şi chips-uri, pentru primul şi ultimul an de funcţionare al instalaţiei, scenariul optimist.

Tabelul 2. Costul singazului produs din paie, 150 kW

	Indicator	Unitate	Valoare			
			primul an		ultimul an	
			paie	chips	paie	chips
1.	$CA_{I,1}$	mii €	44	44	44	44
2.	$CA_{E\&M}$	mii €	12.6	12.6	24.9	24.9
3.	CA_{comb}	mii €	19.5	34.2	29.6	51.7
4.	CA_1	mii €	76.1	90.8	98.6	120.6
5.	V_1	MWh/an	1194	1194	1113.5	1113.5
6.	$\mathbf{c_{1,\,sing}}$	€/mie m	**106**	**127**	**148**	**181**

Evoluţia parametrilor de intrare determină creşterea costului singazului de la 106 €/mie m^3 în primul an la 148 €/mie m^3 în ultimul an al duratei de studiu în cazul utilizării paielor şi pentru chips-uri 127 în primul an şi respectiv 181€/mie m^3 în ultimul an.

Conform tabelului 2, structura costului anual al singazului produs din paie este după cum urmează: 59% - cheltuielile cu investiția, 22% - cheltuielile cu exploatarea şi mentenanța şi 19% - cheltuielile cu combustibilul.
În tabelul 3 este prezentat costul singazului obținut din paie şi chips-uri în primul an de funcționare a gazificatorului, pentru toate capacitățile considerate în calcule, valoarea optimistă şi conservativă.

Tabelul 3. Costul singazului în primul an, €/mie m^3

Capacitatea gazificatorului, kW		**150**	**750**	**1300**	**7000**
$c_{1,\ sing\ -}$	paie	106	83	71	51
$c_{1,\ sing\ +}$		144	121	109	89
$c_{1,\ sing\ -}$	chips	127	103	91	72
$c_{1,\ sing\ +}$		177	153	141	121

Datele obținute arată că costul singazului variază în limitele 51-144 €/mie m^3 pentru paie şi 75-177 €/mie m^3, în cazul utilizării chips-urilor.
În tabelul 4 este prezentat costul singazului produs în primul an, exprimat în echivalent gaze naturale. Acest lucru a fost realizat pentru o mai bună înțelegere a valorilor obținute.

Tabelul 4. Costul singazului în primul an, exprimat în echivalent gaze naturale, €/mie m^3

Capacitatea gazificatorului, kW		**150**	**750**	**1300**	**7000**
$c_{1,\ sing\ -}$	paie	591	463	396	285
$c_{1,\ sing\ +}$		804	675	608	497
$c_{1,\ sing\ -}$	chips	709	575	508	402
$c_{1,\ sing\ +}$		988	854	787	675

Din tabelul 4 rezultă ceea ce este de aşteptat, că pentru gazificatorul cu cea mai mare capacitate, costul singazului produs este cel mai mic. În particular, în cazul paielor costul singazului rezultă egal cu 285 €/mie m^3 versus 349 €/mie m^3 pentru gazele naturale din import [4].
Pentru o mai bună percepere a costului singazului obținut au fost admise următoarele ipoteze:

- primul an de funcționare a instalației – anul curent,
- costul singazului produs, exprimat în echivalent gaze naturale, se va compara cu costul actual al gazelor naturale, furnizate centralelor electrice cu termoficare (CET) şi centralelor termice (CT), care este de 5237 lei/mie m^3 [4] sau 349 €/mie m^3, pentru o rată medie anuală de schimb valutar, r_s = 15 lei/€ .

Astfel, comparând costul singazului produs în primul an, cu costul actual al gazelor naturale, se observă că producerea singazului din paie în capacități mari este atractivă. De exemplu, pentru gazificatorul cu puterea de 7 MW, costul singazului în primul de funcționare variază în intervalul 285 – 497 €/mie m^3.

În baza evoluției costului singazului pe întreaga durată de studiu, pentru ipotezele de calcul considerate, au fost determinate ratele anuale de creştere ale costului singazului (tab. 5).

Tabelul 5. Rate anuale de creştere ale costului singazului

Capacitatea gazificatorului, kW		**150**	**750**	**1300**	**7000**
r_{sing-}	paie	2,4	2,5	2,6	2,8
r_{sing+}		4,1	4,3	4,5	4,9
r_{sing-}	chips	2,6	2,7	2,8	3
r_{sing+}		4,4	4,6	4,7	5,1

Din analiza cifrelor obținute rezultă că rata anuală de creştere a costului singazului variază în dependență de puterea gazificatorului şi are valori cuprinse între 2,4 şi 4,9 % pentru gazeificarea paielor, şi 2,6 - 5,1 % – pentru chips-uri.
Aceste rate pot fi utilizate la determinarea costului energiei produse prin diferite tehnologii ce utilizează singazul drept combustibil precum MAI, BIGCC etc.
Costul nivelat al singazului produs pe întreaga durată de studiu a fost determinat prin raportarea cheltuielilor totale actualizate (CTA) aferente producerii singazului, la volumul total actualizat al singazului produs pe întreaga durată de studiu (VTA)

$$CNA_{sing} = CTA/VTA. \qquad (3)$$

Cheltuielile totale actualizate au fost calculate ca suma cheltuielilor anuale de calcul (CA_t) actualizate, realizate pe întreaga durată de studiu –

$$CTA = \sum_{t=1}^{15} CA_t \cdot (1+i)^{-t}, \qquad (4)$$

Volumul total actualizat al singazului produs se determină conform formulei -

$$VTA = \sum_{t=1}^{15} V_t \cdot (1+i)^{-t}, \qquad (5)$$

unde V_t reprezintă volumul anual al singazului produs.

Costul nivelat al singazului pe întreaga durată de studiu, pentru ipotezele considerate, este prezentat în tabelul 6.

Tabelul 6. Costul nivelat al singazului, €/mie m^3

Capacitatea gazificatorului, kW		**150**	**750**	**1300**	**7000**
CNA_{sing-}	paie	119	93	80	59
CNA_{sing+}		176	149	136	114
CNA_{sing-}	chips	144	118	105	83
CNA_{sing}		220	193	179	157

+					

Acelaşi cost, exprimat în echivalent gaze naturale, este prezentat în tabelul 7.

Tabelul 7. Costul nivelat al singazului, exprimat în echivalent gaze naturale, €/mie m^3

Capacitatea gazificatorului, kW		**150**	**750**	**1300**	**7000**
CNA_{sing} -	paie	664	519	446	329
CNA_{sing} +		982	831	759	636
CNA_{sing} -	chips	804	658	586	463
CNA_{sing} +		1128	1077	999	876

Considerând datele din tabelul 6, în baza valorilor optimiste şi conservative ale costului nivelat al singazului, au fost formate intervalele de incertitudine ale costului singazului, prezentate în figura 3.

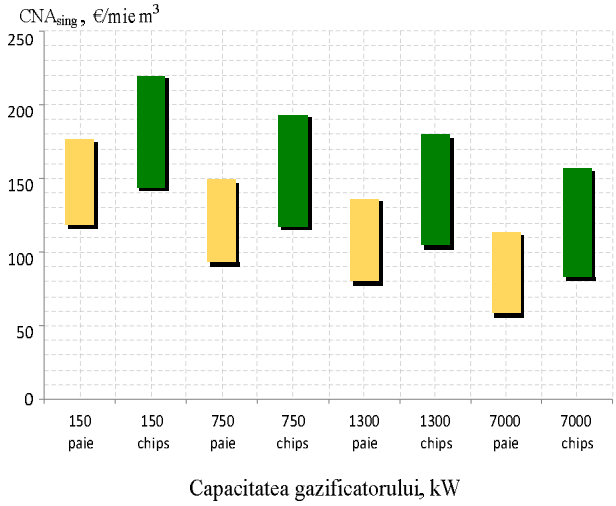


Figura 3. Intervalele valorilor costului nivelat al singazului

Din figura 3 uşor se observă că, odată cu majorarea capacității gazificatorului, costul nivelat al singazului produs scade.

Utilizarea paielor comparativ cu chips-urile, conduce către costuri mai mici ale singazului; paiele au o căldură de ardere mai mică decât chips-urile, dar sunt şi mai ieftine decât acestea.

Pentru compararea numerică a costului nivelat al singazului produs cu costul gazelor naturale, a fost determinat costul nivelat al gazelor naturale pentru perioada de studiu de 15 ani. Pentru aceasta, au fost admise 3 valori ale ratei de creştere a costului gazului natural: 2,5 şi 5% (ca şi în cazul evoluției costului singazului); şi 8 % - o rată istorică a evoluției costului gazelor naturale. Astfel, pentru rata de 2,5% a rezultat un cost nivelat de 407 €/mie m^3, pentru 5% - 478 €/mie m^3, iar pentru 8% - 582 €/mie m^3 gaze naturale (fig. 5).

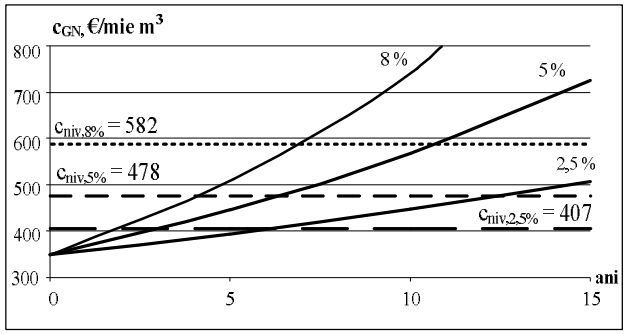


Figura 4. Evoluția costului anual al gazelor naturale şi costul nivelat al acestora

Datele obținute permit de a observa că producerea singazului este atractivă din punct de vedere economic la capacități ale gazificatorului mai mari de 1300 kW.

CONCLUZII

1. Promovarea producerii energiei din resurse regenerabile este o preocupare la nivel mondial. În Republica Moldova, biomasa solidă este o resursă regenerabilă accesibilă, ce merită a fi valorificată în scopuri energetice.
2. Gazificarea biomasei solide este o tehnologie modernă, atractivă, utilizată pe larg pentru producerea energiei.
3. În condițiile Republicii Moldova producerea singazului, este atractivă, din punct de vedere economic, doar pentru instalații cu capacitatea ce depăşeşte 1 MW.
4. Dacă tendința actuală de creştere a costului gazelor naturale se va menține, producerea singazului, în condiții locale, va deveni mai atractivă.
5. Utilizarea paielor versus chips-urile pentru producerea singazului conduce către costuri mai mici.

BIBLIOGRAFIE

[1] Balanța energetică a Republicii Moldova, culegeri statistice 2010. http://www.statistica.md/pageview.php?l=ro&id=2197&idc=263

[2] Arion, Valentin „Biomasa şi utilizarea ei în scopuri energetice”/Valentin Arion, C. Bordeaianu, A. Boşcăneanu, A. Capcelea [et al.], Ch.: „Garomond Studio” SRL, 2008. – 268 p.

[3] http://www.altprofits.com/ref/ct/wei/wtgf/syngas.html

[4] Economic Assessment of Combustion Technologies for Specified Risk Material Disposal in British Columbia, STANTEC Consulting Ltd., Canada, December 2008, pp.49. http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/SRM_Program/Reports/Economic_Assessment_of_Combustion_Technologies_for_SRM.pdf

[5] http://www.anre.md/

**Este recomandată de colegiul de redacție a culegerii de lucrări a Conferinței Internaționale „Energetica Moldovei-2012. Aspecte regionale de dezvoltare". Ediția a II-a.*

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Литвин В. И.
Институт энергосбережения и энергоменеджмента НТУУ «КПИ»,

Аннотация. В статье описан алгоритм предварительной оценки результатов внедрения энергоэффективных мероприятий, основанный на использовании нейронной сети Кохонена. Предложенный подход позволяет имея статистику внедрения аналогичных мероприятий делать предварительные выводы о их целесообразности на конкретных объектах, прогнозировать величину экономии и затраты на внедрение.
Ключевые слова: энергоэффективность, экспресс-оценка.

EVALUAREA-EXPRES A EFICIENȚEI DE IMPLEMENTARE A MĂSURILOR DE CONSERVARE A ENERGIEI

Litvin V.I.

Rezumat. În articol este descris algoritmul de estimare prealabilă a implementării a măsurilor energoeficiente, bazat pe utilizare rețelei neuronale tip Kohonen. Abordare propusă dă posibilitatea utilizând statistica de implementare a măsurilor analogice de a face concluzii despre practicabilitatea la obiectele concrete şi de a prognoza valoarea economiei şi cheltuielile la implementare.
Cuvinte-cheie: eficiență energetică, evaluare-expres.

EXPRESS-EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF ENERGY SAVING ACTIVITIES

Litvin V.I.

Abstract. Pre-analyze algorithm of estimation the energy conservation measures results is described in the article. It based on the Kohonen neural networks and allows making conclusions about the savings and needed costs using the statistic data about the similar projects.
Keywords: energy efficiency, express-evaluation.

Введение

Внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности требует выполнения значительного объема подготовительных работ, в частности проведения энергетических аудитов, которые позволили бы дать ответ на вопросы:

- какая эффективность внедрения энергоэффективных мероприятий для конкретного объекта?
- какова стоимость внедрения мероприятий?

В работах [1, 2, 4, 5, 6 7, 10] описаны различные методы оценки эффективности тех или иных мероприятий, но они основаны на необходимости проведения энергоаудита. Данный подход является оптимальным при внедрении мероприятий по повышению энергоэффективности на крупных единичных объектах. В случае же массового внедрения мероприятий на большом количестве однотипных объектов (жилые дома, бюджетные здания и т. п.) проведение энергетических аудитов на всех объектах (количество которых может доходить до сотен и тысяч) является затратным как с точки зрения финансов, так и с точки зрения времени.

Для выполнения предпроектной оценки эффективности внедрения мероприятий для значительного количества объектов необходим инструмент, который смог бы со значительной долей вероятности определить показатели проекта и указать на объекты, которые требуют первоочередного обследования.

Указанная оценка может быть выполнена при наличии статистических данных про внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности на подобных

объектах, полученных, в частности, с помощью систем мониторинга энергопотребления [5, 9, 10].

Постановка задачи

Имеется информация о внедрении мероприятий на некотором количестве (N) объектов:

- характеристика объекта Xi, включающая данные о потреблении энергоресурсов до внедрения проекта, данные о геометрических характеристиках объекта (площадь, объем), данные о режиме работы объекта и другие данные, которые влияют на режим энергопотребления и стоимость внедрения мероприятий;
- данные о величине экономии (ΔEi) энергоресурсов сэкономленных в результате внедрения комплекса мероприятий (M);
- данные о стоимости внедрения мероприятий (Ci).

Необходимо для объектов, на которых планируется внедрение аналогичного комплекса мероприятий (M), оценить стоимость и эффективность внедрения.

Предлагается для решения поставленной задачи использовать нейронную сеть Кохонена [2, 3, 7, 8], которая имеет следующие преимущества:

- возможность производить обучение «без учителя»;
- возможность автоматически формировать количество классов;
- возможность проводить переобучение сети без ее модификации, после появления большего числа примеров.

Алгоритм экспресс-оценки с использованием нейронной сети Кохонена:

1. Выделяется вектор входных переменных, характеризующий объект Xi.
2. Выбирается предварительная конфигурация нейронной сети Кохонена с избыточным количеством классов.
3. На вход сети последовательно подаются вектора входных переменных Xi и проводится обучение сети.
4. Обучение сети продолжается до тех пор, пока изменения центра классов Cj не станет меньше заданной величины δ.
5. Объекты группируются в соответствии с номером класса NCj и для каждой группы определяются характериситики внедрения энергоэффективных мероприятий (величина экономии и стоимость внедрения) как среднее для объектов класса.
6. На вход полученной сети подается вектор, характеризующий объект для которого необходимо сделать оценку эффективности внедрения комплекса мероприятий (M),
7. Определяется класс, к которому принадлежит объект и по полученным ранее для класса усредненным характеристикам определяется эффективность внедрения комплекса мероприятий.

Алгоритм классификации с применением сети Кохонена

Рассмотрим процесс классификации объектов с применением сети Кохонена [3].

В качестве входных данных выбирается вектор параметров одного объекта. Результатом работы сети будет код класса, к которому принадлежит предъявленный на входе объект. В нейросетях принята кодировка номером канала. Потому сеть будет иметь N выходов, по числу классов, и чем большее значение принимает выход номер m_0, тем более "уверенность" сети в том, что входной объект принадлежит к классу m_0.

Для оценки принадлежности объекта к классу выбрана евклидова мера близости .

В этом случае ядро класса, который минимизирует сумму мер близости для объектов этого класса, совпадает с центром тяжести объектов:

$$c^{m_0} = \frac{1}{N(m_0)} \sum_{p:m(p)=m_0} x^p \qquad (1)$$

где $N(m_0)$ – число объектов x^p в классе m_0.

Во время разбивки на классы должна быть минимизирована суммарная мера близости для всего множества $\{x^p\}$ входных объектов:

$$D = \sum_p \sum_i \left(x_i^p - c_i^{m(p)}\right)^2 = \sum_p \left[\left(X^p, X^p\right) - 2\left(X^p, C^{m(p)}\right) + (C^{m(p)}, C^{m(p)})\right] \qquad (2)$$

– расписано скалярное произведение. В этой сумме два слагаемого не зависят от способа разбивки и постоянные: $\sum_p \left(X^p, X^p\right) = const$, $\sum_p (C^{m(p)}, C^{m(p)}) = const$ (под X^p и $C^{m(p)}$ понимаются векторы, которые характеризуют соответственно объект и центр класса).

Потому задача поиска минимума эквивалентна поиску максимума выражения:

$$\min D \to \max \sum_p \sum_i x_i^p c_i^{m(p)} \qquad (3)$$

Такой алгоритм легко реализуется в виде нейронной сети. Чтобы определить класс, к которому относится объект, нужно выбрать среди всех нейронов данного слоя один с максимальным выходом — это осуществляет интерпретатор.

На рис. 1 изображена схема нейронной сети, которая использует эвклидову меру близости для классификации объектов, называемая сетью Кохонена .

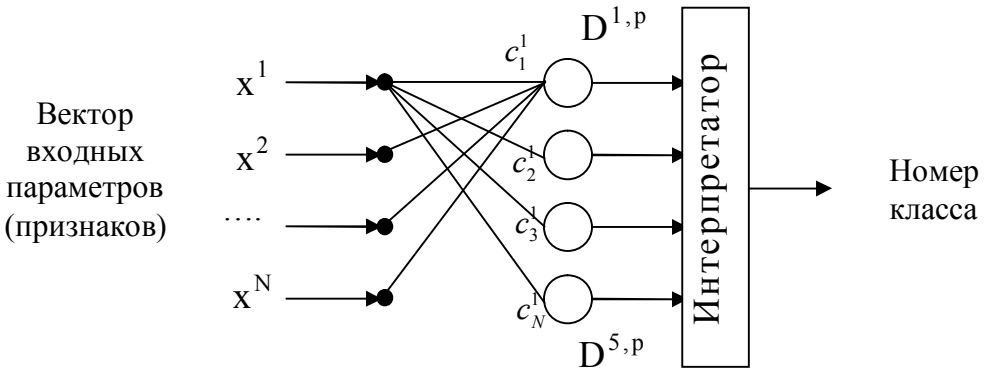


Рис. 1. *Схема сети Кохонена*

Нейроны слоя Кохонена генерируют сигналы $D^{m,p}$. Интерпретатор выбирает максимальный сигнал слоя Кохонена и выдает номер класса *m,* соответствующий номеру входа, по которому интерпретатором получен максимальный сигнал. Это отвечает номеру класса объекта, который был предъявлен на входе, в виде вектора x^p.

Ядра C^m являются весовыми коэффициентами нейронов. Каждый нейрон Кохонена запоминает одно ядро класса, и отвечает за определение объектов в своем классе, то есть величина выхода нейрона тем больше, чем ближе объект к данному ядру класса.

Общее количество классов совпадает с количеством нейронов Кохонена. При изменении количества нейронов, можно динамически менять количество классов.

В рассмотренном примере нейроны Кохонена имеют линейную функцию активации.

Входные векторы сети нормируются:

$$\frac{x^p}{|x_{\max}|} \to x^p \qquad (4)$$

Обычно начальные значения в нейронных сетях выбираются малыми случайными числами. Для слоя Кохонена такой выбор возможен, но имеет недостатки. Так как ядра классов нормируются, то и начальные значения нужно нормировать.

Рассмотрим алгоритм классификации.

1. Присваиваются начальные значения весовым коэффициентам.
2. Подается на вход один из векторов x^p.
3. Рассчитывается выход слоя Кохонена и определяемый номер нейрона, который выиграл (выход которого максимален) $m_0 : \max_m D^{m,p}$.
4. Корректируются весы нейрона, который только что выиграл:

$$w_{m_0} = w_{m_0} + \alpha(x^p - w_{m_0}) \qquad (5)$$

— коррекция записана в виде векторного выражения (вектор весовых коэффициентов w_{m_0} нейрона m_0 имеет столько компонент, сколько их у входного вектора x^p). α - скорость обучения, небольшая положительная величина.

Веса корректируются так, что вектор весовых коэффициентов приближается к текущему входному вектору. Скорость обучения управляет скоростью приближения ядра класса (вектора весовых коэффициентов) к входному вектору x^p.

Алгоритм выполняется до тех пор, пока весовые коэффициенты не перестанут меняться.

Представленный алгоритм был опробован на зданиях бюджетной сферы города Киева. На протяжении 2000-2005 годов был реализован широкомасштабный проект по внедрению систем учета и регулирования потребления тепловой энергии.

В таблице 4 представлены исходные данные (потребление тепловой энергии и площадь) и результаты группировки объектов с помощью нейронной сети Кохонена.

Таблица 1. Исходные данные для экспресс-оценки

№ объекта	Название	Площадь	Годовое потребление тепловой энергии, Гкал	Экономия после внедрения мероприятий, %	№ группы
1	ДНЗ № 68	2000	555,61	24	1
2	ДНЗ № 71	3735	1111,88	44	3
3	ДНЗ № 95	2544	533,33	30	1
	-	-		-	-
45	ДНЗ № 816	3668	997,79	36	3
46	ДНЗ № 819	4022	991,72	34	3

В таблице 2 представлены усредненные характеристики групп с точки зрения эффективности внедрения предложенного комплекса мероприятий.

Таблица 2. Характеристики групп

№ группы	Средняя площадь	Среднегодовое потребление тепловой энергии, Гкал	Усредненная по группе экономия тепловой энергии, %	Примечание
1	2131	741	31	
2	2668	1415	58	Первоочередное внедрение
3	3757	1058	32	
	-		-	
7	665	298	-32	Заниженное потребление, внедрение неэффективно

Подавая на вход сети данные для других подобных объектов, в зависимости от того к какой группе они будут отнесены, можно делать предварительные выводы о целесообразности внедрения комплекса мероприятий. Проверка метода на контрольной выборке (объектах, не входящих в обучающую выборку, на которых были внедрены подобные мероприятия) показала высокую достоверность полученных результатов - более 80% прогнозов было подтверждено. Для увеличения достоверности результатов в зависимости от комплекса энергоэффективных мероприятий могут варьироваться входные переменные и увеличиваться обучающая выборка.

Выводы

1. Предложенный метод экспресс-оценки позволяет с высокой достоверностью определять эффективность от внедрения энергосберегающих мероприятий при условии, что имеется достаточный массив статистических данных.
2. Нейронная сеть Кохонена, используемая в данном методе играет роль экспертной системы, накапливающей и систематизирующей информацию о результатах внедрения энергоэффективных мероприятий.

Библиография

1. Ueno T. Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data [Text] / T. Ueno, S. Fuminori, S. Osamu , T. Kiichiro // Applied Energy.– 2006. – 83. – P. 166–183.
2. Використання класифікації підрозділів по потенціалу енергозбереження для планування впровадження енергозберігаючих заходів/Розен В. П., Чернявський А. В., Литвин В. І., Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т» – Київ, 2005. – 26 с. – Бібліогр.: 6 назв. – Укр. – Деп. в ДНТБ України 5.06.06, №37 – Ук 2006.
3. Дубровин В. И. Эвристический алгоритм классификации и его нейросетевая интерпретация [Текст] / В. И. Дубровин, С. А. Субботин // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2000. – № 1.– С. 72-76.
4. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства: Монографія [Текст] / В. П. Розен, О. І. Соловей, С. В. Брестовський, А. В. Чернявський/ Під заг. Ред. В. П. Розена.– К.: ДП "Іноваційний центр". – 2006 р. – 224 с.
5. Методика оцінки ефективності впровадження проектів з енергозбереження в адміністративних і громадських будівлях м. Києва [Текст] / В. І. Дешко, Ю. В.

Хоренженко, Ю. В. Шовкалюк та інш. – Академтеплоенергопроект – Київ. – 2006. – 12 с.
6. Энергетический менеджмент [Текст] / А. В. Праховник, А. И. Соловей, В. В. Прокопенко и др. – К.: IEE НТУУ "КПИ". – 2001. – 472 с.
7. Розен В. П. Використання класифікації підрозділів по потенціалу енергозбереження для планування впровадження енергозберігаючих заходів/ В. П. Розен, А. В. Чернявський, В. І. Литвин // Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т» – Київ, 2005. – 26 с. – Бібліогр.: 6 назв. – Укр. – Деп. в ДНТБ України 5.06.06, №37 – Ук 2006.
8. Розен В. П. Использование нейронной сети Кохонена для построения типовых графиков потребления энрегии общественными и административными зданиями / В. П. Розен , В. И. Литвин // Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения/под ред. Г. К. Вороновского, И. В. Недина. – К.: Знания Украины, 2007. – С. 365-368.
9. Розен В. П. Моніторинг режимів теплоспоживання об'єктів бюджетної сфери / В. П. Розен, В. І. Литвин// Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: праці 1-го науково-практичного семінару з міжнародною участю, 21-22 жовтня 2009 р. – видавець, Чабаненко Ю. А. – 2009. – С. 386-391.
10. Ячник Е.А. Методика мониторинга проектов энергосбережения организаций [Текст] / Е.А. Ячник, А.А. Школьный // Проблемы недроиспользования: сборник научных трудов. Международный форум-конкурс молодых ученых 21-23 апреля 2010 г. – СПб.: , 2010. – Часть II. – С. 224–227.

Информация об авторе:
Литвин Вадим Иванович. Аспирант Института энергосбережения и энергоменеджмента НТУУ «КПИ», 03056, Киев, ул. Борщаговская, 115, Тел. /факс (+38044) 241-76-25, E-mail: l_vadym@ukr.net