

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛДОВЫ ЗА 1990-2005

Быкова Е.В.

Институт энергетики АНМ

elenabicova@rambler.ru

THE ANALYSIS OF TENDENCIES OF CHANGE OF INDICATORS OF ENERGY SECURITY OF MOLDOVA DURING 1990-2005

Bicova Elena

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

ANALIZA TENDINȚELOR DE SCHIMBARE A INDICATORILOR SECURITĂȚII ENERGETICE ÎN REPUBLICA MOLDOVA PENTRU PERIOADĂ 1990-2005

Bîcova Elena

Institutul de Energetică al AŞM

Rezumat. Este prezentată analiza de schimbări de stare a indicatorilor parametrilor securității energetice cu includerea rezultatelor de calcul pentru anul 2005. Sunt descrise tendințe de schimbare a evaluării integrale de stare al sistemului indicatorilor în întregime și măsurile necesare care trebuie să fie întreprinse pentru îmbunătățirea situației.

Cuvinte cheie. Indicatorul, securitate energetică, evaluarea integrală.

Аннотация. В статье выполнен анализ изменения состояния индикаторов энергетической безопасности с добавлением результатов расчетов за 2005 год. Описаны тенденции изменения интегральной оценки состояния по всей системе индикаторов и необходимые мероприятия по улучшению ситуации.

Ключевые слова. Индикатор, энергетическая безопасность, интегральная оценка

The summary. The change of indicators of energy security with addition of results of calculations for 2005 is analyses in the article. Tendencies of change of an integrated estimation of all system of indicators and necessary actions on improvement of a situation are described.

Keywords. Indicator, energy security, an integrated estimation.

Для исследования состояния энергетической безопасности страны применяется индикативный анализ [1]. Его суть состоит в формировании системы индикаторов, наиболее полно отражающих состояние системы, изучение динамики их изменения в сравнении с пороговыми значениями, которые определяют переход в кризисное состояние. Для кризисных индикаторов формируется комплекс мероприятий и рекомендаций, направленных на улучшение их состояния, а также улучшения состояния всей системы в целом.

Для РМ составлена система из 24 индикаторов (она названа базовой или первоначальной) ,[2] , разделенных по 7 блокам и отражающих основные этапы энергоснабжения потребителей. Для каждого из них на основании статистических и ведомственных данных анализируется динамика изменения за определенный период времени. Это позволяет рассчитать значения индикаторов, определить их пороговые величины и построить шкалы кризисности для каждого индикатора для определения уровня кризисности его состояния.

Проведение мониторинга состояния всей системы индикаторы в целом позволяет увидеть тенденции изменения уровня энергетической безопасности и определить приоритеты в стратегии развития, выявить первоочередные и неотложные направления вложения финансовых средств. Такой мониторинг уже проводился для периода 1990-1999 гг, 2000-2004 гг. В настоящее время выполнены расчеты для 2005 года(на текущий момент только на этот год имеется официальная статистика) , что позволило получить картину изменения состояния за 15 лет.

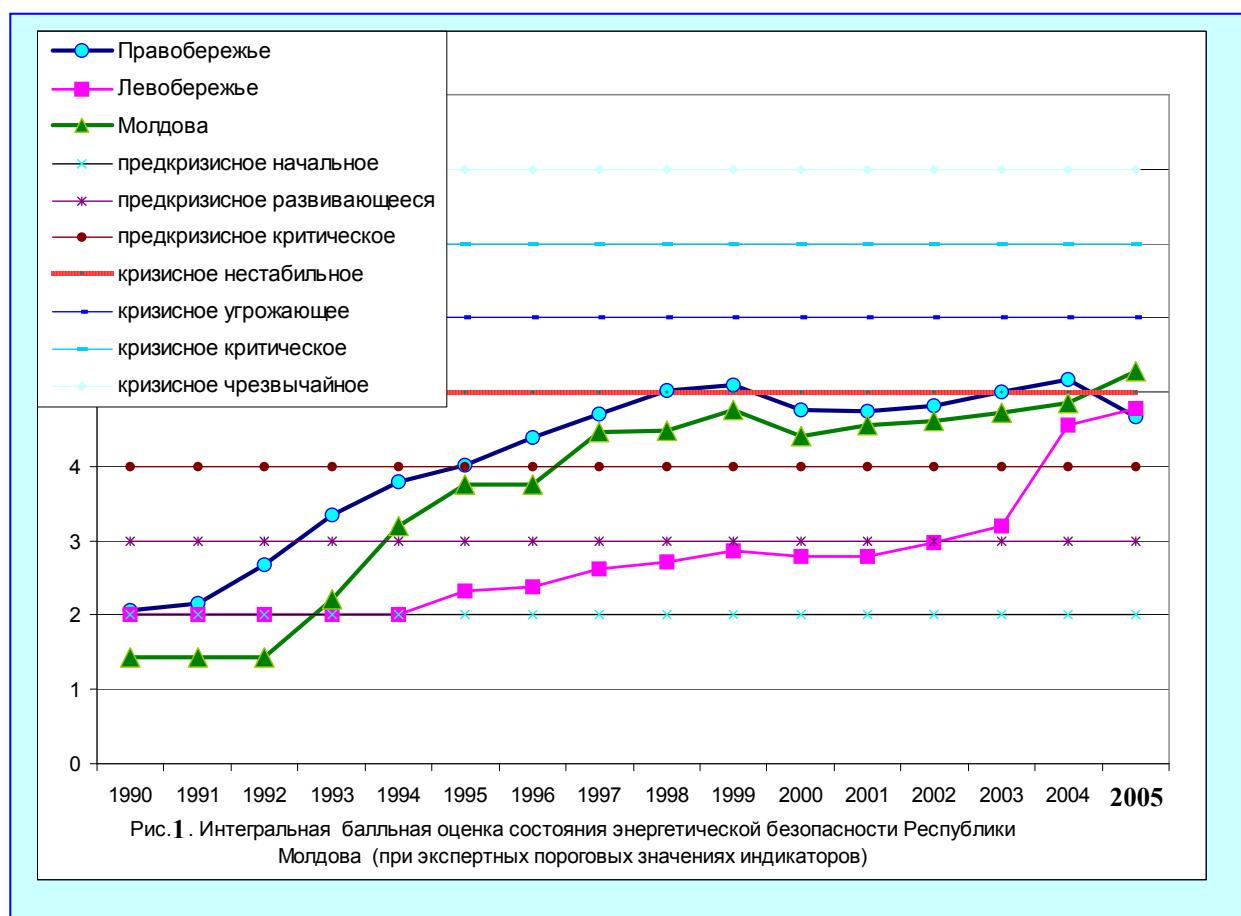
Целью настоящей статьи является анализ тенденций изменений в последние годы, включая 2005 г. Данный анализ проводится на базе системы из 24 индикаторов и содержит следующие этапы:

- 1) сбор и подготовку исходных данных за 2005 для пополнения базы;
- 2) Расширение всего комплекса расчетных таблиц для учета 2005 г;
- 3) построение зависимостей, отражающих динамику изменения индикаторов;
- 4) определение интегральной оценки состояния уровня энергетической безопасности для всей системы индикаторов для 2005 г. и анализ динамики изменения за период 1990-2005 гг.

Пороговые значения для предкризисного, кризисного и базового значения приняты по экспертному методу.

Интегральная оценка состояния уровня энергетической безопасности РМ в 2005 г

Интегральная оценка (рис. 1) для 2005 года по каждому региону и блоку и всей системе индикаторов показала, что по Правобережью ситуация несколько улучшилась и из кризисного нестабильного перешла в предкризисное критическое (балл равен 4,67). Это улучшение связано с ростом выработки электроэнергии на собственных источниках, ростом количества потребляемого топлива, ростом уровня потребления энергии. Однако по-прежнему имеются целые блоки (№ 3 – например), в котором все индикаторы являются кризисными. По Левобережью в 2005 г. ситуация ухудшилась в связи с недогрузкой МГРЭС. В целом по Молдове балл состояния равен 5,27, что показывает кризисную нестабильную зону по шкале кризисности.



Проанализируем динамику изменения некоторых индикаторов в отдельности (рис. 2-8)

Индикатор уровня потребления топлива с 2000 г. несколько улучшился. В Правобережье имеется рост с 0,28 до 0,42 (в 1,5 раза), однако в сравнении с уровнем 1990 года, принятого за

1, данный индикатор по-прежнему находится в кризисной зоне (рис.2). Величина выработки электроэнергии на собственных источниках по-прежнему остается недостаточной- индикатор практически на границе с кризисной величиной (рис.3-4).

Индикатор уровня износа подстанций по-прежнему ухудшается в связи с ростом срока эксплуатации оборудования и находится в зоне кризисного состояния (рис.5). Величина импортируемой электроэнергии в последние 5 лет остается достаточно большой для Правобережья (индикатор в кризисном интервале). Для Молдовы в целом- на границе перехода в кризисное состояние (рис.6). Ввиду малой выработки энергии на собственных источниках и, соответственно, небольшого количества сжигаемого топлива для выработки энергии, величины выбросов CO₂ также невелики. Индикаторы экологического блока, описывающие выбросы CO₂ в атмосферу, находятся в зоне нормального состояния (рис.7).

В последние годы наблюдается рост доходов населения, в связи с чем снижается доля затрат из среднедушевого дохода на приобретение ТЭР. Этот индикатор с каждым годом улучшается, однако по-прежнему находится в кризисном интервале (рис.8).

Индикаторы, значения которых попадают в кризисную зону, сигнализируют о первоочередной необходимости принятия мероприятий именно в данном секторе. Выявленные «узкие» места в процессе энергоснабжения потребителей позволяют проанализировать мероприятия по улучшению состояния и выбрать из них наиболее эффективные.

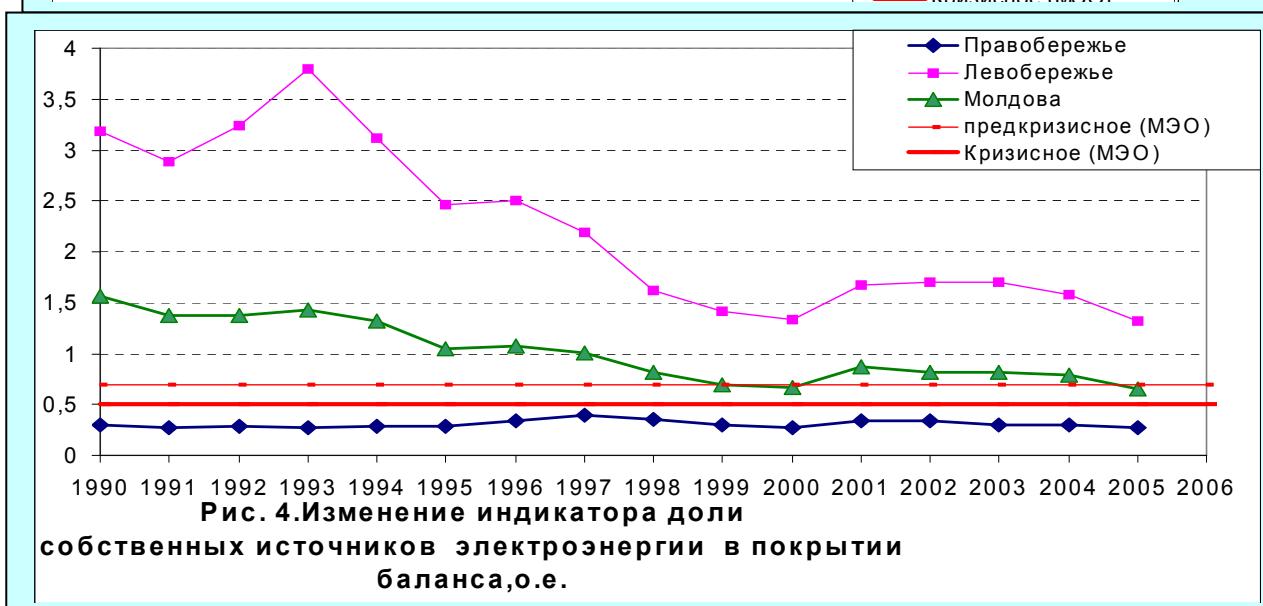
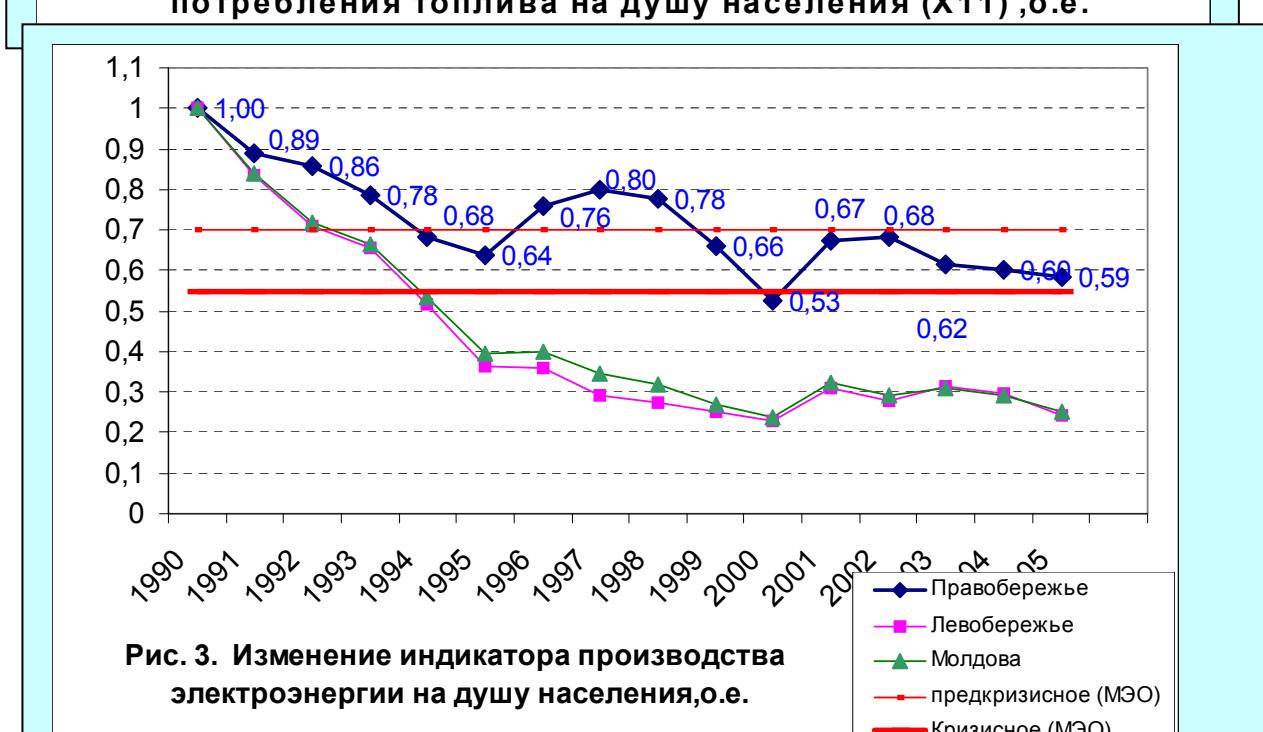
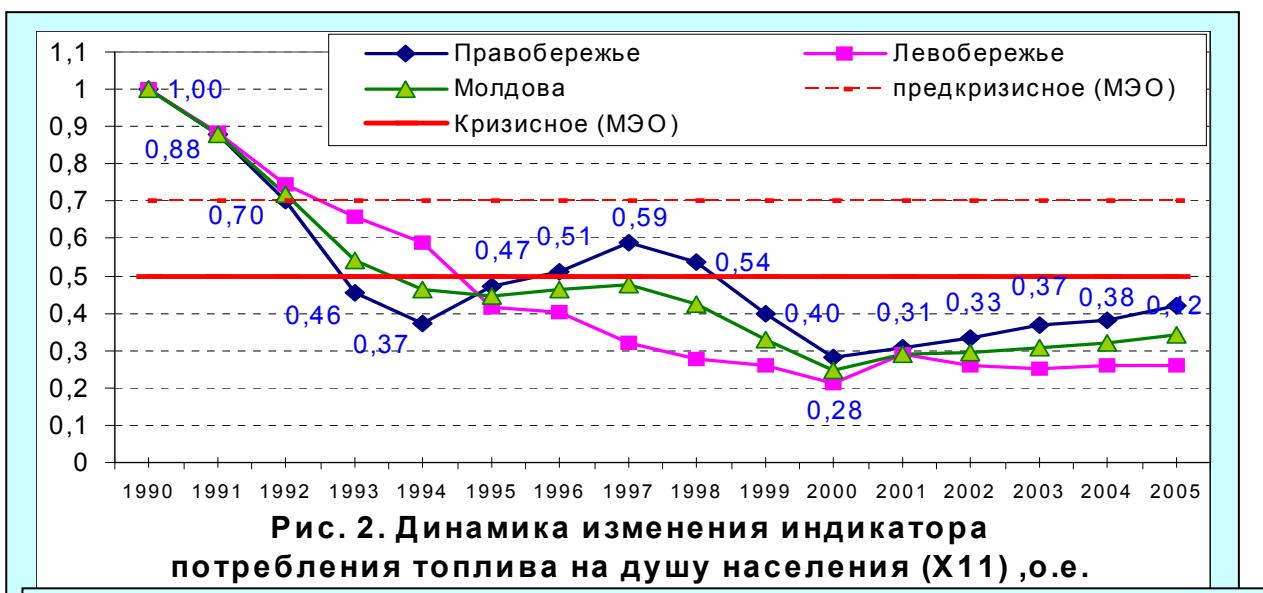
Проведенные исследования показали, что часть индикаторов, принятых для исследования энергетической безопасности Молдавской энергосистемы, находится в кризисной зоне. Проведение мероприятий, конечной целью которых будет возврат индикаторов в зону нормального состояния, будет способствовать повышению энергетической безопасности энергосистемы и государства. Рассмотрим их подробнее для некоторых индикаторов.

Индикатор производства электрической энергии показывает, что выработка электроэнергии по сравнению с 1990 г. снизилась более чем в 3 раза. До 1990 г. Молдавская энергосистема являлась экспортером электроэнергии, а с 1994 - импортирует электроэнергию, хотя имеет мощности, избыточные для обеспечения собственного баланса (об этом сигнализируют индикаторы выработки электроэнергии на собственных источниках, уровня резерва установленной мощности, величины импортируемой электроэнергии по сравнению с потребляемой и другие). В связи с этим первейшим мероприятием по обеспечению энергетической безопасности является загрузка собственных мощностей. При этом все упомянутые индикаторы возвращаются в зону нормального состояния, что повышает энергетическую безопасность и обеспечивает энергетическую независимость государства.

Уровень износа подстанционного оборудования 110 кВ и выше (индикаторы блока передачи и распределения энергии) составляет 25% и необходимо вложение средств в ремонт и модернизацию оборудования, что определяет мероприятия в данном блоке.

Уровни потребления энергии (блок потребителей) снизились по сравнению с 1990 г более чем в 3 раза. Затраты населения на оплату энергоресурсов в целом достаточно велики . Пересмотр тарифной политики и согласование величин тарифов на электроэнергию, газ, тепловую энергию с уровнем доходов населения является одним из главных мероприятий по данному блоку.

Проведение энергосберегающих мероприятий имеет большое значение для Молдовы, т.к. республика практически не имеет собственных энергетических ресурсов и более 90 % топливного баланса покрывается за счет импорта (индикаторы блока топливоснабжения).



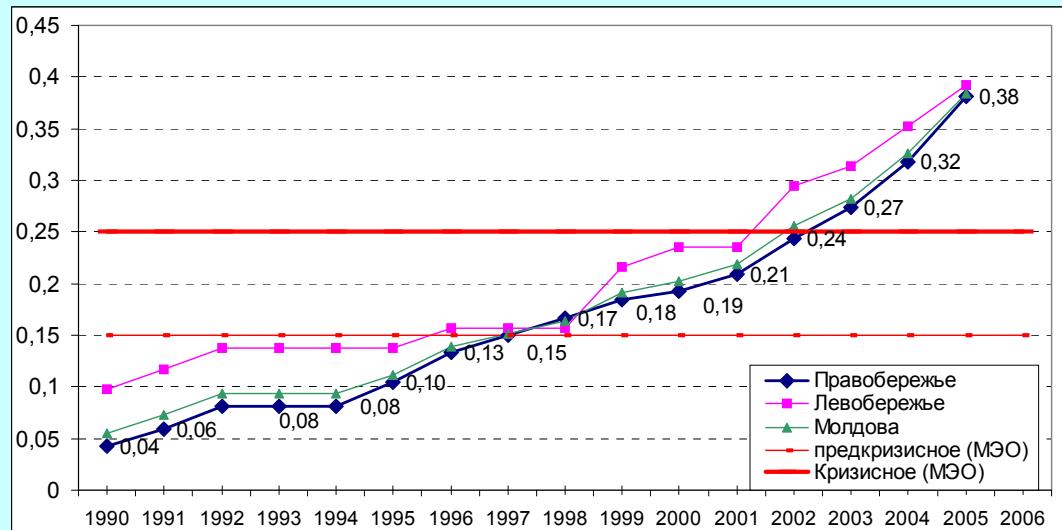


Рис. 5. Изменение индикатора уровня износа подстанций
(со сроком эксплуатации более 28 лет), о.е.

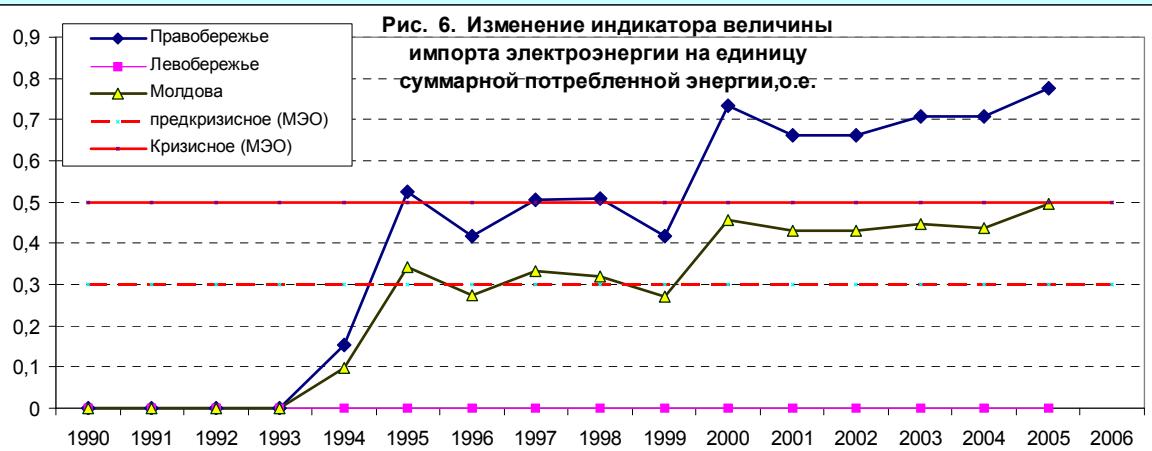
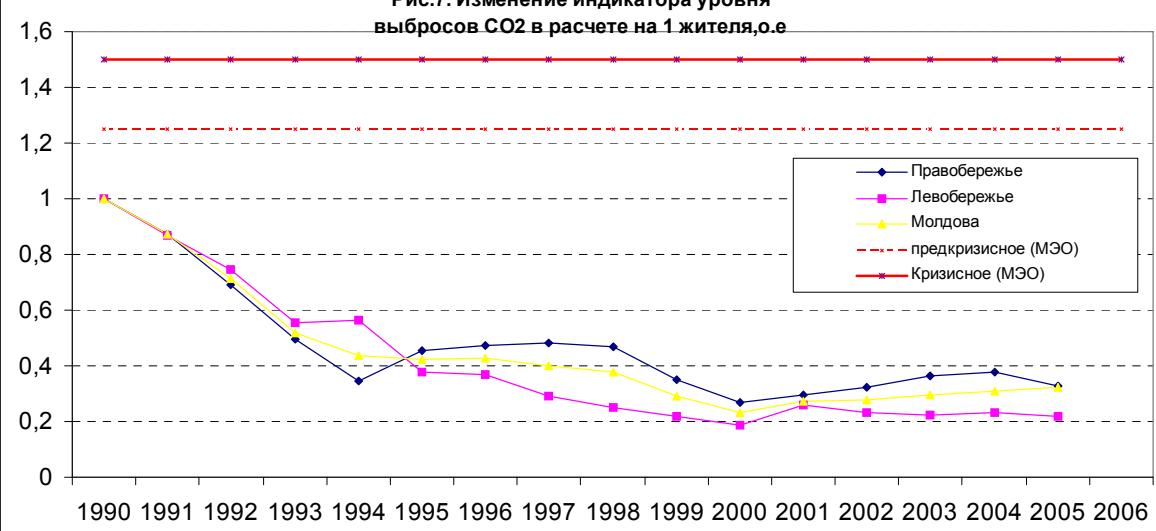
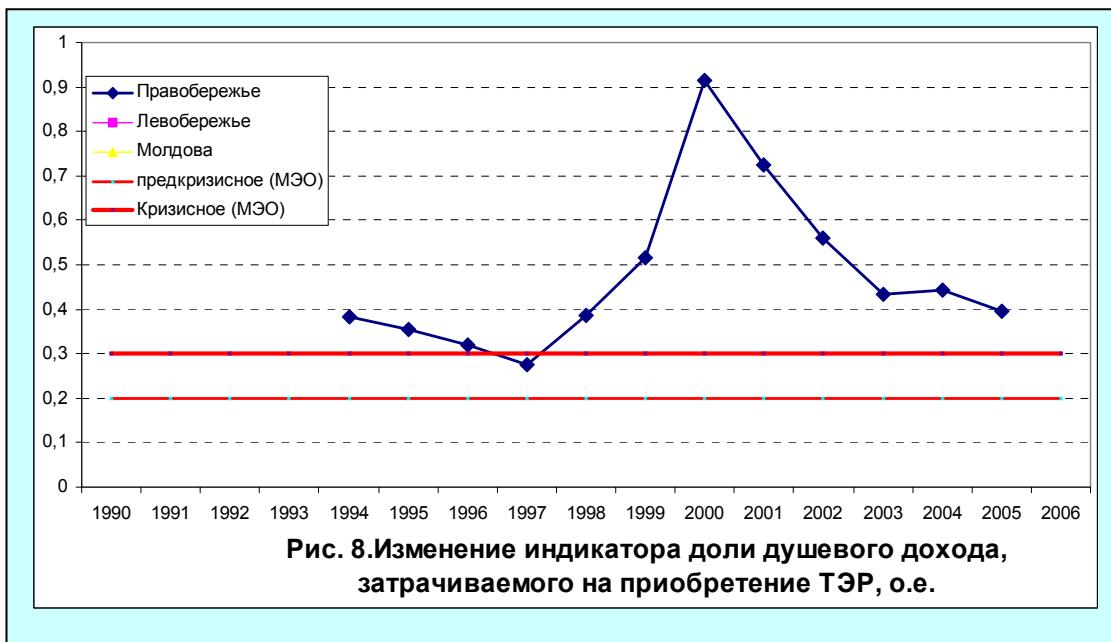


Рис. 6. Изменение индикатора величины импорта электроэнергии на единицу суммарной потребленной энергии, о.е:





Энергосбережение является комплексным мероприятием, которое может осуществляться на различных этапах энергоснабжения. Потенциальные возможности энергосбережения в Республике Молдова оцениваются на уровне 280 тыс. т.у.т. - в 2005 г. и 400 тыс. т.у.т. – 2010 г.,[4]. По экспертным оценкам, около 30 % от общего потребления энергоресурсов можно сэкономить, что позволило бы повысить энергетическую безопасность.

Молдова обладает достаточным потенциалом для использования возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, биомассы, гидроэнергии. По данным [3], средняя солнечная интенсивность составляет 150-190 Вт/м² в течение 200 дней в году, что может дать экономию до 90 тыс.т.у.т. в год при внедрении 1 млн. м² солнечных коллекторов.

Выводы.

Направления мероприятий, которые необходимо осуществить для улучшения состояния индикаторов, неоднократно озвучивались ранее и по-крупному заключаются в:

- 1) увеличении загрузки собственных источников производства энергии;
- 2) снижении величины импортируемой электроэнергии;
- 3) увеличении вложения средств в модернизацию и обновление оборудования электрических сетей;
- 4) диверсификации структуры потребляемого топлива при производстве энергии для устранения имеющегося перекоса в сторону преобладания природного газа.

Литература

- 1.В.Г. Благодатских, Л.Л. Богатырев, В.В. Бушуев, Н.И. Воропай и др. Влияние энергетического фактора на экономическую безопасность регионов России. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1998 г. 195 с.
- 2.Быкова Е.В.Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Кишинев, типография АН РМ,2005, 158 с.
- 3.В.М. Постолатий, К.И. Гылка, М.И. Новак, Е.В.Быкова и др. Анализ состояния энергетического комплекса Республики Молдова и пути обеспечения энергетической безопасности. Кишинев: Штиинца, 2001 г. 168 с.

РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГСМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

Г. ДУКА, академик АНМ, А. КРАЧУН, д.т.н.

Academia de Științe a Moldovei

Bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 1, MD 2012, Chișinău

Republica Moldova

Тел.(0 373 22) 271478, e-mail: ghduca@yahoo.com

Аннотация

Рассматривается проблема повышения энергетической безопасности Республики Молдова за счет использования собственных биоэнергетических ресурсов. Применение биодизеля, биоэтанола в смесях с традиционными видами топлива (дизельным топливом и бензином) возможно без модификации конструкции существующих двигателей внутреннего сгорания и может быть экономически выгодным для сельского хозяйства и на транспорте. Приведены результаты экспериментов по определение износостойчивости смазочных материалов полученных из растительного сырья местного производства. Использование биоэтанола в качестве добавки к бензину снизит его стоимость, сократит на 15-20% потребление бензина и позволит значительно сократить вредные выбросы в атмосферу, повысится экологическая безопасность, что благоприятно отразится на здоровье населения. Производство смазочных материалов с использованием рапсового масла также позволит получить серьезный экономический эффект.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, энергетические культуры, биодизель, биоэтанол

MATERIE PRIMARĂ VEGETALĂ PENTRU OBȚINEREA PRODUSELOR PETROLIERE ȘI SECURITATEA ENERGETICĂ A REPUBLICII MOLDOVA

Rezumat

Se abordează problema sporirii securității energetice a Republicii Moldova ca urmare a utilizării resurselor bioenergetice autohtone. Utilizarea biodiselului, bioetanolului în amestecuri cu combustibili tradiționali (motorină și benzină) este posibilă fără a efectua modificări în construcția motoarelor de ardere internă existente și se prezintă economic eficientă pentru agricultură și transport. Sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind evaluarea competitivității materialelor de ungere obținute din produse vegetale autohtone. Utilizarea bioetanolului în amestec cu benzina conduce la diminuarea costului combustibilului, micșorarea cu 15-20% a consumului de benzină pură și a poluării atmosferei. Producerea componentelor uleioase de ungere din ulei de rapiță, alte uleiuri vegetale poate asigura un efect economic vizibil pentru Republica Moldova.

Cuvinte cheie: securitatea energetică, culturi energetice, biodiesel, bioetanol.

VEGETATIVE RAW MATERIAL FOR RECEPTION OF THE PETROLEUM PRODUCTS AND ENERGY SECURITY OF REPUBLIC OF MOLDOVA

Abstract

The problem of increase of energy security of Republic Moldova is examined due to use of own power resources. Application of a biodiesel engine, bioethanol in mixes with traditional kinds of fuel (diesel fuel and gasoline) is possible without updating a design of existing engines of internal combustion and can be economic for agriculture and on transport. Results of experiments on definition износостойчивости lubricants received of vegetative raw material of local manufacture are resulted. Use of bioethanol as the additive to gasoline will lower his{its} cost, will reduce consumption of gasoline to 15-20 % and will allow to reduce considerably harmful emissions in an atmosphere, ecological safety that will favorably be reflected on health of the population will be

raised. Manufacture of lubricants with use рапсового oils also will allow to receive serious economic benefit.

Key words: energy security, power cultures, biodiesel engine, bioethanol

Основными источниками энергии в настоящее время являются: нефть, природный газ и уголь. Однако, цены на них постоянно растут. Кроме того, при их сжигании, в атмосферу выбрасывается большое количество опасных соединений. Поэтому все большее внимание привлекают альтернативные виды топлив, ресурсы для получения которых не иссякают.

Один из факторов, который оказал влияние на интенсивность проведения исследований возможностей получения топлив растительного происхождения - цены на энергоносители, влияющие на энергетическую безопасность ряда государств. Основные запасы нефти в мире находятся в распоряжении стран ОПЕК, которые диктуют мировые цены на энергоносители. Следовательно, обделенные нефтью государства попадают в зависимость от стран, добывающих и реализующих нефть.

Возрастающая топливная рентабельность таких культур, как растительные масла (рапсовое и др.), сахарный тростник и др., вынуждает сельхозпроизводителей сокращать посевные площади под продовольственные сельскохозяйственные культуры.

Кроме того, начиная с 70-х годов прошлого века, экологи, обеспокоенные возможностью наступления экологического кризиса на Земле, занялись поиском альтернативных источников энергии, в том числе и таких веществ, которые при сгорании выделяли бы в атмосферу меньше вредных соединений. Результатом этих поисков стало установление двух путей применения растительных масел для дизельных двигателей: один предполагал получение биодизельного топлива путем этерификации (эфиризации) масел до кондиций минерального дизельного топлива, а второй – использование растительных масел взамен обычного дизельного топлива. Первый путь получил более широкое распространение

В связи с тенденцией роста цен на ископаемое (минеральное) топливо производство биодизеля на основе растительных масел (в том числе и рапсового) становится все более привлекательным.

По данным продовольственной и сельскохозяйственной организаций ООН в сезоне 2003-2004 годов было собрано 36 млн.тонн семян рапса, а в 2004-2005 – 46 млн.тонн.

Первые сведения о рапсе относятся к глубокой древности: рапс возделывали на семена в Индии примерно 4000 лет назад, в Китае и Японии – 2000 лет назад. В Азии и Средиземноморье рапсовое масло использовали для освещения в связи с тем, что оно давало бездымное пламя. В Европе рапс выращивали еще в XIII столетии, а рапсовое масло использовали как для приготовления пищи, так и для освещения.

В дальнейшем было установлено, что на металлических поверхностях рабочих органов машин в присутствии паров воды, рапсовое масло удерживается лучше других, вследствие чего его стали применять как основу смазочных сред для паровых и других машин. Рапсовое масло используют в часовой промышленности на операциях штамповки зубчатых колес часовых механизмов [1].

Культивируемые в настоящее время сорта рапса могут иметь урожайность до 30 ц/га. В настоящее время, особенно в связи с появлением безруковых сортов рапса, по сбору семян и производству рапсового масла оно вышло на пятое место в мире: примерно 10% от общего объема производства всех масличных растений [2].

У рапсового масла одно и, очень важное, преимущество – оно служит исходным сырьем для получения биодизельного топлива, которое в странах Европы постепенно расширяет свое присутствие на рынке топлив. Впрочем, биодизельное топливо можно получать и из других растительных масел: пальмового, соевого, из семян винограда и

семян хлопка. Из всех производимых растительных масел – рапсовое наиболее дешевое. Как известно, первый дизельный двигатель работал на арахисовом масле, а полученное затем дизельное топливо из нефти было дешевле и вытеснило растительное масло из употребления в качестве топлива для дизельных двигателей. По экологическим параметрам биодизельное топливо (биодизель) значительно превосходит обычное (в обиходе называемое соляркой – соляровым маслом).

По этой причине, страны ЕС согласно Директиве Европарламента обязаны производить и использовать биодизельное топливо, доля которого на рынке к 2010 году должна составлять примерно 6,0 % (в настоящее время около 2%), что по объему должно составлять примерно 13 млн. тонн. В настоящее время в Германии производится порядка 1,3 млн. тонн биодизеля и она является лидером среди стран ЕС. Причем продажная цена биодизеля на 10-15% ниже, чем у дизельного топлива.

В Молдове, в Бриченском районе, в настоящее время совместно с германскими фирмами строится завод по производству рапсового масла с выделением пахотной земли для возделывания рапса по технологии и с использованием их набора сельскохозяйственных машин.

В Молдове сырьем для получения биодизеля может служить масло, получаемое как из семян винограда, так и из виноградных выжимок, которые являются отходами винодельческих и сокоэкстракционных производств, перерабатывающих ягоды винограда. Выжимки содержат до 25% семян.

Как показала практика возделывания рапса, эта белково-масличная культура обладает рядом бесспорных преимуществ [2]:

- высокая урожайность: с каждого гектара посевов может быть получено по 1000-1100 кг масла (в сравнении с 600-700 кг при выращивании подсолнечника) и более 1000 кг белка;
- широкий ареал возделывания и малая зависимость урожаев от климата;
- высокая масличность семян (до 43-45%) и биологическая ценность белков рапса (80%);
- зеленая масса растений рапса успешно может использоваться в силосовании, так как богата белком (16-31% на абсолютно сухое вещество), аскорбиновой кислотой (100 мг и выше на 100 г.), каротином (4-7 мг на 100 г. сырого вещества);
- такие масличные растения, как подсолнечник, рапс и др. улучшают структурный и химический состав почв в системах севооборота.

Каковы же преимущества биодизельного топлива (иногда называемого биодизелином)?

Основные из них:

- экологичность: он сгорает практически без токсичных отходов и, что очень важно, количество сажи (твердых частиц) в продуктах сгорания уменьшается наполовину в сравнении с минеральным дизельным топливом, а сажа, как известно, является носителем канцерогенных соединений, которые вызывают раковые заболевания у людей; попадая в почву биодизельное топливо в течение 28 дней практически полностью (на 90 - 99%) разлагается микроорганизмами, содержащимися в почве; при сжигании биодизеля уменьшается количество углекислоты в продуктах сгорания, что снижает интенсивность возникновения парникового эффекта. При сгорании биодизеля выделяется ровно столько же углекислого газа, сколько было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла. Дымность выхлопных газов снижается на 50-60%. Следовательно, называть биодизель экологически чистым топливом неверно. Он дает меньшее количество выбросов углекислого газа в атмосферу, но не сводит их

- полностью. Биодизель, как показывают опыты, при попадании в воду не причиняет вреда ни флоре, ни фауне;
- биодизель может быть использован в машинах, техническое состояние которых не позволяет их дальнейшую эксплуатацию, используя минеральное дизельное топливо. Биодизель из рапсового масла отличается и большим количеством кислорода, по сравнению с обычным дизтопливом (10,8 %), поэтому он лучше сгорает в двигателе;
 - низкая сернистость, повышающая срок службы катализаторов, которые минимизируют вредные выбросы с помощью оксиката, превращающего углеводороды и окись углерода в воду, и углекислый газ. Оксикат чувствителен к присутствию в топливе серы, "отравляющей" катализатор на длительное время и приводящей к увеличению выброса остаточных частиц. Поэтому особенно важно, что биодизель в сравнении с минеральным дизтопливом почти не содержит серы (< 0,001% против – < 0,2 %). По требованиям Евростандарта, начиная с 2005 года, дизельное топливо должно содержать не более 50 ppm (0,05%) серы;
 - хорошие смазочные и противоизносные характеристики. Известно, что минеральное дизтопливо при устраниении из него сернистых соединений теряет свои смазочные свойства. Биодизель, несмотря на практически полное отсутствие серы, характеризуется хорошими смазочными показателями, что обусловлено его химическим составом и наличием в нем кислорода;
 - при использовании биодизеля, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60%, что весьма существенно, так как топливный насос является достаточно дорогим узлом в дизельном двигателе;
 - температура вспышки в открытом тигле для биодизеля 120 °C (у дизельного топлива 55°C), что позволяет назвать его пожаробезопасным топливом, которое можно использовать на стационарных установках в закрытых помещениях и на транспортных средствах для перевозки пожароопасных веществ и людей.

Каковы же недостатки биодизельного топлива?

Во-первых, биодизель интенсифицирует химическое изнашивание деталей дизельного двигателя, так как является более агрессивным, чем обычное дизельное топливо. Агрессивность проявляется и в лучших моющих свойствах биодизеля, которые способствуют удалению различных нефтепродуктов и их производных с деталей, образующихся в процессе работы дизельного двигателя. Биодизель относительно агрессивен по отношению к резиновым деталям. Проведенные исследования показали, что при использовании смеси биодизеля и минерального дизтоплива в пропорции 30:70 отрицательное воздействие на резину не является таким явным и смесь можно использовать в обычных двигателях, не изменяя их конструкции и требований к эксплуатации.

Во-вторых, в отличие от Европы, где зимы мягче чем в Молдове, в холодное время года эффективность биодизеля в наших условиях будет сравнительно ниже.

В-третьих, при работе дизельного двигателя на биодизеле его мощность может снизиться примерно на 10%, а расход топлива повыситься также примерно на 10%.

Какова же технология получения биодизеля?

Рапсовое масло по технологии получения практически ничем не отличается от получения подсолнечного масла и других растительных масел. Она не является сложной, так как может быть реализована как на стационарных (заводских), так и на

передвижных установках. Отличие заключается в себестоимости продукта: при производстве на заводе – биодизель дешевле.

Биодизель - это не что иное, как метиловый эфир, обладающий свойствами горючего материала. Если биодизель получен из рапсового масла, то в этом случае необходимо указывать что метиловый эфир является рапсовым или рапсовый метиловый эфир (РМЭ).

Процесс получения биодизельного топлива представлен на рис.1.

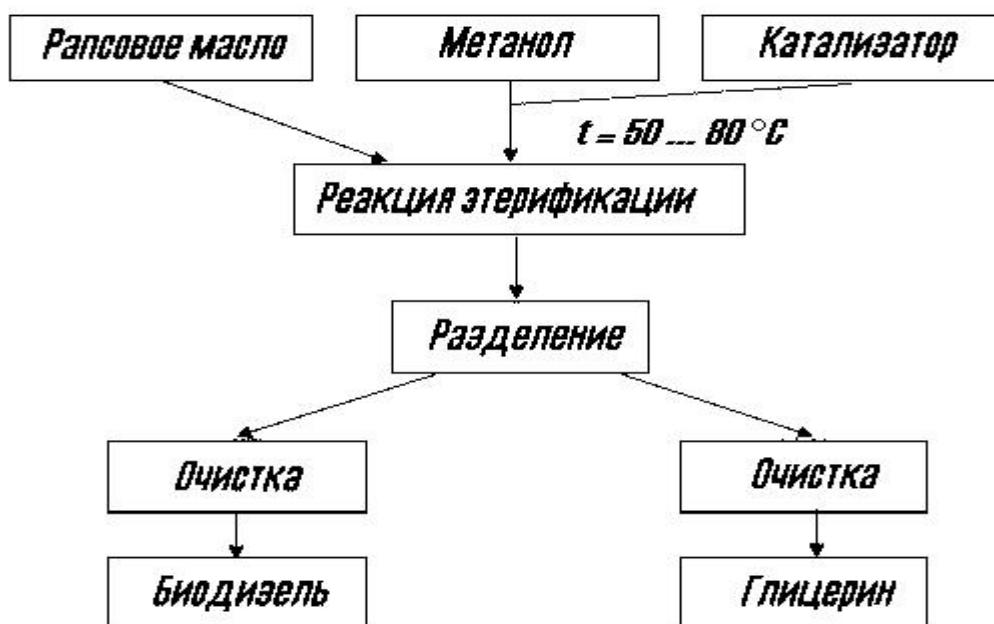


Рис.1. Процесс получения биодизеля и глицерина.

Сыре для получения рапсового масла – семена рапса должны соответствовать ГОСТ 10583-76, который делит их на два типа: тип I – семена озимого рапса; тип II – семена ярового рапса. Влажность семян не должна превышать 15% (при базисной норме 12%). Они не должны быть заражены вредителями хлебных запасов. Наличие семян клещевины в семенах рапса не допускается [1]. До 1990 года рапс высеивался главным образом в Украине.

Как известно, молекулы жира состоят из так называемых триглицеридов: соединений трехвалентного спирта глицерина с тремя жирными кислотами. Для получения метилового эфира необходимо к девяти массовым частям растительного масла добавить одну массовую единицу метанола, а также небольшое количество щелочного катализатора. Ингредиенты перемешиваются в специальных реакторах при воздействии температуры 50-80°C и нормальном атмосферном давлении. После отстоя и охлаждения жидкость расслаивается на фракции: глицерин (тяжелая) и метиловый эфир (легкая). Эти два продукта образуются в результате химической реакции этерификации или эфиризации. Побочный продукт глицерин можно использовать в фармацевтике и лакокрасочной промышленности.

Метиловый эфир обладает хорошей воспламеняемостью, обеспечиваемой высоким цетановым числом, которое равно 56-58% и определяется содержанием цетана

(C₁₆H₃₄) в его составе. В минеральном дизтопливе доля цетана составляет 50-52%. Чем больше цетановое число, тем быстрее топливо воспламеняется, что позволяет легче запустить двигатель, что особенно актуально для зимнего периода. Двигатель работает с меньшим уровнем шума и меньше изнашивается. Благодаря такому свойству метиловый эфир, получаемый из растительных масел и жиров, и был назван биодизелем, так как по своему молекулярному составу почти идентичен минеральному дизельному топливу.

Плотность биодизеля при температуре 15°С равна 0,875-0,890 г/мл. Кинематическая вязкость дизтоплива при температуре 40° С составляет 4,5 мм²/с, а для биодизеля - 3,5-5,0 мм²/с. При этом он легче фильтруется через очистительные фильтры, его текучесть лучше, но более вязкое топливо обладает лучшими герметизирующими свойствами.

Например, дизтопливо производимое на Комратском нефтеперерабатывающем заводе из нефти добываемой в Молдове, обладает очень низким цетановым числом <40. Введение в его состав биодизеля при определенном соотношении ингредиентов, позволит поднять его цетановое число до величины, обеспечивающей нормальную работу дизельного двигателя и при выполнении требований Евростандарта 2000 года на параметр цетановое число, т.е. при доли цетана не менее 51% .

Как использовать биодизельное топливо?

Использовать в чистом виде, как отдельный тип топлива которое состоит на 100% из метилового эфира.(марка BD-100) или в качестве добавки к минеральному дизтопливу при соотношении ингредиентов от 5 до 35 % ? В США наиболее распространена марка BD-20. Оптимальная смесь биологического дизельного топлива получается для 35 % биодизеля и 65 % обычного дизельного топлива. Соотношение компонентов топлива можно увеличить до 50%. Добавка биодизеля в минеральное дизтопливо, не приводит к необходимости выполнения модификации дизельного двигателя.

Установлено, что чем севернее произрастает рапс, тем менее экологичнее топливо из него. Дополнительная очистка и кондиционирование приводят к повышению себестоимости топлива из него. Использование рапсового масла в качестве 10%-й добавки к дизельному топливу (аналогично кислородсодержащим добавкам к бензину) хорошо зарекомендовало себя только в жарких и теплых климатических условиях. При использовании таких добавок в холодных климатических условиях в выхлопных газах дизельных двигателей наблюдается увеличение выброса загрязняющих веществ.

Почему нельзя использовать растительные масла в «чистом» виде в качестве топлива?

В двадцатые годы прошлого века в Германии был разработан и изготовлен небольшой трактор "Ланц-Бульдог", двигатель которого одинаково хорошо работал на минеральном дизтопливе, бензине, растительном масле.

При использовании растительных масел вместо дизтоплива возникают проблемы: масла не могут длительно применяться в обычных двигателях с непосредственным впрыском, так как сгорают не полностью. Это приводит не только к их смешению с моторным маслом, но и к отложению продуктов коксования на форсунках, деталях цилиндро - поршневой группы. Причина - вязкость масел, которую можно понизить нагреванием или разжижением минеральным дизтопливом. Например,

рапсовое масло имеет температуру застывания от – 4 до -10°C (табл.2) . То есть, в зимнее время возникает проблема его прокачки из топливного бака к топливному насосу и далее к форсункам. В моторах с предкамерой и вихревой камерой масло дополнительно подогревается перед воспламенением, и таким образом обеспечивается его лучшее смешение с воздухом и более полное сгорание. Существуют, так называемые, всеядные двигатели внутреннего сгорания, которые могут работать на дизтопливе, бензине, авиационном керосине, растительном масле. Такие двигатели отличаются очень высокой ценой и используются на армейских самоходных средствах: танках, бронетранспортерах, боевых машинах и армейских грузовиках. Так что, использование биодизеля пока выгоднее растительного масла.

В настоящее время потребности транспорта, промышленности и сельского хозяйства Молдовы в энергоносителях практически на 100 % удовлетворяются углеводородными видами топлива - углем, минеральным дизельным топливом, бензином а также природным газом. Одна из причин ухудшения финансового положения аграрного сектора страны - постоянно возрастающие цены на ГСМ. В связи с этим есть необходимость задуматься о возможностях производства и использования различных видов топлив, которые можно производить из возобновляемых источников сырья растительного происхождения: биодизеля и этанола. Производством рапсового масла могут заняться производители сельхозпродукции и использовать его в качестве базового ингредиента, к которому добавляют минеральное дизельное топливо. Такой «коктейль» можно использовать только в период плюсовых температур воздуха. Этот способ практикуется фермерами в США и Южной Америке. Полезный опыт в этом имеется и в России. Кабардино-Балкарской сельскохозяйственной академией с 1995 года проводились испытания по использованию рапсового масла на экспериментальных двигателях Д-240 и ГАЗ-52. Для двигателя Д-240, согласно опытным данным, рекомендуется следующий состав топлива: 75 % рапсового масла и 25 % минерального дизельного топлива. Той же академией были выполнены расчеты производства и использования рапсового масла для фермерского хозяйства с общей посевной площадью 100га.: если на 20 га будет возделываться озимый рапс, то при урожайности в 25 ц/га с этой площади можно собрать 50 тонн маслосемян, а из них получить 16 т масла. При пятипольном севообороте на выполнение всех работ потребуется 10,8 т. моторного топлива в год, соответственно, необходимо 8,1 рапсового масла. Его остаток можно продать или использовать для других целей.

В таблице 1 приведены величины издержек при производстве биодизеля

Таблица 1
Издержки при производстве биодизеля в зависимости от мощности установки (на примере Германии)

Мощность установки, тонн/год	2.000	15.000	75.000	80.000	125.000
Инвестиции, млн. евро	1.5	10.0	12.5	10.0	25.0
Производственные издержки, евро/тонна	288	196	76	64	87

Следовательно, используя рапсовое масло для производства биодизеля и используя его в сочетание с минеральным дизельным топливом, Республика Молдова может решить проблему обеспечения машин для сельскохозяйственного производства

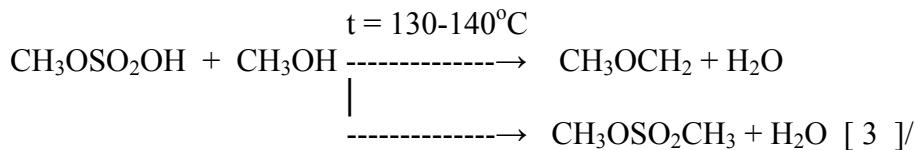
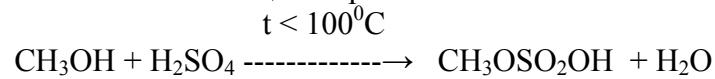
и транспортных средств моторным топливом для дизельных двигателей и при этом значительно оздоровить воздушный бассейн.

Есть еще один способ снижения вредных выбросов в атмосферу с одновременной экономией углеводородного топлива – бензина. Суть его состоит в добавлении в бензин *биюэтанола* – этилового спирта, который можно получать из растительного сырья.

В США в настоящее время производится порядка 60 миллиардов литров биоэтанола, являющегося побочным продуктом глубокой переработки зерна кукурузы. К 2012 году эту цифру планируется удвоить, на что фермерам будет выделено 7 млрд. долларов.

Добавка этанола в бензин удешевляет его, а выхлопные газы становятся практически безвредными. В настоящее время соотношение бензина и этанола: 90 и 10% или 85 и 15%. Для существенного снижения стоимости бензина это соотношение необходимо довести до 80 и 20%. То есть, экономия бензина может составить 20% при серьезном экологическом эффекте. Этанол можно получать из картофеля, ржи, ячменя, *рапса* и пр. Следовательно, Республика Молдова в состоянии значительно сократить потребление бензина.

В настоящее время существует еще один путь - использование экологически чистого моторного топлива нового поколения - *диметилового эфира* (ДМЭ). Диметиловый эфир: $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ является достаточно инертным газом и разделяется только при красном калении. Его можно получать из диметилсульфата нагреванием с окисью меди или из метанола с помощью серной кислоты:



В мире уже есть три минизавода, производящих ДМЭ: в ФРГ, Англии и России.

При сгорании ДМЭ образуется вода и углекислый газ:



Немаловажно и то, что производство ДМЭ гораздо дешевле, чем того же дизельного топлива и тем более бензина. Для работы на ДМЭ двигатель внутреннего сгорания требует некоторой переделки. Испытания нового топлива в Российской Федерации на автомобиле ЗИЛ-5301 прошли успешно.

Еще одна область, где с успехом может быть использовано рапсовое масло – это производство пластичных смазочных материалов, в которых в качестве дисперсионной среды взамен минерального масла используется рапсовое масло, что делает такие смазки значительно экологичнее.

Растительные масла обладают высокой молекулярной массой (порядка 900) [1], определяющей их низкую летучесть при значительном вакууме, что позволяет использовать их как в качестве самостоятельных смазочных сред, так и в качестве дисперсионных сред при изготовлении высокоэффективных пластичных смазочных материалов для работы в обычных условиях и в условиях вакуума: в высотной авиации и на космических объектах. Организация производства пластичных смазок на основе рапсового масла позволит Молдове значительно сократить ввоз пластичных смазок

необходимых для промышленного и сельскохозяйственного производства, транспорта, а часть их экспортовать.

Нами исследовались противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства таких растительных масел как касторовое, масел из семян: винограда, томатов, рапса, арахиса, кукурузы, подсолнечника и оливкового масла [4] (табл. 2).

Цель исследования состояла в определении растительного масла, обладающего наилучшими смазочными и антифрикционными свойствами.

Основные показатели растительных масел приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Основные показатели растительных масел.

Показатель	Наименование масла						
	Касторо-вое	Из семян винограда, РСТ УССР 19-1946-84	Из семян томатов, РСТ УССР 1544-79	Из семян рапса, ГОСТ 8988-77	Из семян арахиса, ГОСТ 7981-73	Кукурузное, ГОСТ 8808-73	Подсолнечное, ГОСТ 1129-73
Плотность при 15°C, г/см ³	0,962	0,909...0,956	0,920...0,929	0,911...0,918	0,911...0,929	0,924	0,924
Температура застывания, °C	-18...-10	-20...-10	-12...-7	-10...-4	-3...+3	-15...-10	-19...-16
Температура деструкции, °C	240...250						
Молекулярная масса	850...940						
Йодное число	84...88	-	-	94...106	83....108	-	127...136
Дистилляционное число	33,5	-	-	36,5	53	-	25

Трибологические исследования растительных масел проводились на четырехшариковой машине трения по методике (ГОСТ 9490-75): частота вращения верхнего шара 1460 мин⁻¹; ступенчатое повышение осевой нагрузки до наступления сваривания шаров; продолжительность каждого испытания 10 с.; идентификация нагрузки заедания – $P_{лр}$. осуществлялась по резкому возрастанию диаметра пятна изнашивания на нижних шарах; на каждой осевой нагрузке проводилось три эксперимента с поворотом шаров после каждого эксперимента, но без их извлечения, и с добавлением новой порции масла перед очередным экспериментом. Шары из стали ШХ9, твердостью HRC 60...62. Температура масла 292...294 К. Оценочными показателями противоизносных свойств масел служили величины диаметров пятен изнашивания – $d_{из.ср}$ измеренные после окончания испытаний. В конце каждого эксперимента измеряли величину силы трения, возникающей в зоне контакта шаров (с помощью тензометрического динамометра, связанного с нижней чашкой машины трения), усилителя ТА-5 и стрелочного микроамперметра М266М. Затем силу трения пересчитывали в величину коэффициента трения - f , служившего оценочным показателем антифрикционных свойств масел.

Противозадирные свойства масел оценивались по величинам критической нагрузки, нагрузки сваривания и индекса задира.

Результаты испытаний растительных масел представлены в табл. 3. По данным таблицы, в соответствии с ГОСТ 9490-75, определяли величины индекса задира I_3 ; критической нагрузки $P_{кр.}$, которые совместно с величинами нагрузки сваривания P_c приведены в табл. 4.

Все растительные масла проявили сравнительно высокие противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства. По-видимому, это связано с тем, что основу всех масел составляют триацилглицериды, которые в процессе трения под воздействием повышенных температур в зоне контакта труящихся поверхностей, а также, окисляясь кислородом воздуха, образуют перекисные соединения, оксикислоты и продукты полимеризации.

Исходя из величин йодного и дистилляционного чисел (табл.2) можно сделать вывод о том, что рапсовое масло обладает удовлетворительной склонностью к загустению и полимеризации.

Анализ результатов испытаний (табл. 3 и 4) позволил сделать вывод о том, что рапсовое масло является наиболее пригодным для использования в качестве дисперсионной среды при изготовлении пластичных смазок.

Разработанные нами пластичные смазки [5-8] содержат в себе в качестве дисперсионной среды рапсовое масло, а в качестве дисперсионной фазы – литиевое мыло 12-оксистеариновой кислоты, а также вязкостную и антиокислительную добавки – пластичная смазка многоцелевого назначения

Таблица 3.
Триботехнические характеристики растительных масел ($d_{из.ср.}/f$).

	Осевая нагрузка, РОС, Н	Касторовое	Из семян арахиса	Из семян томатов	Из семян винограда	Из семян рапса	Подсолничное	Кукурузное
200	0,39	0,38	0,36	0,44	0,31	0,37	0,37	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,099	0,099	0,110	0,099	0,100	0,099	0,099
250	0,40	0,41	0,36	0,46	0,35	0,39	0,39	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,087	0,095	0,100	0,095	0,100	0,088	0,088
320	0,43	0,45	0,38	0,46	0,35	0,40	0,42	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,093	0,098	0,090	0,093	0,110	0,083	0,083
400	0,45	0,46	0,38	0,47	0,40	0,43	0,43	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,099	0,099	0,090	0,084	0,099	0,075	0,075
500	0,47	0,46	0,57	0,48	0,43	0,45	0,44	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,079	0,130	0,120	0,075	0,099	0,099	0,099
630	0,61	0,47	0,85	0,51	0,50	0,059	0,64	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,079	0,140	0,140	0,074	0,130	0,130	0,130
790	0,66	0,77	0,86	0,76	0,77	0,73	0,75	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,109	0,130	0,120	0,073	0,110	0,105	0,105
1000	0,83	0,84	0,92	0,82	0,78	0,89	0,82	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,099	0,120	0,120	0,074	0,099	0,100	0,100
1120	0,94	0,89	0,92	0,85	0,84	0,90	0,89	-----
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0,070	0,110	0,110	0,110	0,079	0,110	0,090	0,090
1260	0,98	Сваривание шаров	0,93	1,10	0,87	1,07	0,99	-----
	0,070		0,110	0,099	0,780	0,100	0,090	0,090
1410	Сварива- ние шаров	Сварива- ние шаров	Сварива- ние шаров	1,00	1,30	0,085	0,090	Сварива- ние шаров

1580					1,10 ----- 0,100	Сваривание шаров	
1780					1,41 ----- 0,120		
2000					Сварива- ние шаров		

Таблица 4.
Показатели смазочных свойств растительных масел.

Наименование масла	Индекс задира I_3	Критическая нагрузка P_{kp} , Н	Нагрузка сваривания P_{cv} , Н
Из семян рапса	43,5	790	2000
Подсолнечное	35,4	790	1580
Кукурузное	35,0	790	1410
Из семян томатов	34,8	790	1410
Касторовое	34,7	630	1410
Из семян винограда	33,2	790	1410
Из семян арахиса	32,0	790	1410

На ее основе разработаны: смазка для холодной штамповки металлов и сплавов, смазка для шарниров равных угловых скоростей, электропроводная смазка.

Все смазки по своим реологическим и смазочным свойствам находятся на уровне лучших образцов производимых в Европе, а смазка многоцелевого назначения превосходит одну из лучших смазок в Европе – смазку Литол-24, производимую в Украине и России.

Выводы.

1. Получаемое из рапсового масла биодизельное топливо, а также использование биоэтанола в качестве добавки к бензину в значительной мере могут повысить энергетическую безопасность Республики Молдова.
2. Использование биоэтанола в качестве добавки к бензину снизит его стоимость, сократит на 15-20% его потребление и позволит значительно сократить вредные выбросы в атмосферу.
3. Экономический эффект от использования биодизеля и биоэтанола может составить внушительную сумму.
4. Производство смазочных материалов с использованием рапсового масла также позволит получить серьезный экономический эффект.
5. С использованием биодизеля и этанола существенно оздоровится воздушный бассейн Республики Молдова – повысится и экологическая безопасность, что благоприятно отразится на здоровье населения.

Литература

1. В.Г.Щербаков. Биохимия и товароведение масличного сырья. М., Изд-во «Пищевая промышленность», 1979. 336 с.
2. В.Д.Надыкта, М.К.Муртазалиева. Теоретические аспекты и практические рекомендации по хранению семян рапса. Серия 20. Масложировая промышленность. Обзорная информация. М. АгроНИИТЭИПП. 1988.

3. Краткая Химическая Энциклопедия, М.; Изд-во «Советская Энциклопедия», т. I, с. 1121-1122.
4. А.Т.Крачун, В.У.Морарь, С.В.Крачун. Исследование смазочных свойств некоторых растительных масел. Минск, 1990. Изд-во «Наука и техника». Журнал «Трение и износ» Т.11, №5. С.929-932.
5. Patent Nr. 778 (MD). Plastic grease. A.Craciun, V.Moraru, S.Craciun. B.O.P.I. Nr. 7, 1997, p.30- 31.
6. Patent Nr. 1029 (MD). Lubricant for metals cold processing under pression. A.Craciun, V.Moraru, S.Craciun. B.O.P.I. Nr. 9, 1998, p.24.
7. Patent Nr. 1065 (MD). Lubricant for angular velocities hinges. . A.Craciun, V.Moraru, S.Craciun. B.O.P.I. Nr. 10, 1998, p.34-35.
8. Patent No. 2148 (MD). Electrically conducting lubricant. A.Craciun, , S.Craciun, T.Sajin. B.O.P.I.No.4/2003, p.26

Advanced Computational Methods for Complex Simulation of Thermal Processes in Power Engineering

Risto V. Filkoski, Ilija J. Petrovski

Faculty of Mechanical Engineering, University "Sts. Cyril & Metodius"

P. O. Box 464, 1000 Skopje, Republic of Macedonia

rfilko@mf.edu.mk

Abstract

The overall frame and principal steps of complex numerical modelling of thermal processes in power boiler furnaces on pulverised coal with tangential disposition of the burners are presented in the paper. Computational fluid dynamics (CFD) technique is used as a tool to perform comprehensive thermal analysis in two test cases. The methodology for creation of three-dimensional models of boiler furnaces is briefly described. Standard steady $k-\varepsilon$ model is employed for description of the turbulent flow. The coupling of continuity and momentum is achieved by the SIMPLEC method. Coal combustion is modelled by the mixture fraction/probability density function approach for the reaction chemistry, with equilibrium assumption applied for description of the system chemistry. Thermal radiation is computed by means of the simplified P-N model, based on expansion of the radiation intensity into an orthogonal series of spherical harmonics.

Comparison between the simulation predictions and available site measurements leads to a conclusion that the model produces realistic insight into the furnace processes. Qualitative agreement of the results indicates reasonability of the calculations and validates the employed sub-models. The described test cases and other experiences with CFD modelling stress the advantages over a purely field data study, such as the ability to quickly and cheaply analyse a variety of design options without actually modifying the object and the availability of significantly more data to interpret the results.

Key words: pulverised coal-fired boiler, CFD modelling, combustion, thermal radiation, heat transfer

Rezumat. În lucrarea sunt prezentate fazele modelării numerice a proceselor în focarele cazanelor care funcționează cu pulbere de cărbune. În calitate de procedeu principal la modelarea sunt utilizate metodele numerice de calcul a dinamicii fluidelor. Compararea rezultatelor modelărilor și a rezultatelor investigațiilor experimentale confirmă corectitudinea modelului obiectului real.

Cuvinte cheie. Cazan, care funcționează cu pulbere de cărbune, ardere, modelarea cu utilizarea metodelor de calcul al dinamicii lichidului, radiația termică, transfer de căldură.

Резюме. В работе приводятся основные этапы цифрового моделирования тепловых процессов в топках котлов, работающих на пылевидном угле. В качестве основного средства для моделирования использованы методы вычислительной жидкостной динамики. Сравнение между результатами моделирования и результатами испытаний подтверждает соответствие модели объекту.

Ключевые слова. Котел, работающий на пылевидном топливе. Моделирование с использованием методов вычислительной жидкостной динамики, горение, тепловая радиация, теплопередача.

1. Introduction

Numerical simulation techniques through the last decades have grown from being promising, mainly scientific tool, to a basic technology, unavoidable in engineering practice. With the development of the methods, the use of numerical simulation tools is changing from the

traditional physics-based approach towards the application-based view. Numerical simulations performed on basis of computational fluid dynamics/ computational thermal analysis (CFD/CTA) provide great potential in analysing, design, retrofitting and optimisation of performances of fossil fuel power systems.

Efficient use of low quality coals is crucial to the power industry in the most South and East European countries and utility boiler with tangential burners disposition is a basic model that serves most of the power plants, which was the main motivation for undertaking this investigation. The combustion process of pulverised coal in boiler furnace is an example of very complex 3-D turbulent flow, accompanied by strong coupling of mass, momentum and energy in two phases. Comprehensive modelling of furnace processes enables simulation of operational state and it can be applied in diagnostics and foresight of behaviour, operational conditions and situations of boiler plants in efforts to improve their combustion efficiency, fuel economy and to reduce pollutants emission. Thus, it is relatively easy to analyse how changes of the fuel supply system, fuel type or milling quality affect combustion, heat transfer, temperature distribution, heat flux, pollutants emission, erosion of heat exchanging surfaces etc. This paper presents two test cases of CFD simulations: 1) OB-380 120 MWe utility boiler in the Thermal Power Plant "Oslomej", Kicevo, Republic of Macedonia and 2) TENT A2 210 MWe utility boiler in the Thermal Power Plant "Nikola Tesla" Obrenovac, Serbia.

2. Description of the Mathematical Model

Differential models, based on solving equations for fluid flow, heat and mass transfer, thermal radiation and chemical reactions, including combustion, offer local values of relevant variables and detailed insight into the complex processes and phenomena in the computational domain, regarding the actual geometry, fuel characteristics and other operating conditions. They enable widespread and fast analysis of the impact of huge number of parameters and operational modes, compared to measurements or common conventional engineering calculations, which offer limited reliability when applied to changing exploitation conditions.

Three-dimensional models of industrial and utility scale furnaces, including models of tangentially fired furnaces, have been developed and successfully applied for years now [1-13]. However, there is still an area for further improvements, having as a subject a detailed mathematical description of physical and chemical processes in certain specific conditions. The models of combustion systems are often similar to each other in many ways and the majority use variations of the SIMPLE algorithm for coupling of velocity and pressure and the $k-\varepsilon$ gas turbulence model, or some derivatives, like RNG $k-\varepsilon$ model [2], or $k-\varepsilon-k_p$ two-phase turbulence model [10]. Gas phase conservation equations are mostly time-averaged and two-phase flow, as the one occurring in boilers fired with pulverised coal, is usually described by Eulerian-Lagrangian approach and PSI-CELL method for taking into account the influence between phases, with some exceptions using Eulerian-Eulerian approach, or two-fluid trajectory model [10]. Most of the combustion submodels given in [2,7,8,9-11,13] separately treat particle devolatilisation, char oxidation and additional gas phase reactions. Thermal radiation in the furnace is modelled by means of various approaches, like discrete transfer method [7], discrete ordinates method [8,10,13], six-fluxes method [9], Monte Carlo method [2], or so called P-N model [14], as in this paper. Commercial CFD codes are applied successfully [11,12,13], but also research efforts are given worldwide to the comprehensive models specially developed for simulation of the furnaces [7-10]. In general, it should be noted that a comprehensive model of the furnace processes must balance sub-model sophistication with computational practicality.

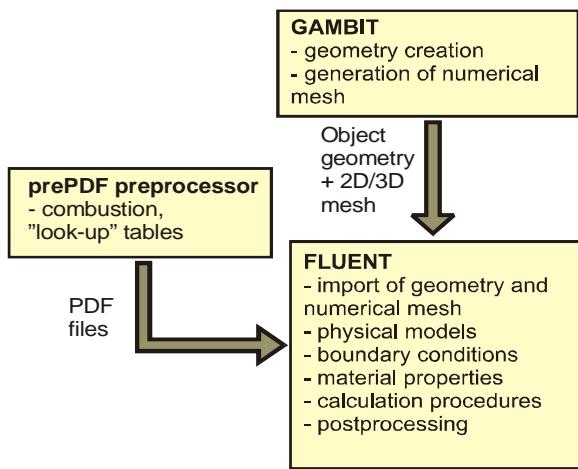


Fig. 1. Structure of the case set-up and solution with the CFD technique

constants are used in the transport equations: $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$, $C_{1\varepsilon}=1.44$ and $C_{2\varepsilon}=1.92$. Coupling of velocity and pressure is achieved by the SIMPLEC algorithm. Numerical simulation of the pulverised coal combustion involves modelling of continuous gas phase flow field and its interaction with discrete phase - coal and ash particles. Stochastic tracking model is used in the calculations to take into account the effect of turbulence on the particles trajectories. The polydisperse coal particle size distribution is assumed to fit the Rosin-Rammler equation. Mass flow rate, temperature and mixture fraction is assigned at coal and air inlets, while outflow is prescribed at the recirculating holes and at the furnace exit, which, in this test case is located after the platen superheater. Soot formation and emission of pollutants, such as NO_x , are also taken into consideration in the research.

The coal particles, travelling through the air-gas mixture, devolatilise, creating a source of fuel for reaction in the gas phase and undergo char combustion. Energy balance to the particles is used to calculate the particle temperature and to describe the coal evolution. In both cases, two-competing-kinetic-rates model is selected as a devolatilisation model. The combustion is modelled as non-premixed kinetics/diffusion-limited process with the mixture-fraction/probability density function (PDF) approach for the reaction chemistry [17,18]. Full equilibrium chemistry is selected as chemistry model and the turbulence-chemistry interaction is modelled with β probability density function. It is assumed that PDF mixture consists of 16 species: C(S), C, H, O, N, O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O , $\text{H}_2\text{O(L)}$, CH_4 , CO, OH, NO and HCN.

One of the important issues in the case of coal combustion modeling is inclusion of the effect of discrete phase, coal and ash particles, on the radiation absorption coefficient. The basic radiative transfer equation for an absorbing, emitting and scattering medium with contribution of the particulate phase, at position \mathbf{r} in direction \mathbf{s} is

$$\frac{dI(\mathbf{r}, \mathbf{s})}{ds} + (a + a_p + s_p)I(\mathbf{r}, \mathbf{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + E_p + \frac{\sigma_p}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\mathbf{r}, \mathbf{s}') \Phi(\mathbf{s} \cdot \mathbf{s}') d\Omega' \quad (1)$$

where I is total radiation intensity, which depends on position \mathbf{r} and direction \mathbf{s} ; s is path length; a_p is the equivalent absorption coefficient due to the presence of particulates; σ_p is equivalent particle scattering factor; E_p is the equivalent particle emission; a is absorption coefficient; n is refractive index; σ is Stefan-Boltzmann constant, $\sigma=5,672 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$; T is local absolute temperature; \mathbf{s}' is scattering direction vector; Φ is phase function and Ω' is solid angle. The product $(a+s_s)s$ is optical thickness or opacity of the medium.

In the both cases described in this paper the furnace geometry is described in details, with particular emphasize on burners [15,16]. General structure of the case set-up and solution with CFD/CTA technique in this research is presented in Fig. 1. Fluent CFD software is employed for description of turbulent fluid flow, devolatilisation, coal combustion, gas phase chemical reactions, species transport and heat transfer, with Gambit pre-processor used as a graphic tool for geometry creation and mesh generation [17]. The simulations are performed in 3-D domains for boilers' steady state operating conditions.

Turbulent mixing is quantified by the standard $k-\varepsilon$ model. Common values of the

Thermal radiation in this work is taken into account in the heat transfer simulations through the so-called P-1 model [14,17,19,20]. It is based on expansion of the radiation intensity I into an orthogonal series of spherical harmonics. If only four terms in the series are used, the following equation is obtained for the radiation flux q_r :

$$q_r = -\frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (2)$$

where G is incident radiation, σ_s is scattering coefficient and C is linear-anisotropic phase function coefficient. Variable absorption coefficient a is computed by the weighted-sum-of-gray-gases model [17, 19, 21].

Besides the relative simplicity, the P-1 model has several advantages over other radiation models, treating the radiative transfer equation (1) as an easy-to-solve diffusion equation. It can easily be applied to complicated geometries and for combustion applications where the optical thickness is large it works reasonably well. Also, the particle emissivity, reflectivity and scattering can effectively be included in the calculation of the radiation heat transfer.

The transport equation for G is

$$\nabla(\Gamma \nabla G) + 4\pi \left(a \frac{\sigma T^4}{\pi} + E_p \right) - (a + a_p)G = 0 \quad (3)$$

in which the parameter Γ is defined through the equivalent absorption coefficient a_p and the equivalent particle scattering factor σ_p :

$$\Gamma = \frac{1}{3(a + a_p + \sigma_p)} \quad (4)$$

With substitution $q_r = -\Gamma \nabla G$ in eq. (3) the following expression is obtained for $-\nabla q_r$:

$$-\nabla q_r = -4\pi \left(a \frac{\sigma T^4}{\pi} + E_p \right) + (a + a_p)G \quad (5)$$

which can be directly included into the energy equation to account for heat sources due to radiation.

The flux of the incident radiation at wall $q_{r,w}$ is determined with the expression

$$q_{r,w} = -\frac{\varepsilon_w}{2(2 - \varepsilon_w)} \left(4\sigma T_w^4 - G_w \right) \quad (6)$$

where ε_w is wall emissivity, T_w is wall temperature and G_w is incident wall radiation.

3. Case 1: Utility Boiler OB-380 120 MWe

The tangential coal fired steam generator OB-380 is designed and manufactured by RAFAKO S.A., Raciborz, Poland. Its simplified configuration, with disposition of the heat exchanging surfaces, is displayed in Fig. 2 and the main technical characteristics are listed in Tab. 1. The boiler shape is conventional, with two gas passes and with natural water-steam circulation. Membrane walls form the furnace, crossover pass and a part of the convective pass. The furnace is 12.055 m wide, 9.615 m long and 40.0 m high. Six pulverised coal burners are arranged in such manner, shown in Fig. 3, to form a swirling flow of gas-solid mixture. OB-380 boiler is fired with low-grade lignite, with huge content of ballast materials and with calorific value varying between 6500 and 8800 kJ/kg. The average proximate and ultimate

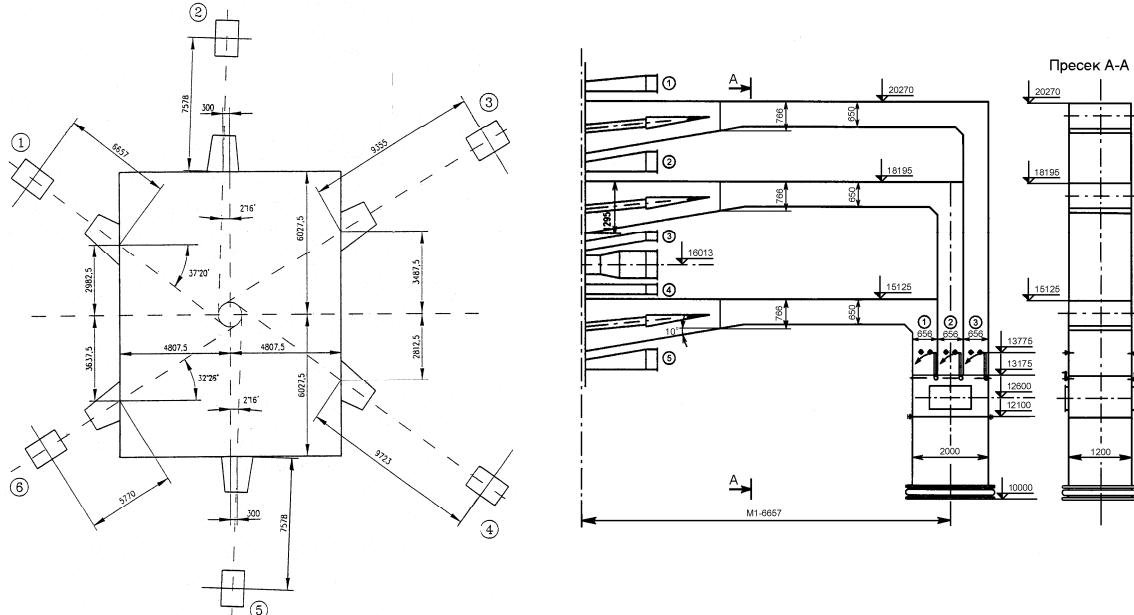


Fig. 3. Direction of the burners in the furnace and burner vertical cross-section

analyses of the coal are given in Tab. 2. Approximate fuel consumption of the boiler operated at full load is 45÷52 kg/s, while flue gases outflow is 160÷200 m³/s. The boiler has already expanded its design operational lifetime, working often at maximum capacity.

Table 1. Main characteristics of the boiler OB-380

Property	Value
- Steam output	105.6 kg/s
- Parameters of superheated steam	138 bar/540°C
- Parameters of reheated steam	27.7 bar/540°C
- Parameters of feed water	165 bar/230°C
- Pressure in the boiler drum	154 bar
- Temperature of preheated air	260°C
- Flue gases outlet temperature	150°C
- Boiler efficiency	85÷88 %

Fig. 2. Scheme of the boiler OB-380, TPP "Oslomej", Kicevo, Macedonia

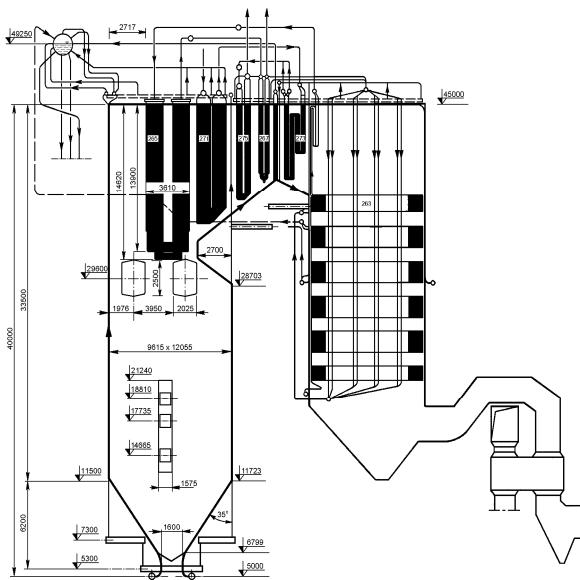


Table 2. Average proximate and ultimate analysis of the Oslomej lignite

Proximate analysis, %		Ultimate analysis, %	
Char	29.15	C	23.45
Volatile	21.35	H	2.11
C _{fix}	13.38	O	7.50
Ash	15.77	N	1.10
Moisture	49.50	S	0.57

Several basic cases of boiler operating conditions are investigated and three of them are subject of consideration in this article: mode R1 corresponding to 83 % boiler load (100 MW electrical output) with five burners in service and modes R2 and R3 conducted on the basis of almost full load (115 MW electrical output), with values of some of the boiler parameters and operating conditions given in Table 3 [15,22].

The furnace computational domain and mesh as they are generated for the purpose of this research are presented in Fig. 4. Numerical mesh of 124839 finite volume cells, 375573 faces and 125880 nodes is employed. The superheater is modelled with parametric heat exchanger model to account for the heat absorption and pressure loss [17]. For that purpose, a separate fluid zone is defined to represent the superheater core, Fig. 4c, which is subdivided into macroscopic cells along the coolant path [15]. The coolant inlet temperature to each macro cell is computed and then subsequently used to compute the heat rejection from each macro cell. This approach provides realistic heat rejection distribution over the heat exchanger core.

The coal particles size distribution is represented with the Rosin-Rammler equation with a mean diameter $d_{p,m}=90\div120 \mu\text{m}$ and a spread parameter of 3.5. Particle trajectory data, coal devolatilisation and combustion parameters used in the model are given in Tables 4 and 5.

Table 4. Coal particle trajectory data

Number of particle stream start locations	18
Maximum number of steps in each trajectory	700
Length scale	0.1 m
Number of particle diameters	8

Recirculation of the flue gases through holes in the upper part of the furnace is included in the computations with a coefficient $r_g=0.25\div0.31$, depending on the working mode.

The wall emissivity in this test case is specified in the range 0.65÷0.8 at the furnace walls and 1.0 at the furnace bottom and exit.

Table 5. Coal combustion parameters

a) Coal devolatilisation data	b) Combusting particles properties
Devolatilisation model - two competing rates	Density 1250 kg/m ³
1) First rate	Specific heat capacity - piecewise-linear profile
- pre-exponential factor 2.0·10 ⁵ s ⁻¹	Thermal conductivity 0.05 W/mK
- activation energy 7.50·10 ⁷ J/kmol	Mechanism factor 2
- weighting factor 0.3	Binary diffusivity 4·10 ⁻⁵ m ² /s
2) Second rate	Particle emissivity 0.8
- pre-exponential factor 1.3·10 ⁷ s ⁻¹	Particle scattering factor 0.5
- activation energy 1.45·10 ⁸ J/kmol	Swelling coefficient 1.0
- weighting factor 1.0	Mass diffusion limited rate constant 5.0·10 ⁻¹²
	Kinetic rate pre-exponential factor 0.002
	Activation energy 9.5·10 ⁷ J/kmol

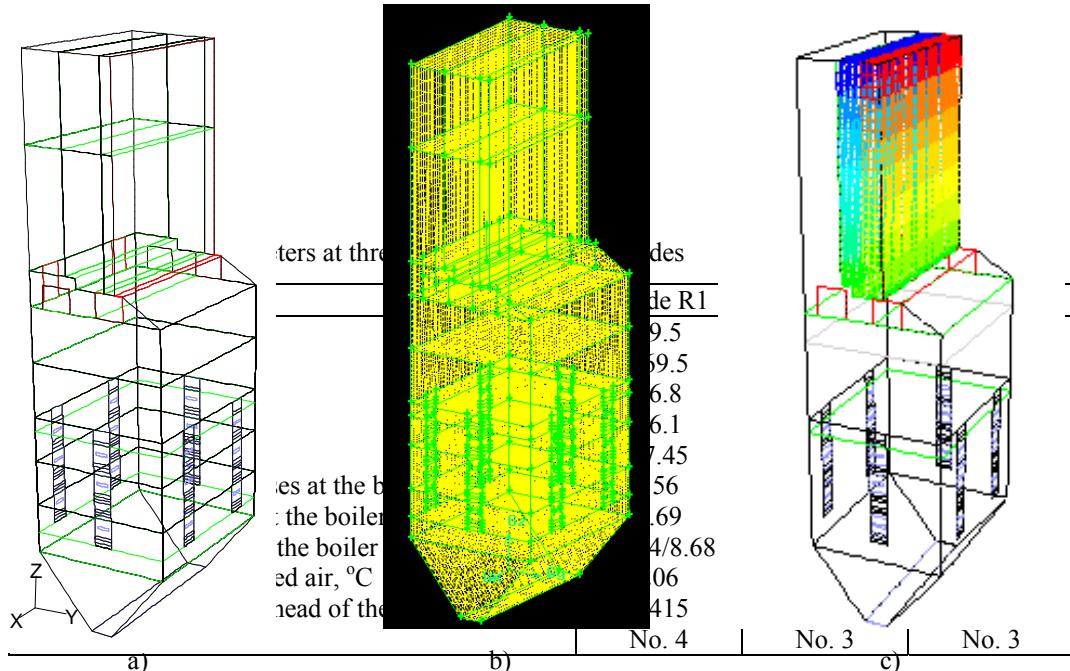


Fig. 4. Boiler furnace: a) feature, b) finite-volume mesh and c) superheater zone

Sidewall temperature is calculated on a basis of the near-wall heat transfer conditions.

As results of the simulations regarding the OB-380 boiler, informations are obtained on flow fields, velocity vectors, particles path lines, temperature contours, heat flux profiles to the furnace walls, contours of O₂, CO₂ and other species concentrations, as well as many other variables [15]. Some typical results are displayed in the following figures. Figure 5a shows gas phase velocity vectors in vertical furnace intersection. Predictions of coal particles path lines initiated from the fuel inlets of the burner No. 1 are shown in Fig. 5b. Knowing probable path lines of the fuel particles can be very important information for prediction of position where the most intensive combustion occurs, but also it can help in gaining closer insight into the reasons for eventual appearance of incomplete combustion. Traces of coal particles released from the burner No. 4 are displayed in Fig. 5c, showing general swirling flow field in the furnace.

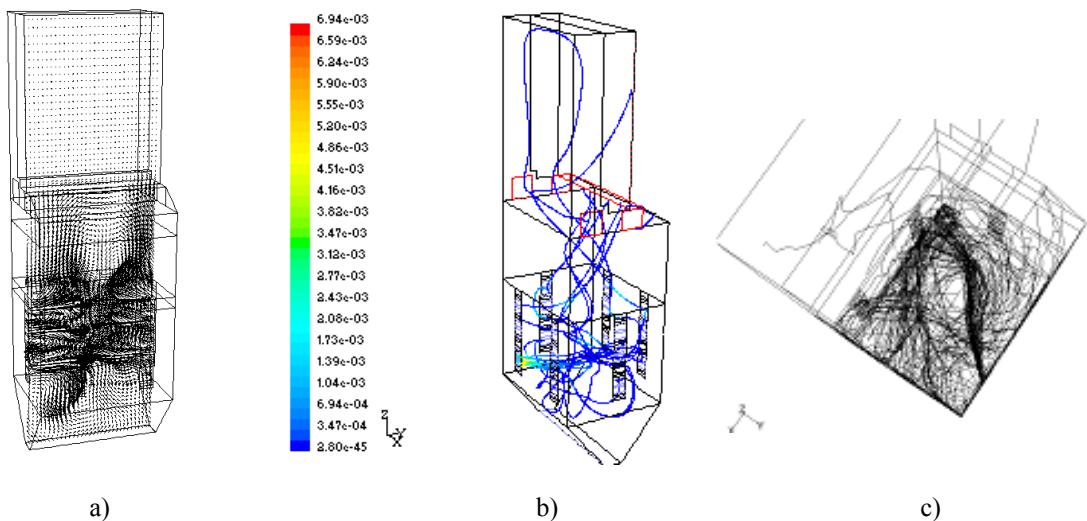


Fig. 5. a) Gas phase velocity vectors in central vertical cross-section; b) Path lines of coal particles streams released from the burner No. 1, coloured by DPM burnout; c) Traces of particles released from the burner No. 4, coloured by temperature, view from the furnace top

Simulation results of typical temperature distribution in certain intersections of the computational domain at boiler full load are presented in Fig. 6. The plots highlight flame shape and furnace hot spots outside the burner flame boundaries. The highest temperatures,

somewhat above 1300°C according to the CFD predictions, are detected in the furnace core. The tangential movement of the flue gases-particles mixture in the horizontal intersection at the burners' level is clearly visible, appearing as a consequence of the burners' position. Central position of the flame suggests that the temperature and heat loads of the furnace are well balanced.

In tangential coal fired boilers, the gas temperature deviation at the furnace exit could occur as the scale of the boiler becomes larger. It is commonly considered that it results from the after twirl in the furnace exit, which depends mainly on the dimensions and shape of the platen superheater, the way of the

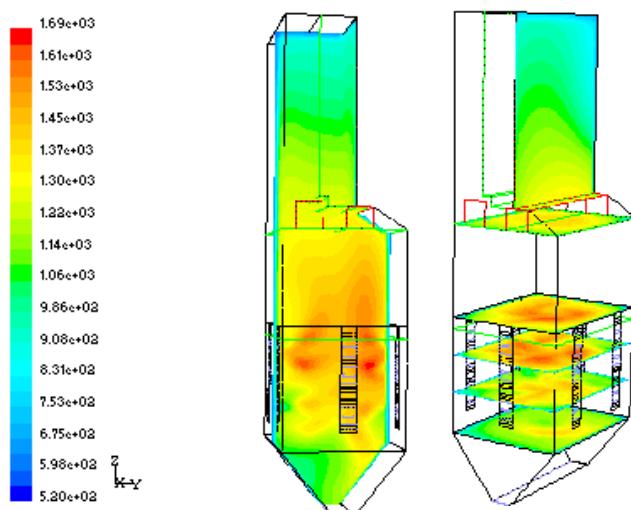


Fig. 6. Temperature fields in central vertical intersection at full load and at different horizontal levels

secondary air introduction and the shape of the furnace. This phenomenon can result in damage of superheaters' and reheaters' pipes. Although the investigated boiler unit could not be treated as a large capacity boiler, according to the present simulations, temperature deviation appears in some extent in the upper part of the furnace, Fig. 6. Further investigations in this direction are necessary. It can be noticed that the presented numerical method slightly overestimates the expected temperature at the furnace core. Still, the average furnace outlet temperature, which, according to the long-term experience with the boiler operation, should be $950\text{--}980^\circ\text{C}$, is asserted with the model, with insignificant deviations.

Present simulations include analysis of NO_x formation and reduction during the combustion process. An example of the results concerning this issue is presented in Fig. 7.

Since the fuel is low calorific lignite and, consequently, furnace temperatures are moderate, appearance of thermal NO_x is irrelevant and the total NO_x emission is not very high.

Temperature and heat flux to the walls in the furnace are measured through 31 measurement points at four levels: 13.9 m, 20.4 m, 23.0 m and 26.4 m (the bottom of the furnace funnel is located approximately at elevation 6.5 m), with aspiration pyrometer, non-cooled temperature probe and digital optical pyrometer [15].

Typical profiles of measured and computed temperatures at elevation 26.4 m are shown in Fig. 8 [15]. Relatively well conformity between the CFD predictions and available field data can be noticed at the right side, but the discrepancy is considerable on the left side of the central furnace cross-section. Also, profiles of measured and average area-weighted temperature

Fig. 7. Contours of NO mass fraction at the furnace central cross-section and at the furnace exit

along the furnace height at modes: R1 (83 % of full load), R2 and R3 (both full load), are displayed in Fig. 9 [15]. Appearance of temperature peaks at approximate height of 18 m cannot be verified, neither denied with the available measurements. Figure 10 depicts area-weighted average heat flux to the walls along the furnace height, predicted with CFD and confronted with measurements [15]. According to the simulations, maximum local values in the zone of intensive combustion don't exceed $140\text{--}150 \text{ kW/m}^2$, which is in agreement with recommendations for this type of boiler furnace.

The change of the average thermal efficiency of the furnace walls along the boiler height

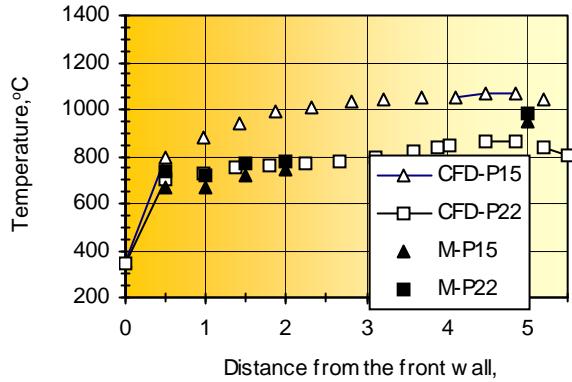


Fig. 8. Temperature contours at elevation 26.4 m (approx. 20 m above the furnace bottom), mode R1: CFD-P15, CFD-P22 – model, 1.075 m from the left and right sidewall, respectively; M-P15, M-P22 – measurements, 1.075 m from the left and right sidewall

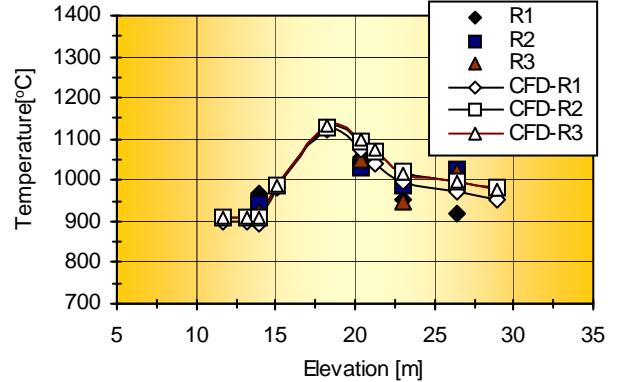


Fig. 9. Area-weighted average temperature along the furnace height: R1 – measured (83 % load), R2 and R3 – measured (full load); CFD-R1 – model (83 % load), CFD-R2 and CFD-R3 – model (full load)

is given in Fig. 11 [15]. In this diagram, the results obtained by the CFD simulations are confronted to the values calculated indirectly on the basis of the heat flux and temperature measurements. The change of the walls thermal efficiency, according to the Normative

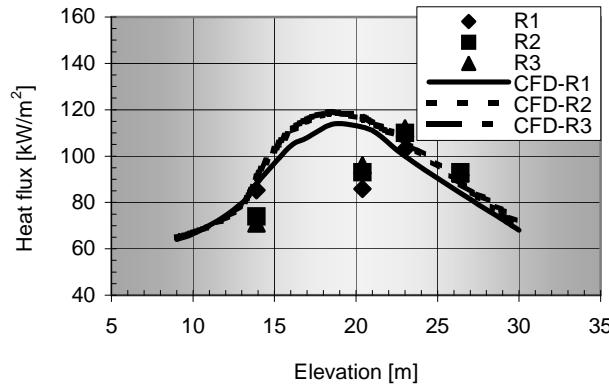


Fig. 10. Heat flux distribution along the furnace height: R1, R2 and R3 – measurements; CFD-R1, CFD-R2 and CFD-R3 – model results

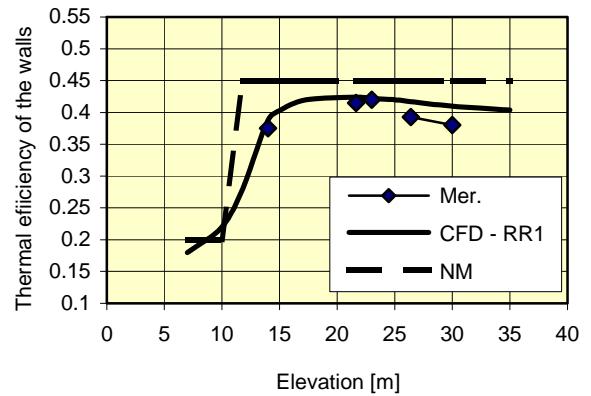


Fig. 11. Average coefficient of thermal efficiency of the furnace walls

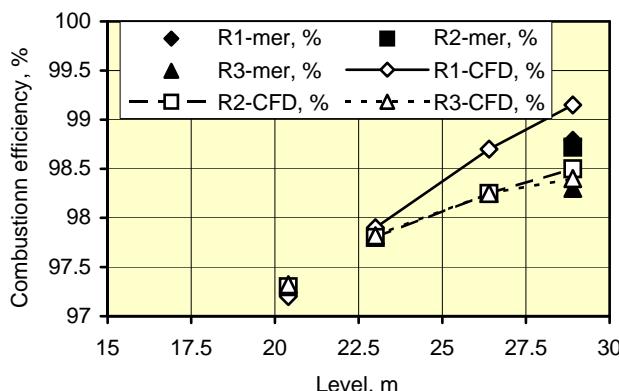


Fig. 12. Combustion efficiency along the furnace in the modes R1, R2 and R3

Method of the CKTI (according to [23]), is presented in the same figure for comparison.

Combustion efficiency in the modes R1÷R3, according to the measurements and CFD simulations, is illustrated with Fig. 12. Estimations show high fuel conversion in the cases of 83 % and full boiler loading, with predicted unburned fuel loss below 1.5 %, suggesting that the coal combustion in the boiler runs successfully and is completed before the upper furnace zones.

4. Case 2: Utility Boiler TENT A2 210 MWe

The steam generator of the 210 MW_e TPP "Nikola Tesla" A2 in Obrenovac, Serbia is characterised with conventional "Π" silhouette gas tract and with natural circulation, Fig. 13. The furnace is designed for thermal load of 3400÷3500 kW/m² of the intersection and for relatively long flame. Six coal mills and corresponding burners are disposed around the furnace in such manner to create tangential movement of gas-solid particles stream and to provide efficient fulfilment of the volume with hot gases, Fig. 14. Gas-fuel dust mixture with temperature of 165°C is transported from the mill into an inertial separator and through a vertical channel and eight rectangular channels is led to the jets. The furnace is 15.5 m wide, 13.5 m long and about 34 m high. To achieve the design temperature at the furnace outlet, which is 1000°C, it is necessary to maintain an average heat flux to the furnace membrane walls of ~340 kW/m². The slag is lead away from the furnace bottom in solid state. The most important characteristics are given below:

- steam production
- steam pressure/temperature

650 t/h
138 bar/540°C

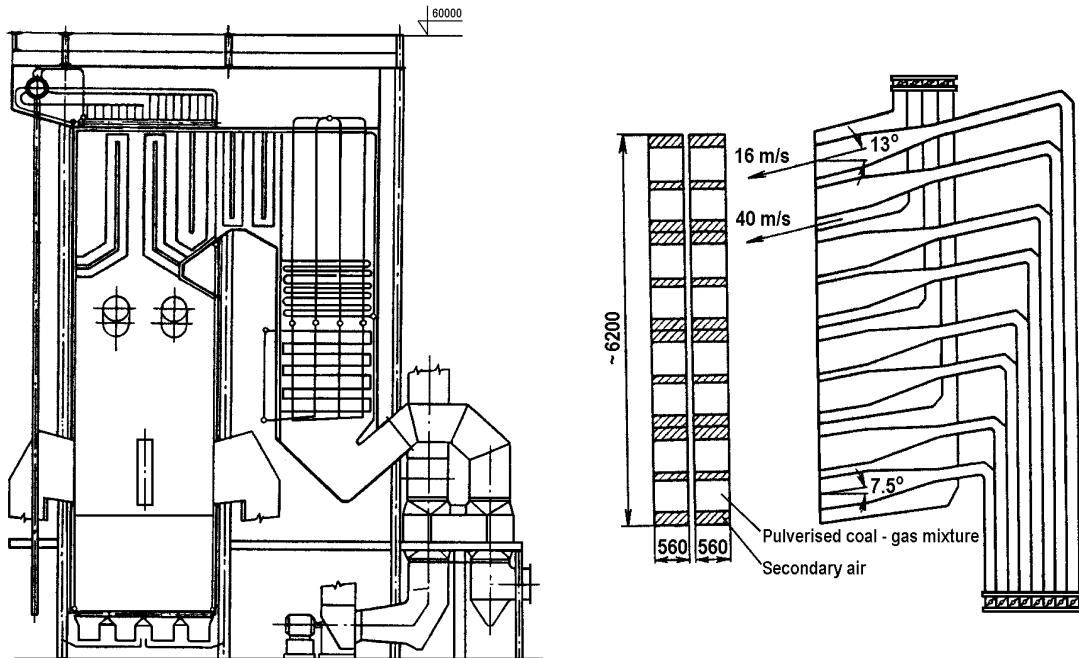


Fig. 13. Disposition of the boiler and burner intersection

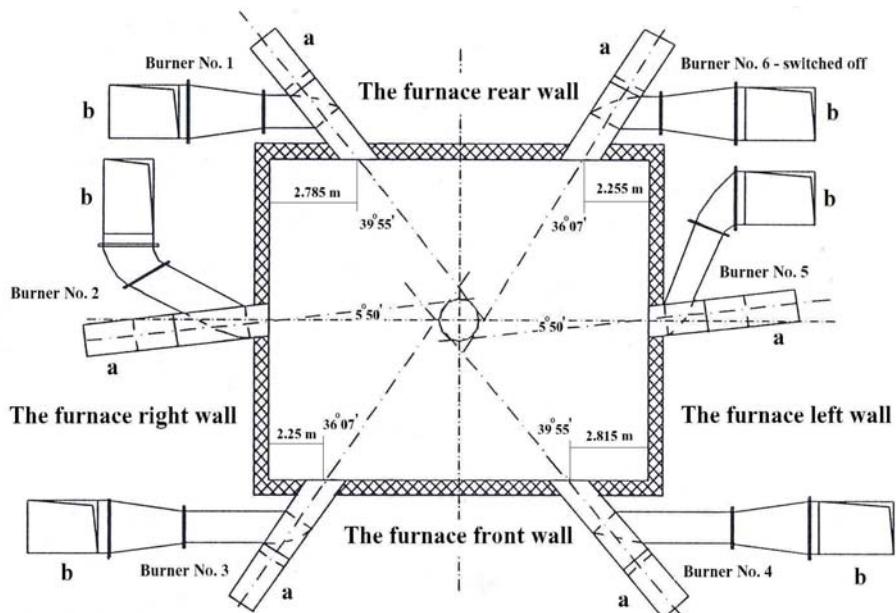


Fig. 14. Horizontal arrangement of the burners
a – pulverized coal-air mixture ducts, b – secondary air ducts

- feed water temperature 240°C
- drum pressure 152 bar
- boiler efficiency 0.85
- fuel consumption 73.6 kg/s

The boiler is designed to operate with lignite with lower calorific value of $5500\text{--}6700 \text{ kJ/kg}$, humidity (as received) $50\text{--}56\%$ and ash content $14\text{--}22\%$. More detailed description of the boiler design, water-steam circulation scheme, operating modes and data on fuel properties are given in [16,24]. The fuel composition corresponding to the basic test case presented in this work (Kolubara lignite-field D), is given in Tab. 6. Pulverised coal sieve analysis is presented in Tab. 7 and the laboratory determined kinetic parameters of the fuel are given in Tab. 8 [16].

Table 6. Kolubara lignite composition (field D)

Proximate analysis (after the mills, at W=14.00 %), %		Ultimate analysis, %		
Combustibles	65.60 %	Component	As received	After the mills
Char	47.00 %	C	22.70	41.00
Cfix	26.60 %	H	2.13	3.80
Volatiles	39.00 %	S	0.61	1.11
Moisture	14.00 %	O	10.40	19.70
Ash	20.40 %	N	0.49	
CO ₂	0.14 %	W	52.44	14.00
S (total)	1.11 %	A	11.23	20.40

Table 7. Coal fractions: Kolubara lignite, field D

Fraction \diamond	(0÷50) μm , %	(50÷90) μm , %	(90÷200) μm , %	(200÷500) μm , %	>500 μm , %	Mean particle diameter, μm
Milling						
Fine, $R_{90}=48.4\%$	40.68	10.92	20.74	17.84	9.82	194
Med., $R_{90}=60.15\%$	24.83	13.95	28.90	21.47	10.85	225
Raw, $R_{90}=73.85\%$	7.55	18.60	31.43	25.10	17.32	295
d_{pi} , μm	25	70	145	350	850	

Table 8. Kinetic parameters of the Kolubara lignite, field D

Kinetic parameters		Combustion rate at 1273 K, k_r , m/s
Pre-exponential coefficient A, m/s	Activation energy E , kJ/kmol	
$8.90 \cdot 10^3$	$9.54 \cdot 10^4$	1.08

furnace walls, contours of O₂, CO₂ and other species concentrations, as well as other variables. Figure 16a shows gas phase velocity vectors in horizontal furnace intersections.

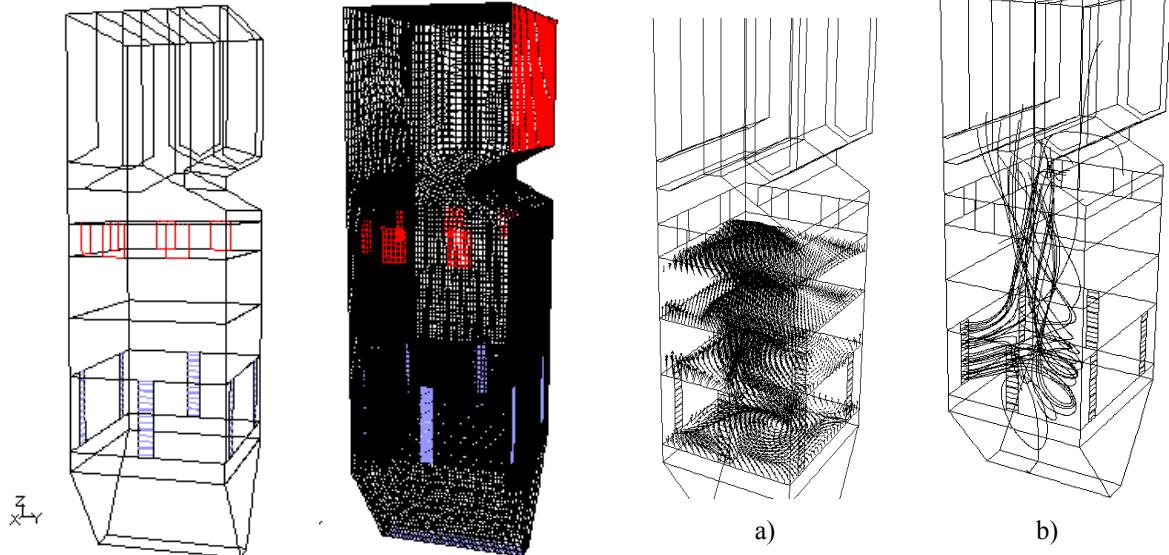


Fig. 15. Furnace geometry and numerical grid

In this case, also, the Fluent CFD package, including Gambit graphical processor and prePDF pre-processor, was employed for creation of the furnace numerical model. The geometry is created in a 3-D domain, which represents the whole boiler furnace, including the superheaters installed in its upper zone, Fig. 15. The generated numerical mesh consists of 315555 volume cells, 796804 faces and 189939 nodes.

The numerical simulations of the TENT A2 210 MW_e steam generator with the described model are performed at steady state operating conditions. The main results of this case study consist of flow fields, particles path lines, temperature contours, heat flux profiles to the

Fig. 16. a) Velocity vectors at several horizontal intersections; b) Traces of coal particles

Traces of particles thrown into the furnace from a single burner are presented in Fig. 16b. Simulation results of typical temperature distribution in vertical and horizontal intersections of the computational domain at boiler full load are presented in Fig. 17. The plots highlight the flame shape and high temperature spots outside the near-burner-flame boundaries.

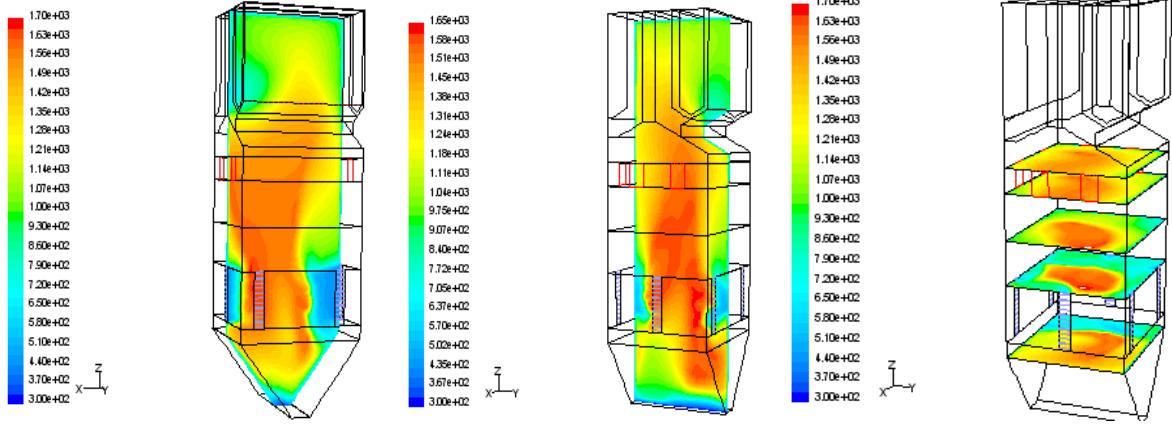


Fig. 17. Temperature contours in various vertical and horizontal intersections

Figure 18a presents the temperature profile along the furnace height. When compared to the profile given in [16], it can be noticed that there is a fairly good qualitative agreement of the profiles shape and even the temperature maximum has been obtained by both approaches at the same vertical level, around or somewhat above 25.0 m. Horizontal temperature profiles

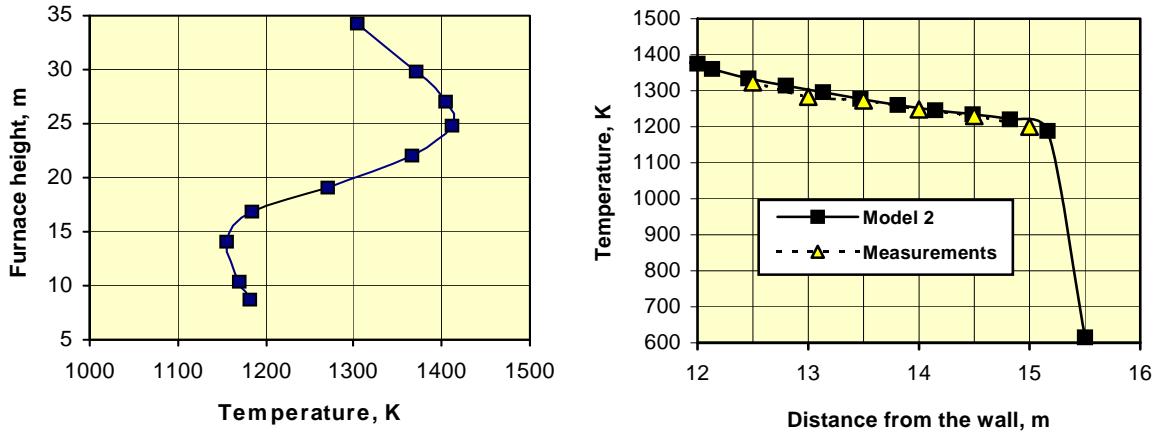


Fig. 18. a) Average temperature profile along the furnace height; b) Horizontal temperature profiles close to the right-hand wall at level 26.3 m

from the right-hand wall to the furnace core at level 26.3 m, obtained by the model simulations and measurements, are presented in Fig. 18b. The diagram demonstrates good accordance between the modelling results and the measured ones [16].

5. Conclusion

The paper presents methodology used to model and simulate processes of tangential pulverised coal-fired boilers furnaces, based on CFD technology. The described method gives a possibility to investigate the operation of boilers in various modes and situations, with different load, as well as with redistribution of coal and air mass flow at the inlets, which

would lead to certain changes of the flame position and other parameters. On a basis of comparisons with available site records a conclusion can be drawn that the model produces realistic insight into the furnace processes. Values of temperature, heat flux and combustion efficiency are in expected limits, typical for the boiler types and for the coals used and, in general, they follow the trend line of measurements.

The presented cases and other experiences with CFD modelling show that computational thermal modelling and analysis can successfully be applied to practical combustion systems. The procedure discussed in the paper and applied to utility boiler furnaces has wide band assertion applicability. The justification for this resides in the variety of processes and phenomena, which the CFD has already been shown to be able to handle.

References

- [1] **Fiveland A. W., Wessel A. R.** *Numerical Model for Predicting Performance of Three-Dimensional Pulverized-Fuel Fired Furnaces*, Jour. of Eng. for Gas Turbines and Power, Vol. 110, 1988, pp.117-126
- [2] **Fan J., Qian L., Ma Y., Sun P., Cen K.** *Computational modeling of pulverized coal combustion processes in tangentially fired furnaces*, Chemical Engineering Journal, Vol. 81, 2001, pp.261-269
- [3] **Jones J. M., Pourkashanian M., Williams A., Chakraborty R. K., Sykes J., Laurence D.** *Modelling of Coal Combustion Processes - a Review of Present Status and Future Needs*, Proceedings of the 15th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Pittsburgh, 1998, pp.1-20
- [4] **Eaton A. M., Smoot L. D., Hill S. C., Eatough C. N.** *Components, Formulations, Solutions, Evaluation and Application of Comprehensive Combustion Models*, Progress in Energy and Combustion Science; 25, 1999, pp.387–436
- [5] **Smoot L. D.** *A Decade of Combustion Research*, Progress in Energy and Combustion Science; 23(3), 1997, pp.203-232
- [6] **Smoot L. D.** *International Research Centers' Activities in Coal Combustion*, Progress in Energy and Combustion Science; 24: 1998, pp.409-501
- [7] **Boyd R. K., Kent J. H.** *Three-Dimensional Furnace Computer Modelling*, Proceedings of the Twenty-first Int. Symp. on Combustion/The Combustion Institute; 1986, pp.265-274
- [8] **Scott C. H., Smoot L. D.** *A Comprehensive Three-Dimensional Model for Simulation of Combustion Systems*, PCGC-3, Energy & Fuels; 7: 1993, pp.874-883
- [9] **Bermudez de Castro A., Ferin J. L.** *Modelling and Numerical Solution of a Pulverized Coal Furnace*, Proc. of the 4th Int. Conf. on Technologies and Combustion for Clean Environment; 7-10 July, 1997, Lisbon, Portugal; paper 33.1, 1-9
- [10] **Zhou L. X., Li L., Li R. X., Zhang J.** *Simulation of 3-D Gas-Particle Flows and Coal Combustion in a Tangentially Fired Furnace Using a Two-Fluid-Trajectory Model*, Powder Technology; 125: 2002, pp.226-233
- [11] **Schnell, U.** *Numerical Modelling of Solid Fuel Combustion Processes Using Advanced CFD-Based Simulation Tools*, Int. Journal of Progress in Computational Fluid Dynamics, Vol. 1, No. 4, 2001, pp. 208-218
- [12] **Knaus, H., Schnell, U. and Hein K. R. G.** *On the Modelling of Coal Combustion in a 550 MWel Coal-Fired Utility Boiler*, Int. Journal of Progress in Computational Fluid Dynamics, Vol. 1, No. 4, 2001, pp.194-207
- [13] **Yin C., Caillat S., Harion J. L., Baudoin B., Perez E.** *Investigation of the Flow, Combustion, Heat-Transfer and Emissions From a 609 MW Utility Tangentially Fired Pulverized Coal Boiler*, Fuel; 81, 2002, pp.997-1006
- [14] **Ratzel III, A. C., Howell, J. R.** *Two-Dimensional Radiation in Absorbing-Emitting Media Using the P-N Approximation*, Journal of Heat Transfer, Transactions of the ASME, Vol. 105, 1983, pp.333-340
- [15] **Filkoski R. V.** *Modelling of Thermal Processes and Optimisation of Power-Environmental Characteristics of Modern Boiler Plants*, Ph. D. Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University "Ss Cyril and Methodius", Skopje, 2004
- [16] **Belosevic S.** *Contribution to the Modeling of Processes in Pulverized Coal Combustion Boiler Furnace*, Ph.D. Thesis, Mecahnical Engineering Faculty, Univerisity in Belgrade, Belgrade, 2003
- [17] *** **Fluent Inc.** *Fluent Users Guide*, Fluent Inc., Lebanon NH, USA, 1998, 2001
- [18] **Kuo K.** *Principles of Combustion*, John Wiley & Sons, New York - Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore, 1986
- [19] **Khalil E. E.** *Modelling of Furnaces and Combustors*, Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent, 1982
- [20] **Siegel R., Howell J. R.** *Thermal Radiation Heat Transfer*, Hemisphere Publ. Corp., Washington D.C., 1992
- [21] **Hottel H. C., Sarofim A. F.** *Radiative Transfer*, McGraw-Hill, 1967
- [22] **Filkoski R. V., Petrovski I. J.** *Investigation of Furnace Processes in Power Steam Generators Based on CFD Simulation Tools*, Int. Symposium "Power Plants 2004", Vrnjacka Banja, Serbia, 2004
- [23] **Blok A. G.** *Heat Transfer in Steam Boiler Furnaces*, Hemisphere Publishing, London, 1988
- [24] **Bobovnickiy I.** *Parovoy kotel paroproizvoditelnostyu 650 t/h dlya bloka moshchnostyu 210 MWth tyeplovoy elektrostancii Obrenovac v Jugoslavii*, Teploenergetika, No 4, Izd. Energia, 1972, pp.87-90

SYNCHRONOUS OPERATION OF FIVE-PHASE CONVERTERS IN LINEAR MODULATION REGION

FUNCTIONAREA SINCRONA A CONVERTOARELOR PENTAFAZATE IN DOMENIUL MODULARII LINIARE

СИНХРОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЯТИФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ЗОНЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДУЛЯЦИИ

V. Oleschuk, F. Profumo, A. Sizov, A. Tenconi, E. Yaroshenko

RESUME

This paper presents results of the development and application of algorithms of synchronized pulselwidth modulation (PWM) for control of five-phase voltage source inverters. Simulations give the behavior of five-phase power conversion systems with algorithms of continuous and discontinuous synchronized PWM.

Keywords: multiphase modulated inverter, five-phase load, phase voltage synchronization.

RESUMAT

Aceasta lucrare prezinta rezultatele dezvoltarii si aplicarea algoritmilor modularii in durata a pulsurilor sincronizate pentru controlul invertoarelor pentafozate sursa de tensiune. Simularile prezinta comportarea sistemelor pentafozate de conversie a energiei cu algoritmi de modulare sincronizata de tipurile continuu si discontinuu.

Cuvinte cheie: inverter multifazat modulat, sarcina pentafozata, sincronizarea tensiunilor de faza.

АННОТАЦИЯ

Исследованы пятифазные инверторы напряжения, регулируемые в соответствии с модифицированными алгоритмами синхронной широтно-импульсной модуляции. Приведены результаты моделирования пятифазных преобразовательных систем с непрерывной и прерывистой разновидностями синхронной модуляции.

Ключевые слова: многофазный инвертор с широтно-импульсной модуляцией, пятифазная нагрузка, синхронизация фазного напряжения.

1. INTRODUCTION

Multiphase power electronic converters and ac drives are a subject of increasing interest in the last years due to some advantages compared with standard three-phase systems, especially in the field of high power/high current applications. In particular, multiphase topologies of electric drives allow reduction of amplitude and increasing the frequency of torque pulsation, and also reduction of the rotor harmonic losses in electrical machines. Multiphase inverters and converters allow dividing of the controlled power on more inverter legs, reducing the rated current of power switches [1]-[2]. Between different multiphase solutions the more interesting and addressed ones are the five-phase and six-phase power conversion systems [1].

In particular, five-phase adjustable speed drives on the base of five-phase inverters are now ones of the most suitable topologies of multiphase drives for such perspective fields of application, as electric vehicles, ship propulsion, aerospace, etc. So, space-vector-based control and modulation methods and techniques for five-phase systems have been developed intensively during last period [3]-[9]. Five-leg voltage source inverters for five-phase drives are characterised by additional degrees of freedom for their control in comparison with conventional three-phase systems. At the same time it is known, that almost all versions of standard space-vector modulation are based on asynchronous principle, which results in sub-harmonics (of the fundamental frequency) in the spectrum of the output voltage of inverters, that are very undesirable in drive systems with increased power rating, operating at low switching frequencies [10],[11]. In particular, if the ratio between the switching and fundamental frequency of drive systems is less than 20-25, it is necessary to use synchronized PWM for control of these systems [11].

In order to avoid asynchronism of standard space-vector PWM, novel method of synchronized PWM has been recently proposed for control of standard three-phase inverters [12]. So, this paper present results of the development of this new PWM method for synchronous adjustment of five-phase drive inverter in the linear modulation region, until the zone of overmodulation.

2. SYNCHRONIZED SPACE-VECTOR PWM FOR A FIVE-PHASE SYSTEM

Basic topology of power circuit of a five-phase voltage source inverter with a star-connected load with the neutral point n is presented in Fig. 1 [7]. In particular, in the case of a five-phase motor as a load, the five stator phases a , b , c , d and e are distributed with a spacing of 72^0 .

Space-vector pulsewidth modulation is one of the most suitable control techniques for five-phase systems. Similar to three-phase space-vector PWM, it can be developed for a five-phase system, as shown in Fig. 2 for a period of the fundamental frequency [4]. In particular, Fig. 2 shows ten basic switching vectors **(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)** for a five-phase inverter in accordance with conventional designation (in brackets) of switching state of every switch of the inverter, where “1” corresponds to the switch-on state of the corresponding switch of the upper group of switches of the phases $a - e$ [4]. This control scheme includes also two zero switching states (00000 and 11111), providing zero voltage at the outputs of the inverter.

Although total number of available voltage space vectors in five-phase inverter is equal to 32, the using only of the mentioned above 12 vectors (ten active vectors (large vectors [4]), and two zero vectors) allows minimum number of switchings in inverter and minimum switching losses [4]. It allows also providing continuous adjustment of the fundamental voltage during both undermodulation and overmodulation control zones, until the maximum phase-to-neutral voltage at the ten-step operation mode.

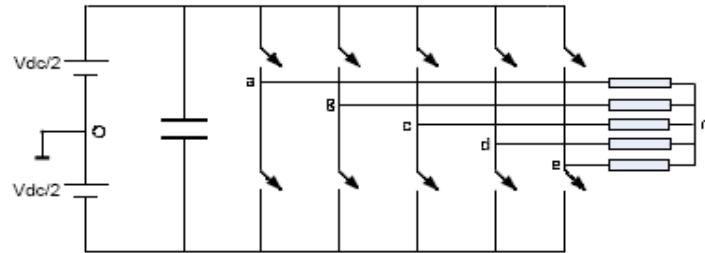


Fig. 1.

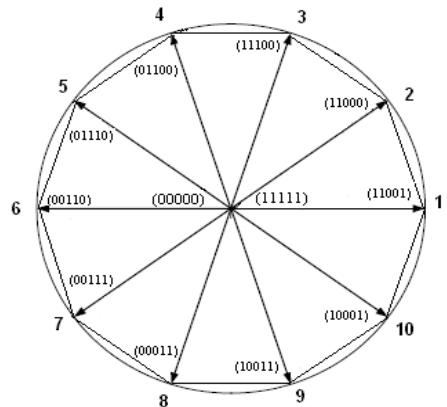


Fig. 2.

2.1. Principle of Continuous Voltage Synchronization

In order to provide synchronization of the process of space-vector PWM, a novel approach has been proposed for synthesis of the output voltage of three-phase inverters [12]. The main principles of this method, developed and modified for control of the five-phase systems, are based on the following deductions.

In accordance with principle of voltage space-vector modulation for symmetrical PWM versions, applied for control of five-phase systems, the ratio of durations of the corresponding total active switching state signals β_j during a sub-cycle to the central active switching state signal β_1 , which is formed in the centre of the 36^0 -clock-intervals, can be written as

$$\frac{\beta_j}{\beta_1} = \frac{\sin(36^0 - \alpha_j) + \sin \alpha_j}{\sin(36^0 - \alpha_1) + \sin \alpha_1} = 1.618[\sin(36^0 - \alpha_j) + \sin \alpha_j] \quad (j = 2, \dots, i) \quad (1)$$

where α_j - angle position of the centre of the β_j -signal from the beginning of the 36^0 -clock-interval; $\alpha_1 = 18^0$ - the angle position of the central β_1 -signal.

The relative widths of the γ -components of total active switching states, which have less duration regarding the corresponding $(\beta - \gamma)$ -component, are equal to:

$$\frac{\gamma_k}{\beta_{i-k+1}} = \frac{\sin(\alpha_{i-k+1})}{\sin(36^0 - \alpha_{i-k+1}) + \sin(\alpha_{i-k+1})} \quad (k = i-1, \dots, 1) \quad (2)$$

So, one of the basic ideas of the method of synchronized PWM is in continuous synchronization of the positions of all central signals β_1 in the centres of the 36^0 -clock-intervals (to fix positions of the β_1 -signals in the centres of the 36^0 -clock-intervals for the five-phase systems), and then – to generate symmetrically around the centres of the 36^0 -clock-intervals all other active β - and γ -signals in accordance with (1) and (2).

2.2. Continuous Synchronized PWM in A Five-Phase Inverter

As an example, Fig. 3 presents switching state sequence, switching signals (pole voltages V_a - V_e) for the phases a - e , and the phase-to-neutral voltage V_{an} on a half of period of the fundamental frequency F for five-phase inverter with continuous synchronized PWM. Continuous scheme of space-vector modulation is characterized by continuous switchings of each inverter leg during each sub-cycle. Switching states corresponds here to designations presented in Fig. 2. The phase-to-neutral voltage V_{an} is calculated in accordance with (3) [5]:

$$V_{an} = (4/5)V_a - (1/5)(V_b + V_c + V_d + V_e) \quad (3)$$

Fig. 4 shows more in details control and output signals of the five-phase inverter for the first 36^0 -clock-interval. Due to the symmetrical principle of generation of control signals, the phase-to-neutral voltage of five-phase system has quarter-wave symmetry during the whole diapason.

To provide realisation of algorithms of voltage space-vector modulation during synchronized PWM, a set of control functions connecting voltage parameters with the fundamental and switching frequencies of the system can be used, which is based on simple transformation of (1) and (2). In particular, in accordance with (1):

$$\beta_j = \beta_1 \cos(18^0 - \alpha_j) \quad (4)$$

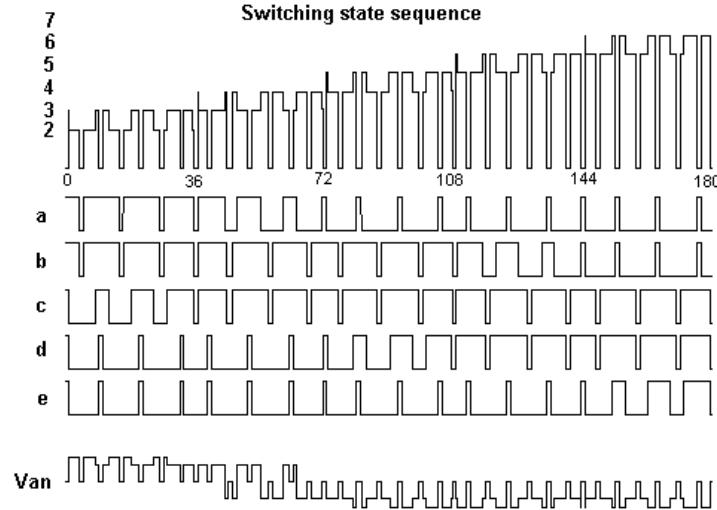


Fig. 3.

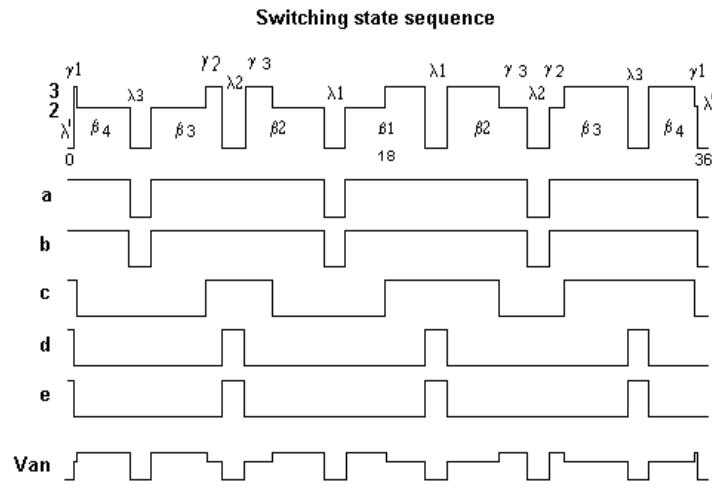


Fig. 4.

At the same time, the angle position α_j of the centre of the corresponding β -signal in Figs. 3-4 is equal to:

$$\alpha_j = 18^0 - (j-1)\tau \quad (j=1..i), \quad (5)$$

where τ is the width of sub-cycle. So, for $j=2,..i$:

$$\beta_j = \beta_1 \cos[(j-1)\tau] \quad (6)$$

To realise widespread scalar control mode ($V/F=const$ control) of adjustable speed five-phase drive system with linear control of the fundamental voltage until the zone of overmodulation, it is reasonable to execute simple linear control of the β_1 -signal:

$$\beta_1 = 1.03m\tau , \quad (7)$$

and it provides the maximum width of the central signal, equal to the duration of the switching period at the end of the linear modulation range.

After analogue transformation of (2) for $j=i-1, \dots, 2$:

$$\gamma_j = \beta_{i-j+1} \{0.5 - 0.809 \tan[(i-j)\tau]\} \quad (8)$$

Duration of the notches between the signals in Figs. 3-4 for $j=1, \dots, i-1$:

$$\lambda_j = \tau - (\beta_j + \beta_{j+1}) / 2 \quad (9)$$

To provide the mentioned above in part 2.1 continuous synchronization of the output voltage in five-phase inverters, by the analogy with the three-phase converters [12], the scheme of synchronized PWM includes, as an important control parameter, boundary frequencies F_i , situated on the axis of the fundamental frequency F of the system. F_i is calculated in a general form as a function of the width of sub-cycles τ in accordance with (10), and the neighboring F_{i-1} - from (11). The modulation index is $m = F / F_m$ in the case of the scalar V/F control. Index i is equal to the numbers of notches inside a half of the 36^0 -clock-intervals and it is determined from (12), where fraction is rounded off to the nearest higher integer:

$$F_i = \frac{1}{10(2i-1)\tau} \quad (10)$$

$$F_{i-1} = \frac{1}{10(2i-3)\tau} \quad (11)$$

$$i = \frac{1/10F + \tau}{2\tau} \quad (12)$$

The process of voltage synchronization in five-phase systems is also connected with specialized control of the signals situated near the boundaries of the 36^0 -clock-intervals. In particular, for the waveforms presented in Figs. 3 - 4, where $i=4$, the corresponding boundary signals are: $\lambda_4 = \lambda_i = \lambda'$, $\beta_4 = \beta_i = \beta''$, and γ_1 . Control functions (14)-(16) for determination

of these parameters include special linear coefficient of synchronisation K_s (13), providing smooth step-by-step quasi-linear variation of these signals from the rated value to close to zero value between the boundary frequencies F_i and F_{i-1} :

$$K_s = 1 - \frac{F - F_i}{F_{i-1} - F_i} \quad (13)$$

$$\beta_i = \beta'' = \beta_1 \cos[(i-1)\tau]K_s \quad (14)$$

$$\lambda_i = \lambda' = (\tau - \beta'')K_s \quad (15)$$

$$\gamma_1 = 5\beta''(\lambda' + \beta'')FK_s \quad (16)$$

2.3. Disontinuous Synchronized PWM in A Five-Phase Inverter

Fig. 5 presents switching state sequence, pole voltages V_a - V_e for the phases a - e , and the phase-to-neutral voltage V_{an} on a half of period of the fundamental frequency F for five-phase inverter with discontinuous synchronized PWM. Discontinuous scheme of space-vector modulation for five-phase inverters is characterized by the four 18^0 -non-switching intervals during period of the fundamental frequency.

Fig. 6 shows more in details control and output signals of the five-phase inverter with discontinuous PWM for the first 36^0 -clock-interval. Control functions for determination of the boundary frequencies and index i are slightly modified in this case in comparison with continuous synchronized PWM:

$$F_i = \frac{1}{10(2i-1.5)\tau} \quad (17)$$

$$F_{i-1} = \frac{1}{10(2i-3.5)\tau} \quad (18)$$

$$i = \frac{1/10F + 1.5\tau}{2\tau} \quad (19)$$

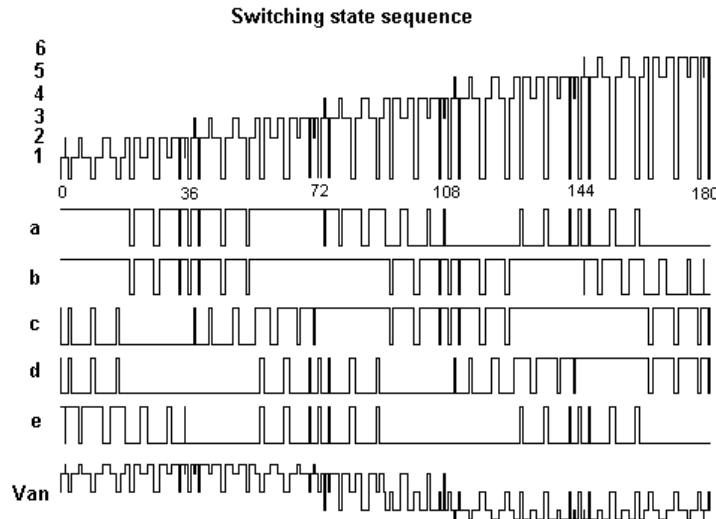


Fig.5.

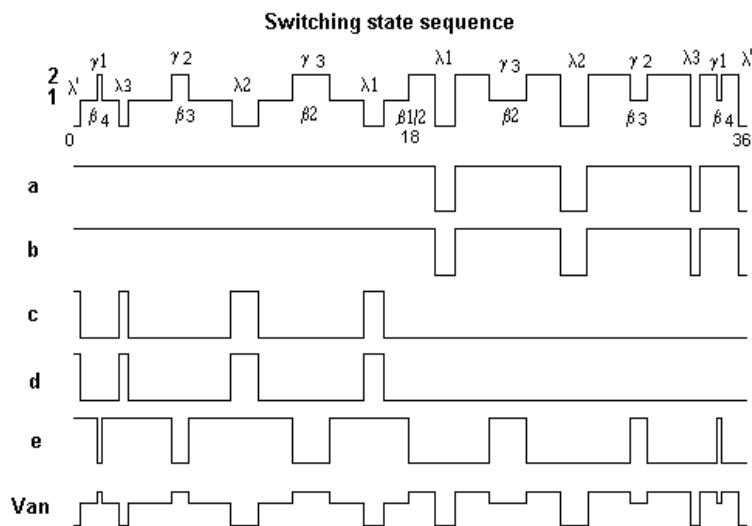


Fig. 6.

3. OPERATION OF THE SYNCHRONIZED FIVE-PHASE SYSTEM IN LINEAR MODULATION RANGE

Algorithms of synchronized space-vector PWM allow continuous shock-less synchronization of waveforms of the output voltage of five-phase inverter during the whole control range including the zone of overmodulation. Fig. 7 – Fig. 10 present basic voltage waveforms (with spectral characteristics of the phase-to-neutral voltage) of the five-phase inverter controlled in accordance with two basic schemes of synchronized PWM: 1)

Continuous synchronized PWM (Fig. 7 and Fig. 9), and 2) Discontinuous PWM with the 18⁰-non-switching intervals (Fig. 8 and Fig. 10).

Curves in Figs. 7 – 8 correspond to the zone of low fundamental frequencies of the system ($F = 20 \text{ Hz}$, modulation index $m = 0.4$ in the case of the scalar V/F control). The average switching frequency is 1.5 kHz . Fig. 7 (continuous PWM) and Fig. 8 (discontinuous PWM) present the pole voltages $V_a - V_e$, line voltage V_{ac} , and phase-to-neutral voltage V_{an} (together with spectrum of the phase-to-neutral voltage) of the five-phase system with synchronized PWM.

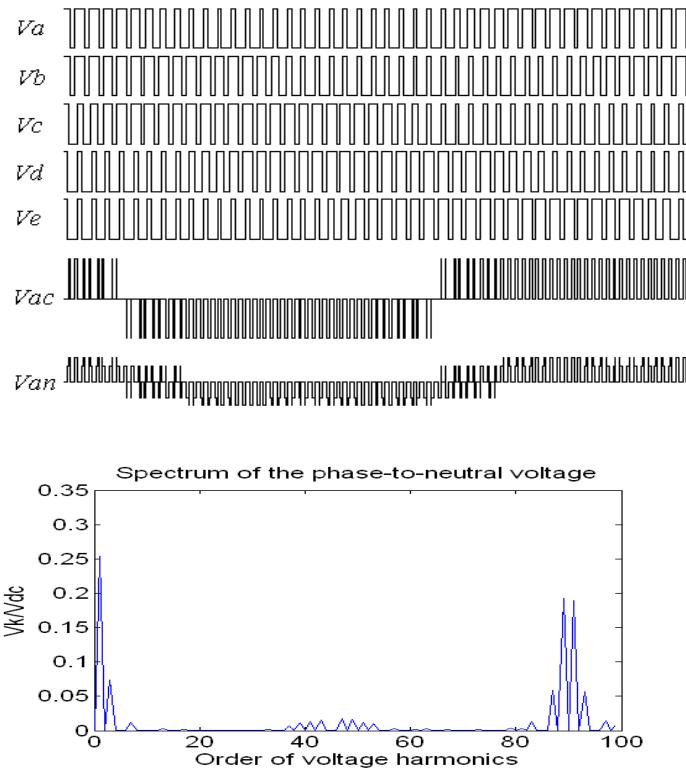
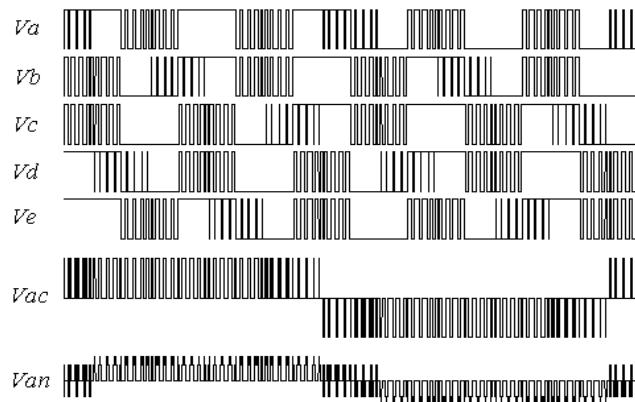


Fig. 7.



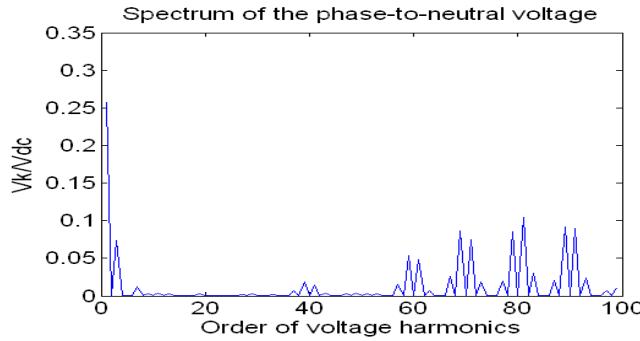


Fig. 8.

Fig. 9 – Fig. 10 present basic voltage waveforms (with spectral characteristic of the phase-to-neutral voltage) of the five-phase inverter with continuous synchronized PWM (Fig. 9), and with discontinuous synchronized modulation (Fig. 10), operating in the zone of higher fundamental frequencies, where $F = 40\text{Hz}$ (modulation index $m=0.8$ in the case of V/F control). The average switching frequency is 1.5 kHz .

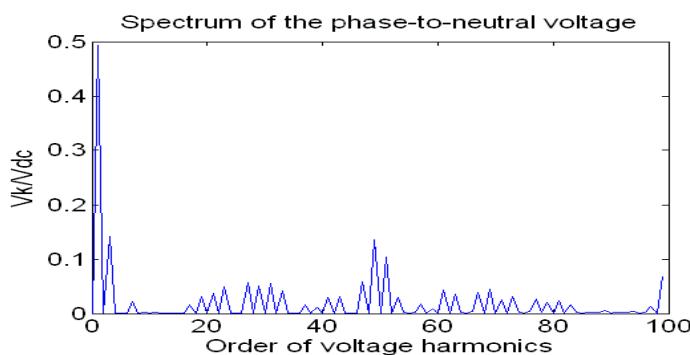
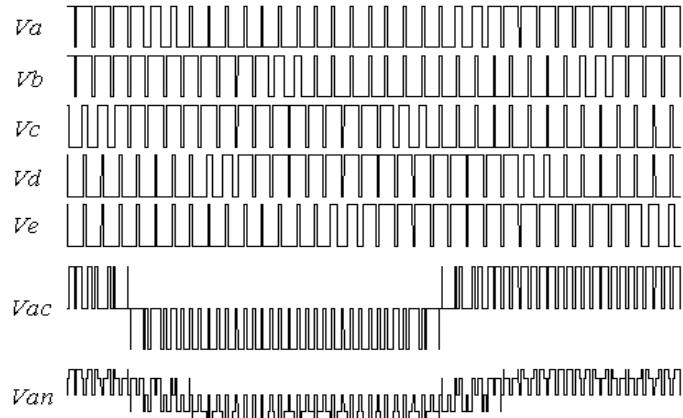


Fig. 9.

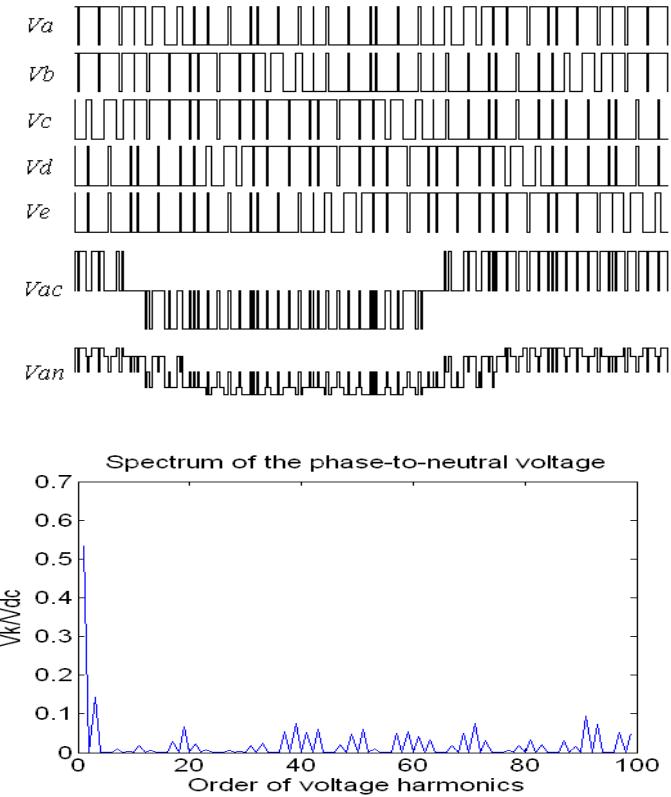


Fig. 10.

Algorithm of synchronized PWM provides continuous symmetry of the phase-to-neutral voltage of the five-phase system. So, its spectrum includes only odd (non fifth-order) harmonics for both continuous and discontinuous versions of synchronized PWM for any fundamental frequencies and for any (integer and fractional) ratios between the switching frequency and fundamental frequency. In particular, the control mode of the inverter, presented in Figs. 9-10, is characterized by the fractional ratio between the switching frequency and fundamental frequency, equal to $1500/40=37.5$, but the phase-to-neutral voltage has quarter-wave symmetry in this control mode too.

During synthesis of algorithms of synchronized PWM for five-phase inverters it is necessary to take into consideration real parameters of inverter switches (turn-on and turn-off delays), and to provide minimum duration of switching states, dead-time compensation, etc., in accordance with the corresponding technical solutions [10],[11].

Analysis of spectral composition of the phase-to-neutral voltage of five-phase inverter, controlled in accordance with the scheme of space-vector modulation with ten active voltage vectors and two zero vectors, presented in Fig. 2, shows presence in its spectrum of the large third harmonic during the whole control range for both continuous and discontinuous versions of PWM. Due to this big third harmonic content, total harmonic distortion of the phase-to-

neutral voltage, and also weighted total harmonic distortion factor, are practically identical for continuous and discontinuous schemes of synchronized PWM.

Fig. 11 shows variation of the magnitude of the third harmonic of the phase-to-neutral voltage of five-phase inverter with standard V/F control mode. The magnitude of the third harmonic is in practically linear dependence of modulation index m , and its value is practically identical for both continuous and discontinuous versions of synchronized PWM. And relative (to the magnitude of the fundamental harmonic) value of the third voltage harmonic is close in this case to the constant ratio equal to 0.28.

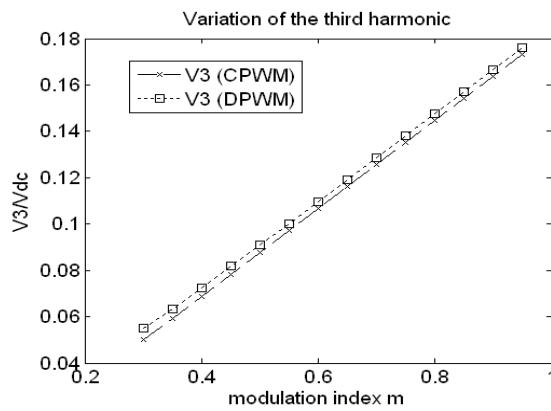


Fig. 11.

It is necessary to mention, that due to the specific peculiarities of the five-phase drives on the base of the electrical machine with concentrated windings, it is possible to utilize the third harmonic stator current injection to enhance the torque production [4],[5],[8]. So, the presented twelve-vector-based scheme of synchronized PWM, which is characterized by big third harmonic in the spectrum of the phase-to-neutral voltage, can provide increased torque per ampere ratio in the five-phase drives with the motors with concentrated winding.

CONCLUSION

A novel method of synchronized PWM has been developed and modified for control of five-phase voltage source inverters. The proposed control algorithms, based on space-vector approach for determination of the pulse patterns, allow minimum number of switchings in five-phase systems and minimal switching losses.

Both continuous and discontinuous schemes of synchronized PWM provide smooth symmetrical shock-less voltage control in five-phase inverter systems during the whole linear control range for any ratio (integral or fractional) between the switching frequency and fundamental frequency. The phase-to-neutral voltages of inverters have symmetry during this

control diapason, and its spectra do not contain even harmonics and sub-harmonics, which is especially important for the drive systems with increased power/current ratings.

Due to the specific peculiarities of the five-phase drives, the presented twelve-vector-based schemes of synchronized PWM, producing controlled third harmonic in the spectrum of the phase-to-neutral voltage, can provide increased torque per ampere ratio in the five-phase drives with the motors with concentrated winding.

ACKNOWLEDGMENT

This research has been supported in part by Marie Curie International Fellowships Award of the FP6 Program of the European Commission.

REFERENCES

- [1] R. Bojoi, F. Farina, F. Profumo and A. Tenconi, "Dual-three phase induction machine drives control – a survey", *CD-ROM Proc. of the 2005 IEEE Int'l Power Elect. Conf.*, 10 p.
- [2] V. Oleschuk, R. Bojoi, F. Profumo, A. Tenconi and A.M. Stankovic, "Multifunctional six-phase drives with algorithms of synchronized PWM", *Proc. of the 2006 IEEE Ind. Electr. Soc. Conf.*, pp.1852-1859.
- [3] H.A. Toliyat, "Analysis and simulation of five-phase variable-speed induction motor drives under asymmetrical connections," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol.13, no.4, 1998, pp.748-756.
- [4] R. Shi and H.A. Toliyat, "Vector control of five-phase synchronous reluctance motor with space vector pulse width modulation (SVPWM) for minimum switching losses," *Proc. of the 2002 IEEE Appl. Power Electr. Conf.*, pp.57-63.
- [5] H. Xu, H.A. Toliyat and L.J. Peterson, "Five-phase induction motor drives with DSP-based control system," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol.17, no.2, 2002, pp.524-533.
- [6] A. Iqbal and E. Levi, "Space vector modulation schemes for a five-phase voltage source inverter," *CD-ROM Proc. of the 2005 European Power Electr. Conf.*, 12 p.
- [7] A. Iqbal, E. Levi, M. Jones and S.N. Vukosavic, "Generalised sinusoidal PWM with harmonic injection for multi-phase VSIs," *CD-ROM Proc. of the 2006 IEEE Power Electr. Spec. Conf.*, 7 p.
- [8] H.M. Ryu, J.H. Kim and S.K. Sul, "Analysis of multiphase space vector PWM based on multiple $d-q$ spaces concept," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol.20, no.6, 2005, pp.1364-1371.
- [9] A. Iqbal and E. Levi, "Space vector model of a five-phase voltage source inverter," *Proc. of the 2006 IEEE Int'l Conf. on Ind. Technology*, pp.488-493.
- [10] J. Holtz, "Pulsewidth modulation for electronic power conversion," *Proc. of IEEE*, vol. 82, no. 8, 1994, pp.1194-1213.
- [11] N. Mohan, T.M. Undeland and W.P. Robbins, *Power Electronics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2003.
- [12] V. Oleschuk and F. Blaabjerg, "Direct synchronized PWM techniques with linear control functions for adjustable speed drives," *Proc. of the 2002 IEEE Appl. Power Electr. Conf.*, pp.76-82.

Valentin Oleschuk, D.Sc., is Director of the Research Laboratory of the Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author and co-author of two books and more than 170 publications in the field of Power Electronics and Electric Drives, including 40 publications in the IEEE transactions and proceedings. He holds also 89 patents and authors certificates in this area. His research interests include control and modulation strategies for perspective topologies of power converters and drives.

Francesco Profumo, Ph.D., is Professor of electrical machines and drives of the Politecnico di Torino, Italy. He is author and co-author of more than 250 prestigious publications (mainly in the IEEE transactions and proceedings) on Power Electronics and Electric Drives. His fields of interests are high-power devices, integrated electronic/electromechanical design, high response speed servo drives, and new electrical-machine structures.

Alexandr Sizov is Scientific Collaborator of the Laboratory of Automated Electric Drives of the Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author and co-author of about 50 publications and 10 patents and authors certificates. His research interests include elaboration, modelling and simulation of control algorithms and control systems for power electronic converters and drive systems.

Alberto Tenconi, Ph.D., is Professor of the Department of Electrical Engineering of the Politecnico di Torino, Italy. He is author and co-author of more than 100 papers published in international journals and international conference proceedings. His fields of interest are high-performance-drive design, new power-electronic-device applications and nonconventional electric machine development.

Evgeni Yaroshenko is Scientific Collaborator of the Laboratory of the Automated Electric Drives of the Power Engineering Institute of the Academy of sciences of Moldova. He is author and co-author of more than 50 publications and of 9 patents and authors certificates. His research interests are connected with elaboration, modelling, simulation and implementation of modern topologies of adjustable speed drive systems.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ «ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ – ВВП»
ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА**
Шит Б.М

Институт энергетики АНМ
ieasm@cc.acad.md

**DYNAMIC MODEL “ELECTRICITY CONSUMPTION - GDP” FOR REPUBLIC
OF MOLDOVA**
Sit B. M.

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Republic of Moldova
ieasm@cc.acad.md

**MODELUL DINAMIC „CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ - PIB”
PENTRU REPUBLICA MOLDOVA**
Şit B.M.

Institutul de Energetică al AŞM
ieasm@cc.acad.md

РЕЗУМАТ

Articolul este dedicat elaborării modelelor econometrice ale consumului energiei electrice (EE) în Republica Moldova cu scopul determinării posibilităților potențiale ale PIB de a influența procesele de consum ale EE.

În contextul modelelor elaborate sunt descoperite direcțiile relațiilor cauza-urmare, obținute relațiile de tip ecuații de regresie cointegratoriale, ce permit determinarea caracteristicilor calitative ale parametrilor de bază, ce influențează consumul energiei electrice. Aplicarea modelului vector autoregresional permite estimarea reacției consumului EE la modificările de vârf ale parametrilor care îl influențează și deasemenea permite de a face concluzii despre erori ce se introduc în pronostic de către fiecare parametru.

Clasificarea JEL: Q41,Q43.

Cuvinte cheie: modele econometrice, consumul de energie electrică.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена разработке эконометрических моделей потребления электроэнергии (ЭЭ) в Республике Молдова с целью определения потенциальных возможностей влияния ВВП на процессы потребления этого товара. В рамках разработанных эконометрических моделей выявлены направления причинно-следственных связей. Применение векторных авторегрессионных моделей позволит оценить реакцию потребления ЭЭ на шоковые изменения факторов, а также сделать выводы об ошибках, вносимых в прогноз каждым из них.

Классификация JEL: Q41,Q43.

Ключевые слова: эконометрические модели, потребление электроэнергии и его связь с ВВП.

ABSTRACT

The article is devoted to the development of econometric models of electricity consumption in Republic of Moldova with the purpose of definition of potential possibilities of GPD influence on electricity consumption processes.

In this paper, we examine the causal relationship between the per capita electricity consumption and the per capita GDP for Republic of Moldova using VAR model. Our results show that there is bidirectional causality from per capita GDP to per capita electricity consumption and vice versa. The finding has significant implications from the point of view of energy conservation, emission reduction and economic development.

Key words: Electricity consumption, Economic growth, VAR model, Granger causality.

JEL classification: Q41,Q43.

Цель исследования.

Проблема кausalного соотношения между потреблением электроэнергии и ВВП является вопросом, который широко представлен в литературе по экономике энергетики. Исследования различаются странами, различными периодами их истории и различными переменными, характеризующими энергетику и экономику. Полученные результаты отличаются направлением каузальности и ее долгосрочным или краткосрочным влиянием на политику в области энергетики. В зависимости от того, какой вид каузальности существует, выводы, которые делаются при проведении энергетической политики, могут значительно отличаться.

Цель данного исследования двойная:

- эмпирически установить существование и направление каузальной взаимосвязи между потреблением электроэнергии и экономическим ростом в Молдове. Данная задача является крайне важной для определения стратегии поведения в электроэнергетике. Если, например, существует односторонняя каузальность по Гранжеру от ВВП к потреблению электроэнергии, это может означать, что меры, направленные на сбережение электроэнергии, не будут оказывать влияние на экономический рост. С другой стороны, если существует односторонняя каузальность от потребления электроэнергии к ВВП, сокращение потребления электроэнергии может привести к снижению ВВП.

- определение вида векторной авторегрессионной модели (VAR) - модели для определения взаимосвязи экономики и электроэнергетики Республики Молдова с учетом того, чтобы эти уравнения являлись каузальными по Гранжеру. В противном случае необходимо сделать вывод о наличии более сложной связи между переменными.

Нами применена векторная авторегрессионная модель (VAR), часто используемая в подобных случаях [1]. VAR является наиболее подходящей для данного исследования благодаря своей способности описывать динамическую структуру модели, а также, потому что она позволяет избежать использования ряда дополнительных ограничений, связанных с различными экономическими теориями. Использование VAR в макроэкономике внесло фундаментальный вклад в развитие многих экономических теорий [2].

1. Электроэнергетика Республики Молдова.

Энергетическая инфраструктура Республики Молдова представляет собой в настоящее время устойчивого импортера электрической энергии. Страна имеет три крупных источника генерации электроэнергии когенерационного типа. Ограничения в работе электроэнергетического комплекса в значительной степени определяются состоянием оборудования, а также острым дефицитом топлива (природного газа), который полностью импортируется из России. Экономический кризис середины 90-х годов крайне пагубно отразился на состоянии энергетического хозяйства. Энергосистема страны связана высоковольтными линиями передач 110, 330 и 400 кВ с энергосистемами Украины, Болгарии и Румынии [3].

2. Методология и данные.

В качестве исходных данных о ВВП были использованы годовые данные с 1991 по 2004 гг. [4]. Данные о потреблении электроэнергии, ее импорте и потерях были получены из [5-8]. Мы используем в качестве переменной характеризующей экономику значение величины ВВП на душу населения. Графики потребления электрической энергии и ВВП приведены на рис. 1 и рис. 2.

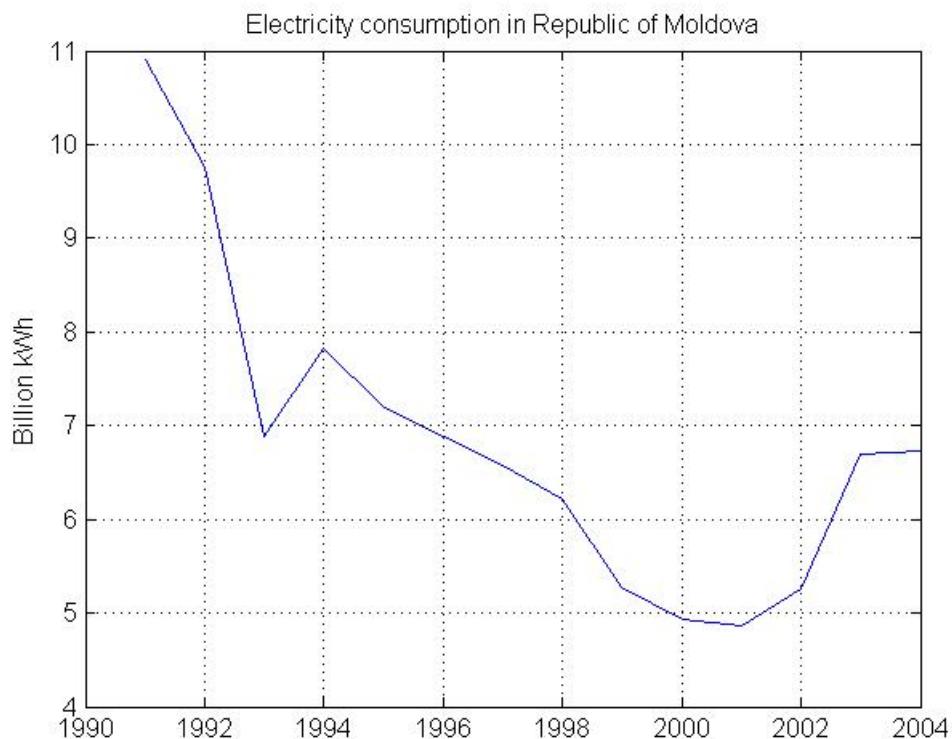


Рис.1 Зависимость потребления электрической энергии о времени

Первый этап работы состоит в определении того, являются ли исследуемые ряды стационарными. Стационарность регрессоров является очень важным условием при оценивании регрессионных моделей. Если модель неверно специфицирована, и некоторые из переменных, включены в нее неправильно, то полученные оценки будут очень плохими. Они не будут обладать свойством состоятельности, то есть не будут сходиться по вероятности к истинным значениям параметров по мере увеличения размеров выборки. Привычные показатели, такие как коэффициент детерминации R², t-статистики, F-статистики, будут указывать на наличие связи там, где на самом деле ее нет. Такой эффект называют ложной регрессией [9].

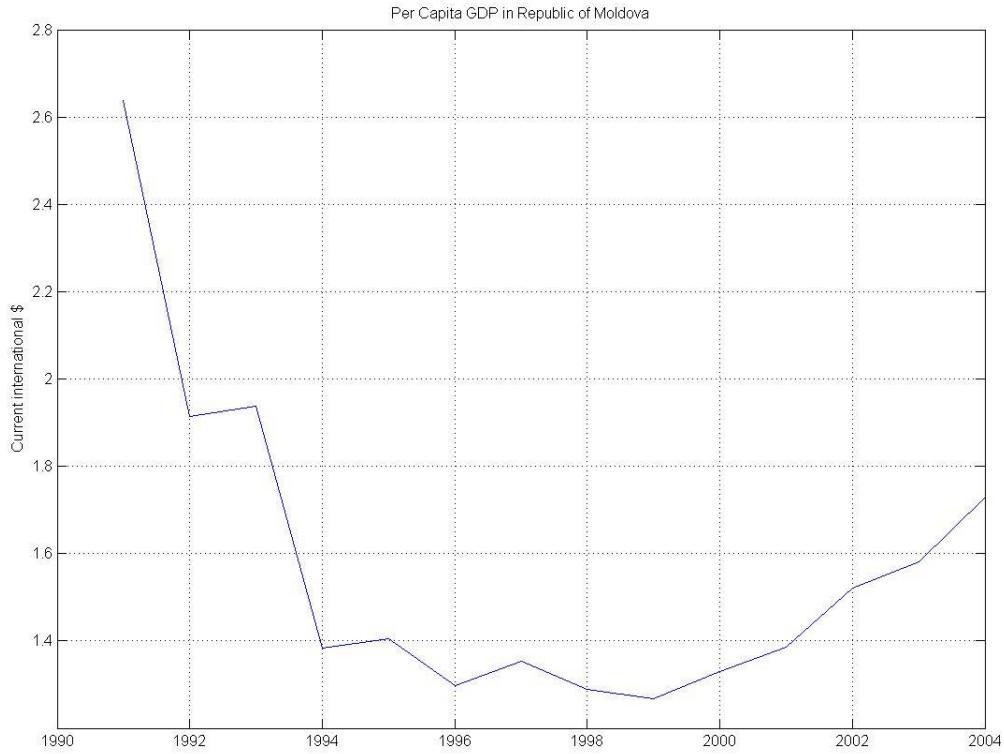


Рис.2. Зависимость ВВП на душу населения от времени.

При исследовании стационарности регрессоров был использован критерий Квятковского–Перрона–Филлипса–Шмидта [10] (KPSS в латинской транскрипции). Необходимость использования этого критерия объясняется тем, что расширенный критерий Дикки–Фуллера имеет слабую мощность при коротких выборках [11].

Для определения каузальности воспользуемся результатами работ [7,8].

Тест на коинтеграцию показал наличие долговременной связи при взаимодействии потребления электроэнергии и ВВП на душу населения. Поэтому мы проводим тест на каузальность используя VAR. Кратко опишем подход при определении каузальности по Гренджеру для данного случая, основанный на методиках [1,2].

В случае двух переменных С и Y подход к каузальности по Гренджеру отличается от общего случая. В этом случае каузальность определяет (измеряет) приоритет и информацию, предоставляемую С для объяснения текущего значения Y. В соответствии с этим подходом Y считается каузальным в зависимости от С, если С помогает в предсказании Y или равнозначно смещенные значения С статистически значимы.

Временные ряды двумерной VAR для переменных С и Y имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Y_t &= y_0 + \sum_{i=1}^k a_{11}^i Y_{t-i} + \sum_{i=0}^{k1} a_{12}^i C_{t-i} + \varepsilon_{1t} \\
 C_t &= c_0 + \sum_{i=1}^k a_{21}^i C_{t-i} + \sum_{i=0}^{k1} a_{22}^i Y_{t-i} + \varepsilon_{2t}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь y_0, c_0 – константы, а $\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}$ – некоррелированные возмущения.

Проверка каузальности по Гранжеру состоит в проверке значимости коэффициентов $b_{11}, b_{21}, a_{12}, a_{22}$.

В результате проведения регрессионного анализа получены следующие модели:
Варианты моделей влияния потребления электроэнергии на ВВП,

$$Y_i = y_0 + a_{11}^{(1)} Y_{i-1} + a_{12}^{(0)} C_i + a_{12}^{(1)} C_{i-1} + a_{12}^{(2)} C_{i-2} + \varepsilon_{1i} \quad (2)$$

$$Y_i = y_0 + a_{11}^{(1)} Y_{i-1} + a_{12}^{(1)} C_{i-1} + a_{12}^{(2)} C_{i-2} + \varepsilon_{1i} \quad (3)$$

модель влияния потребления электроэнергии на ВВП на душу населения.

$$C_i = c_0 + a_{21}^{(1)} C_{i-1} + a_{21}^{(2)} C_{i-2} + a_{22}^{(0)} Y_i + a_{22}^{(1)} Y_{i-1} + \varepsilon_{2i} \quad (4)$$

Значения коэффициентов сведены в Табл.1 .

Таблица 1. Значения коэффициентов в уравнениях регрессии

Наименование и значение коэффициента	y_0	c_0	$a_{11}^{(1)}$	$a_{12}^{(0)}$	$a_{12}^{(1)}$	$a_{12}^{(2)}$	$a_{21}^{(1)}$	$a_{21}^{(2)}$	$a_{22}^{(0)}$	$a_{22}^{(1)}$
Уравнение 2	459.199		1.110	-132.236		172.459	-135.523			
Уравнение 3	276,671		0,820		120,151	-117,866				
Уравнение 4		2,642684					0.943772	-0.671306	-0.004563	0.005936

В этих уравнениях все коэффициенты при regressорах – значимы, что свидетельствует о наличии двунаправленной каузальности между ВВП и потреблением электроэнергии. Все остальные комбинации regressоров при лаге в переменных до двух оказались незначимыми. Данная система может быть решена численными методами.

Для решения этой системы уравнений введем оператор обратного сдвига z , соответствующий сдвигу сигнала на один шаг дискретизации назад [9]. Тогда из уравнения (3) получим:

$$Y(1 - a_{11}^{(1)} z) = y_0 + (a_{12}^{(1)} z + a_{12}^{(2)} z^2) C \quad (5)$$

Отсюда,

$$Y = \frac{y_0}{1 - a_{11}^{(1)} z} + \frac{a_{12}^{(1)} z + a_{12}^{(2)} z^2}{1 - a_{11}^{(1)} z} C; \quad (6)$$

$$Y_{i-1} = \frac{y_0 z}{1 - a_{11}^{(1)} z} + \frac{(a_{12}^{(1)} z + a_{12}^{(2)} z^2) z}{1 - a_{11}^{(1)} z} C \quad (7)$$

$$C = c_0 + a_{21}^{(1)} C_{i-1} + a_{21}^{(2)} C_{i-2} + a_{22}^{(0)} \cdot \left(\frac{y_0}{1 - a_{11}^{(1)} z} + \frac{a_{12}^{(1)} z + a_{12}^{(2)} z^2}{1 - a_{11}^{(1)} z} C \right) + \\ + a_{22}^{(1)} \cdot \left(\frac{y_0 z}{1 - a_{11}^{(1)} z} + \frac{(a_{12}^{(1)} z + a_{12}^{(2)} z^2) z}{1 - a_{11}^{(1)} z} C \right); \quad (8)$$

$$C \cdot (1 - a_{11}^{(1)} z) = c_0 \cdot (1 - a_{11}^{(1)} z) + (1 - a_{11}^{(1)} z) (a_{21}^{(1)} C_{i-1} + a_{21}^{(2)} C_{i-2}) + a_{22}^{(0)} \cdot (y_0 z + (a_{12}^{(1)} z^2 + a_{12}^{(2)} z^3) C); \quad (9)$$

$$C_i = c_0 + (a_{11}^{(1)} + a_{21}^{(1)}) C_{i-1} + (a_{21}^{(2)} - a_{11}^{(1)} a_{21}^{(1)} + a_{22}^{(0)} a_{12}^{(1)}) C_{i-2} + \\ (a_{22}^{(0)} a_{12}^{(2)} - a_{11}^{(1)} a_{21}^{(2)}) C_{i-3} \quad (10)$$

Из уравнения (10) вычисляется C_i по известным значениям в прошлые моменты времени и подставляется в уравнение (2), из которого можно найти Y_i .

Рассмотрим решение этой же задачи, но на основании статистических данных, опубликованных в [8].

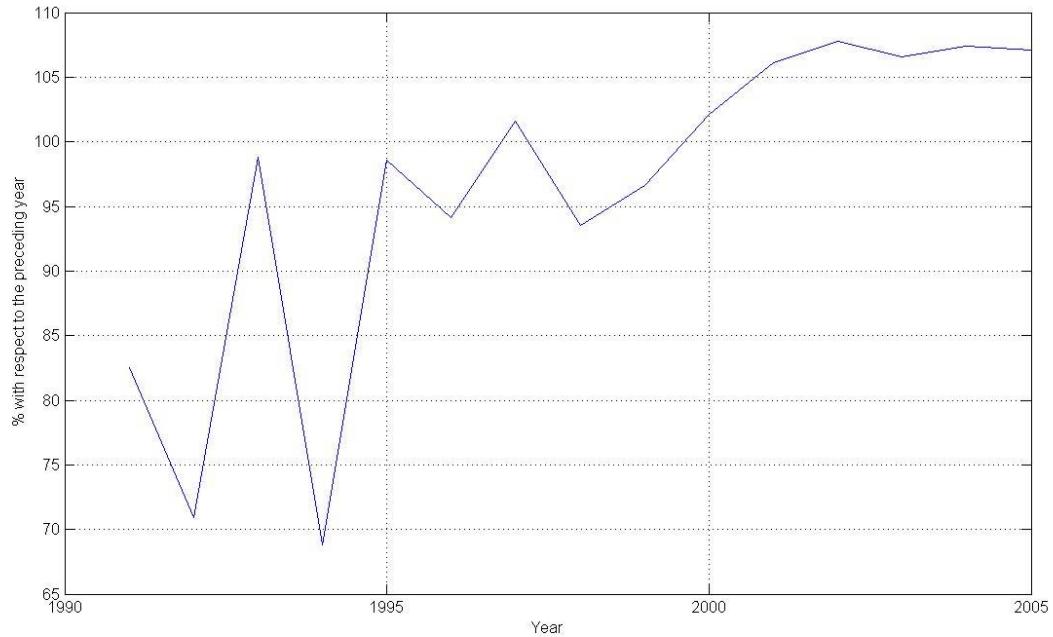


Рис.3 ВВП Республики Молдова в сопоставимых ценах (по данным Национального Комитета по статистике Республики Молдова)

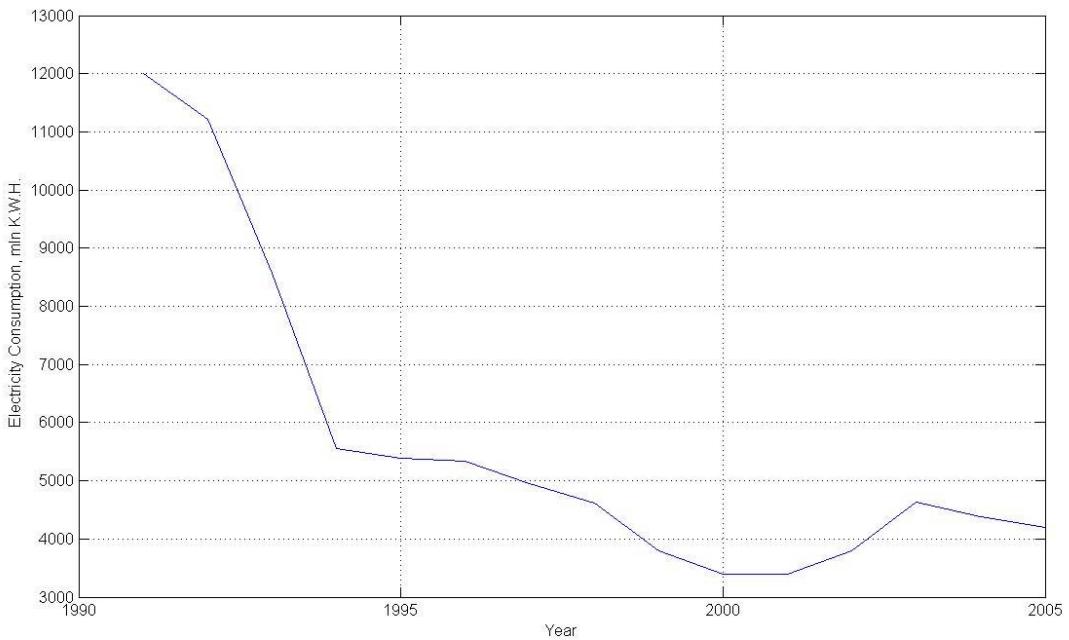


Рис.4 Потребление электрической энергии Республики Молдова (по данным Национального Комитета по статистике Республики Молдова)

Анализ ряда данных о стационарности ВВП в сопоставимых ценах по расширенному критерию Дикки-Фуллера показал, что ряд нестационарный, а проверка по критерию KPSS показала, что ряд стационарный. В соответствии с рекомендациями [12] ряд считаем стационарным. Анализ ряда данных о стационарности потребления электроэнергии по данным [8] по расширенному критерию Дикки-Фуллера и критерию KPSS показал их стационарность при 5% уровне значимости.

Модель влияния потребления электроэнергии на ВВП,

$$Y_i = y_0 + a_{11}^{(1)} Y_{i-1} + a_{12}^{(1)} C_{i-1} + a_{12}^{(2)} C_{i-2} + \varepsilon_{1i} \quad (11)$$

модель влияния потребления электроэнергии на ВВП на душу населения.

$$C_i = c_0 + a_{21}^{(1)} C_{i-1} + a_{22}^{(0)} Y_i + \varepsilon_{2i} \quad (12)$$

Значения коэффициентов сведены в Таблицу.2 .

Таблица 2. Значения коэффициентов в уравнениях регрессии

Наименование и значение коэффициента	y_0	c_0	$a_{11}^{(1)}$	$a_{12}^{(0)}$	$a_{12}^{(1)}$	$a_{12}^{(2)}$	$a_{21}^{(1)}$	$a_{21}^{(2)}$	$a_{22}^{(0)}$	$a_{22}^{(1)}$
Уравнение 11	187,6552		0,6987		0,0049	-0,0081				
Уравнение 12		-2477,31					0,66		38,04	

В этом случае также имеет место каузальность по Гранджеру между ВВП и потреблением электроэнергии в обе стороны. Все коэффициенты при переменных оказались значимыми. При проверке на коинтеграцию рядов потребления электроэнергии и ВВП ряды оказались коинтегрированными при уровне значимости 5%.

Подставив Y_i из уравнения (11) в уравнение (12) можно построить прогноз потребления электроэнергии.

Выводы.

Для случая Республики Молдова имеет место двунаправленная каузальность между ВВП и потреблением электроэнергии. При этом существует коинтеграция между ВВП и потреблением электроэнергии. Это свидетельствует о том, что между рассматриваемыми переменными в динамике существует как кратковременная связь (период до 3-х лет) так и долговременная связь.

Литература.

1. Sajal Ghosh. Electricity consumption and economic growth in India. Energy Policy 30 (2002), p/125-129.
2. M. Trabelsi, G.Boulila "Financial Development and Long-Run Growth: Granger Causality in a Bivariate VAR Structure, Evidence from Tunisia: 1962-1997".
<http://www.erf.org.eg/.../9th%20PDF%20Presented/Finance%20-%20Macro/FM-P%20Trabelsi%20&%20Boulila.pdf>.
3. Электроэнергетика стран содружества независимых государств 1992-2002. Москва 2003.
4. The environmental information portal.
http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?step=countries&ccID%5B%5D=2&cID%5B%5D=187&allcountries=checkbox&theme=5&variable_ID=225&action=select_years.
5. Energy Information Administration. International Energy Manual
<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table62.xls>.
6. Energy Information Administration. International Energy Manual
<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tables1.xls>.
7. Energy Information Administration. International Energy Manual
<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table13.xls>.
8. Статистический ежегодник Республики Молдова за 1992-2005 годы.
9. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов. Лекционные и методические материалы. Экономический журнал ВШЭ, с. 379...401.
10. Kwiatkowski, D.; Phillips, P.C.B.; Schmidt, P. and Shin, Y. (1992): "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?" Journal of Econometrics 54, 159 -178.
11. P.N.Ireland "Price Stability Under Long-Run Monetary Targeting", p.32.
www.richmondfed.org/publications/economic_research/economic_quarterly/pdfs/winter1993/ireland.pdf
12. Носко В.П. Введение в регрессионный анализ временных рядов. Москва, 2002,
http://www.iet.ru/mipt/2/text/curs_econometrics.htm

CARACTERISTICILE RADIAȚIEI SOLARE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

THE SOLAR RADIATION CHARACTERISTICS ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

C. Guțu

Rezumat: În lucrare sunt prezentate un sir de caracteristici ale radiației solare, necesare pentru calculele de dimensionare și economice ale instalațiilor destinate valorificării acestei forme de energie: intensitatea globală a fluxului de radiație, unghiul optim de înclinare a suprafeței captatoare și cantitatea disponibilă de energie pentru suprafețe fixe și mobile, care urmăresc soarele după una și după două coordonate.

Cuvinte cheie: intensitatea radiației solare, unghi optim de înclinare.

Аннотация: В работе приведены ряд характеристик солнечной радиации, необходимых для технических и экономических расчетов установок, предназначенных для использования энергии солнца: интенсивность суммарного потока радиации, оптимальный угол наклона лучевоспринимающей поверхности и располагаемое количество энергии для неподвижной поверхности и подвижных по одной и по двум координатах поверхностях.

Ключевые слова: интенсивность солнечной радиации, оптимальный угол наклона.

Abstract: In work are given the necessary for technical and economic accounts of solar energy using installations characteristics of solar radiation: the total radiation flow intensity, the optimum inclination angle of the receiving surface and the available energy quantity for a fixed surface and mobile on one and after two coordinates surfaces.

Keywords: solar radiation intensity, optimum inclination angle.

1. INTRODUCERE

Cantitatea de energie solară incidentă pe suprafața unui captator E_s se determină cu formula:

$$E_u = S_c I_{gl} \tau_z z \quad (1)$$

în care S_c este aria captatorului;

I_{gl} - intensitatea fluxului global al radiației solare incident pe suprafața captatoare;

τ_z - durata zilnică de funcționare a instalației;

z - numărul zilelor de funcționare.

Pentru dimensionarea și calculele economice ale instalațiilor de valorificare sunt necesare valorile:

- fluxului global de radiație,
- duratei de funcționare a instalației în timpul zilei,
- unghiului optim de înclinare a suprafeței captatoare.

În practica mondială, pentru diverse localități sunt elaborate programe de calcul și prezentate date referitor la fluxul de radiație în fiecare oră a zilei, peste fiecare jumătate de oră, sau pentru perioade și mai scurte [1, 2, §.a.].

Fluxul global de radiație, I_{gl} , solară care nimerește pe o suprafață amplasată arbitrar reprezintă suma a două componente:

$$I_{gl} = I_s \cos \theta + I_d \quad (2)$$

Aici I_d este fluxul de radiație difuză - rezultatul difuziei, difracției și reflecției atmosferice a razelor solare;

I_s - radiația directă (care a păstrat direcția razei solare),

θ - unghiul de incidență a razei pe suprafață în cauză.

Intensitatea radiației globale pe o suprafață concretă este influențată de mai mulți factori, o parte din care sunt incluși în valoare unghiului θ (latitudine, longitudine, unghi orar, declinație anotimpală), alți factori meteorologici (transparența atmosferei, nebulozitate, temperatură și umiditatea aerului) incluși în valorile I_d și I_s , apreciate în rezultatul observărilor multianuale organizate și efectuate de către stațiile meteorologice [3].

Conform datelor climatologice, Republica Moldova poate fi împărțită în trei zone climaterice [4, 5]:

- zona de nord cu centrul în Briceni,
- zona centrală cu centrul în Chișinău,
- zona de sud cu centrul în Cahul.

Valorile globale anuale ale radiației solare pentru zona de sud sunt cu 3,5 % mai mari, iar pentru cea de nord – cu 5,0 % mai mici decât cele din zona Chișinăului.

Au fost studiate caracteristicile pentru zona centrală a Republicii Moldova, pentru care s-au determinat caracteristicile radiației solare incidente pe suprafețe:

- orientate în timpul zilei perpendicular razei solare,
- orientată în plan vertical după unghiul orar,
- amplasată fix sub un unghi optim.

2. ENERGIA DISPONIBILĂ SUPRAFEȚEI ORIENTATE PERPENDICULAR RAZEI SOLARE

În tot timpul zilei sunt orientate perpendicular razei solare heliostatele, cu care sunt dotate Centralele Electrice Solare cu ciclul clasic Rankin. În acest caz energia disponibilă va avea valoarea maxim posibilă. Radiația difuză constituie 35 % din cea globală. Variația fluxurilor de radiație în timpul anului este prezentată pe fig.1. Curbele au un caracter întrucâtva ne regular, de oarece radiația este influențată nu numai de poziția soarelui dar și de starea atmosferei: nebulozitate, umiditatea aerului și.a. Maximumul radiației are loc în lunile

iulie august și nu coincide cu durata maximă a zilei și înălțimea maximă a soarelui, care au loc în iunie.

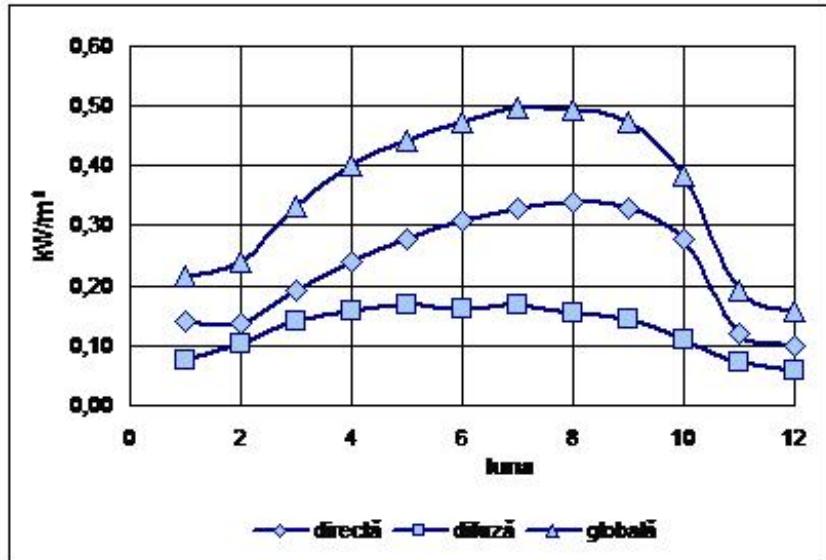


Fig. 1. Variația radiației solare în timpul anului.

Cantitatea anuală disponibilă de energie constituie 6230 MJ. Pentru o Centrală Termoelectrică Solară cu ciclu clasic cu puterea maximă de 1,0 MW în condițiile Republicii Moldova ar fi necesare heliostate cu suprafață totală de 6580 m². Producția anuală de energie electrică a acestei CTES, la randamentul de 12...20 %, ar fi de 1,3...2,2 GWh/an, ceea ce ar permite substituirea a 360...600 mil. m³ de gaz natural pe an și ar reduce emisiile de gaze cu efect de seră cu 0,7...1,2 kt/an.

3. ENERGIA INCIDENTĂ PE O SUPRAFAȚĂ ORIENTATĂ ÎN PLAN VERTICAL DUPĂ UNGHIUL ORAR

În unele construcții tehnice este posibilă variația în timpul zilei a unghiului de înclinare față de planul orizontal. În acest caz, unghiul de înclinare se va schimba în funcție de unghiul orar al soarelui. Pentru zona centrală a Moldovei, în baza datelor din [3], au fost obținute formulele de calcul ale înălțimii soarelui în funcție de ora zilei (vezi tab.1). Eroarea în limitele indicate de timp nu depășește 2,5 °. Unghiul de înclinare al captatorului pentru fiecare oră poate fi determinat scăzând valoarea obținută după formula pentru luna respectivă din 90 °. Începând cu unghiul de incidentă $\theta = 35$ °, valorile fluxului util de radiație sunt reduse de influența acestuia asupra absorbanței suprafeței captatoare [6]. De aceea în formula (2) s-a introdus corecția respectivă c_{θ} :

$$I_{gl} = I_s c_{\theta} \cos \theta + I_b \quad (3)$$

Tabelul 1. Formule de calcul al înălțimii soarelui, în grade, pentru orașul Chișinău

Luna	Limita de ore	Formula
I	9...16	$\alpha = -1,2222 \tau^2 + 29,422 \tau - 155,41$
II	9...16	$\alpha = -1,3444 \tau^2 + 32378 \tau - 164,85$
III	6...16	$\alpha = -0,0574 \tau^3 + 0,6472 \tau^2 + 9,8958 \tau - 72,403$
IV	6...19	$\alpha = 0,0175 \tau^4 - 0,851 \tau^3 + 13,637 \tau^2 - 80,33 \tau + 160,56$
V	6...19	$\alpha = 0,0232 \tau^4 - 1,1325 \tau^3 + 18,566 \tau^2 - 116,35 \tau + 260,08$
VI	6...19	$\alpha = 0,0262 \tau^4 - 1,2798 \tau^3 + 21,156 \tau^2 - 135,4 \tau + 312,67$
VII	6...19	$\alpha = 0,0225 \tau^4 - 1,0947 \tau^3 + 17,85 \tau^2 - 110,63 \tau + 245,89$
VIII	6...18	$\alpha = 0,02 \tau^4 - 0,972 \tau^3 + 15,737 \tau^2 - 95,496 \tau + 202,43$
IX	6...17	$\alpha = 0,0175 \tau^4 - 0,8391 \tau^3 + 13,263 \tau^2 - 77,04 \tau + 146,81$
X	6...16	$\alpha = -0,0605 \tau^3 + 0,8685 \tau^2 + 5,9213 \tau - 57,47$
XI	9...16	$\alpha = -1,2556 \tau^2 + 30,222 \tau - 157,4$
XII	9...16	$\alpha = -1,1889 \tau^2 + 28,622 \tau - 152,71$

La valorile unghiului de incidență $\theta \geq |90^\circ|$ captatorul practic nu funcționează soarele va fi „în spatele” captatorului. În afara acestor limite pe suprafața captatoare nimerește numai radiația difuză, care este ne însemnată. În tab.2 sunt prezentate durata de funcționare a captatorului, orientat strict spre sud, pentru fiecare lună, valoarea medie diurnă pe această perioadă a fluxului global și cantitatea de energie disponibilă lunar. Durata de funcționare pentru lunile calde ale anului – aprilie-septembrie este de 12 ore pe zi. În aceste luni și intensitatea fluxului disponibil este de 2...3 ori mai mare.

Tabelul 2. Caracteristicile radiației solare pe o suprafață orientată după soare în plan vertical pentru condițiile mun. Chișinău

Luna	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Durată de funcționare, h/zi	8,8	10,2	11,8	12	12	12	12	12	12	10,9	9,3	8,4
Valoare medie I_{gl} , kW/m ²	0,199	0,218	0,284	0,374	0,421	0,469	0,477	0,451	0,388	0,332	0,178	0,153
Energie disponibilă, MJ/(m ² .lună)	194,9	223,8	374,4	471,8	563,5	607,5	639,4	603,9	502,6	404,4	178,9	143,2

Caracteristicile anuale și repartizarea lor pe diferite perioade ale anului sunt prezentate în tab.3. După cum se vede din tabel, energia disponibilă în perioada caldă a anului constituie peste 70 % din total. În perioada de vară sunt disponibile aproape de 40 %, pe când iarna – ceva mai mult de 10 %.

Tabelul 3. Repartizarea energiei solare pe perioadele anului

Perioada	Intensitatea medie, kW/m^2	Durata, h	Energie disponibila,	
			MJ/m^2	%
Anual	0,341	3998	4908	100
Aprilie-septembrie	0,43	2196	3399	69,3
Vară	0,47	1104	1851	37,7
Iarna	0,19	819	560	11,4

Producția anuală de energie electrică de către o baterie de elemente fotovoltaice cu randamentul electric 0,15 va fi de peste 200 kWh/m^2 . Producția anuală a unui captator heliotermic cu randamentul mediu anual 0,4 va fi de cca. 2,0 GJ/m^2 . Producția unui captator heliotermic în perioada caldă a anului cu randamentul 0,6 va fi de 1,2 GJ/m^2 .

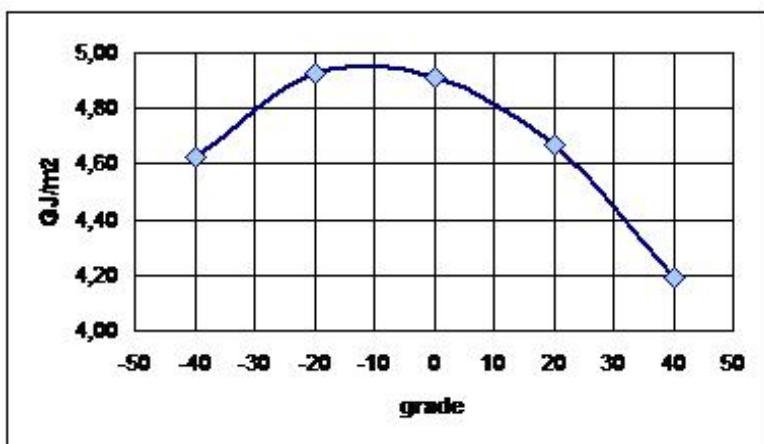


Fig. 2. Influența deviației suprafeței de la direcția sud.

Pentru a determina influența unghiului azimutal asupra intensității radiației valoarea acestuia s-a schimbat în limitele (-40°)...($+40^\circ$). Influența deviației suprafeței de la direcția sud este prezentată pe fig.2. După cum se vede din desen, deviația spre est cu 20 de grade practic nu influențează cantitatea de energie disponibilă, pe când aceeași deviație spre vest reduce cantitatea anuală de energie cu peste 6 %, iar deviația la 40° – cu 16 %. Aceasta se lămurește prin valorile mai mari ale fluxului direct de radiație în prima jumătate a zilei și prin întârzierea timpului local față de cel standard pentru localitate.

4. ENERGIA INCIDENTĂ PE O SUPRAFAȚĂ FIXĂ CU AMPLASARE OPTIMĂ

Amplasarea optimă a suprafeței de captare va fi cea care în ora cu intensitatea maximă a radiației directe va fi maximă valoarea lui $\cos\theta$ calculată cu formula [6]:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos i - \sin\delta \cos\varphi \sin i \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos i \cos H$$

$$+\cos\delta\sin\varphi\sin i\cos H\cos\gamma + \cos\delta\sin i\sin\gamma\sin H, \quad (4)$$

în care:

φ este latitudinea locului;

δ - declinația soarelui;

H - unghiul orar al soarelui;

i - înclinarea planului (unghiul dintre plan și orizontul locului);

γ - unghiul azimutal al planului (deviația normalei la plan față de direcția sud a meridianului locului, pozitivă către vest și negativă către est).

Formula de calcul a valorii maxime a unghiului optim de înclinare a fost primită prin egalarea cu 0 a derivatei de la formula (4). Rezultatele obținute în funcție de luna anului sunt prezentate pe fig.3. Unghiul de înclinare optim variază între 24^0 în lunile de vară și 70^0 în lunile de iarnă.

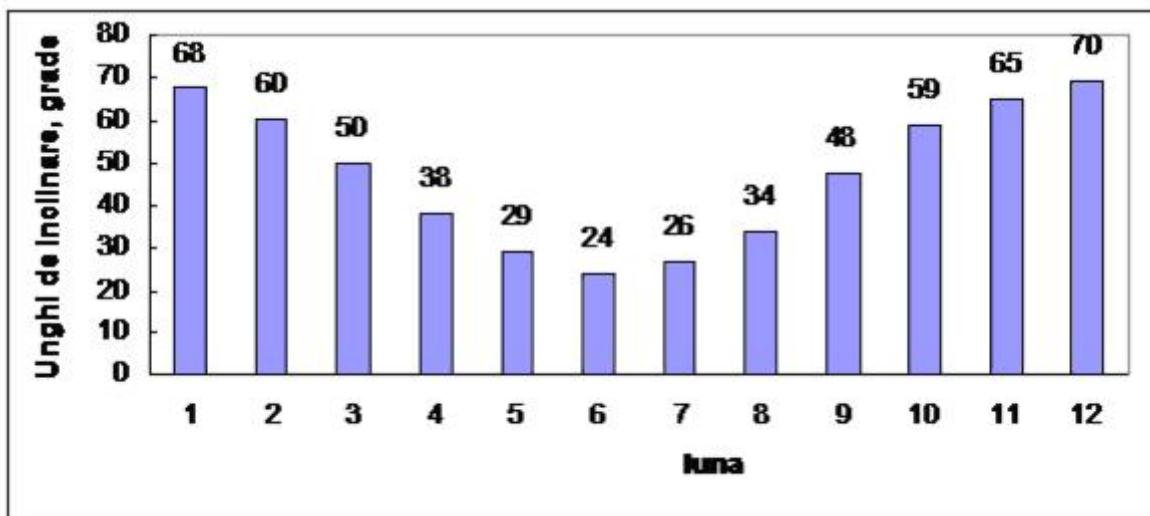


Fig. 3. Valoarea unghiului optim de inclinare a captatoarelor solare.

Dependența cantității de energie, în $\text{GJ}/(\text{m}^2\text{an})$, de unghiul de înclinare a suprafeței de captare față de planul orizontal este prezentată pe fig.4. Valoarea maximă corespunde unghiului de 37 grade. Față de această valoare scăderea cantității de energie, atât la micșorarea cât și la mărirea unghiului, este simetrică. În practică însă, în majoritatea cazurilor factorul decisiv în dimensionarea unghiului de înclinare nu este cantitatea maximă totală de

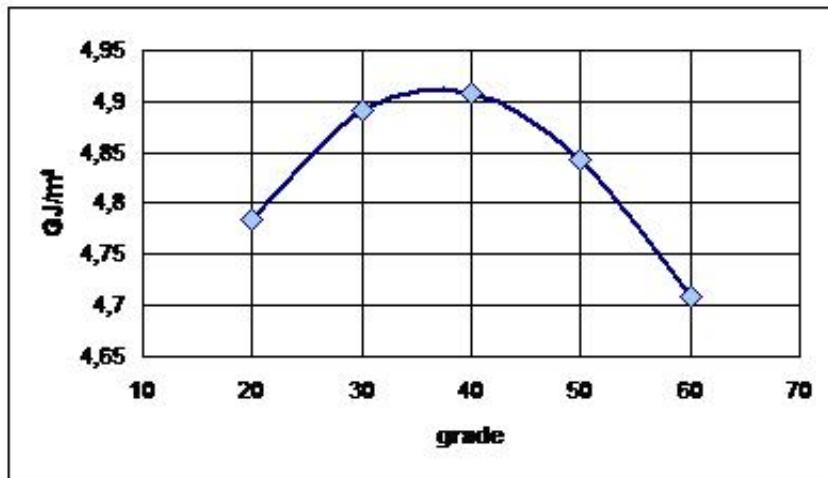


Fig. 4. Variația cantității anuale de energie incidentă pe o suprafață în funcție de unghiul de înclinare.

energie, dar cantitatea ei în unele perioade ale duratei de funcționare, de altfel se poate obține energie excesivă în lunile calde, când ea nu este necesară în aşa cantități, și insuficientă în perioada rece.

În „Normele de construcție a instalațiilor solare” [7], introduse în anul 1986 și ne schimbate oficial până în prezent, se recomandă următoarele valori ale unghiului de înclinare ale suprafețelor de captare a radiației:

- pentru instalațiile care funcționează anul întreg – egal cu latitudinea locală,
- pentru instalațiile de vară – cu 15^0 mai mic decât latitudinea locală,
- pentru instalațiile de iarnă – cu 15^0 mai mare decât latitudinea locală.

Tabelul 4. Valorile recomandate ale unghiului optim, în grade, pentru diferite perioade de funcționare a captatoarelor

Perioada de funcționare	Luna											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Anual	47											
Sezonul cald	40											
Vară, iarnă,												
				32						62		

Unghiurile pentru latitudinea Chișinăului de 47° , determinate după metodica relatată, sunt prezentate în tab. 4. Pentru perioada caldă a anului: aprilie-septembrie s-a luat valoarea medie între cea anuală și cea de vară. La determinarea valorilor pentru instalații concrete se vor lua în considerație și particularitățile tehnologice ale acestora. Astfel, captatoarele instalațiilor de uscare preponderent a vișinilor și caiselor, care se coc în luna iunie, pot fi amplasate cu unghiul de înclinare $24\dots 25^{\circ}$.

În tab.5. sunt prezentate valorile intensității globale medii ale fluxului de radiație pe suprafețele amplasate sub unghiurile de înclinare indicate în tab.4. În calcule s-a luat în considerație și influența unghiului de incidență asupra absorbanței suprafeței.

Tabelul 5. Valorile intensității globale medii ale fluxului de radiație, în kW/m^2 , pentru diferite perioade de funcționare a captatoarelor amplasate sub un unghi de înclinare optim

Perioada de funcționare	Luna											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Anual	0,325											
Sezonul cald	0,446											
Vară, iarnă,				0,501							0,189	

Intensitatea globală maximă este în luna iulie și are valoarea de $0,633 \text{ kW}/\text{m}^2$. Valoarea medie anuală este de aproape două ori mai mică, pe când cea pentru sezonul cald – numai cu 28 %, iar cea de vară cu 22 %, mai mică. Pentru lunile de iarnă ea este însă de peste 3 ori mai mică de cât cea maximă.

Producția anuală a unei baterii fotovoltaice cu randamentul de 15 % va fi de peste 200 kWh/m^2 , producția pentru perioada caldă – $125 \text{ kWh}/\text{m}^2$, iar la instalarea ei într-un lagăr de vară cu perioada de funcționare iunie-august – peste $80 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

5. ANALIZA COMPARATIVĂ A RADIAȚIEI PE SUPRAFEȚE CU DIFERITE MODURI DE AMPLASARE

Caracteristicile radiației disponibile pe suprafețe cu diverse tipuri de amplasare sunt prezentate în tab.6. După cum se vede din tabel, un efect considerabil îl are urmărirea soarelui pe două coordonate – la heliostate. Cantitatea anuală de căldură în acest caz este cu 28 % mai mare de cât la amplasarea fixă cu unghiul optim de înclinare. Variația unghiului de înclinare după o singură coordonată – pe verticală, are un efect neînsemnat, cantitatea disponibilă de căldură mărindu-se cu mai puțin de 1 %.

Tabelul 6. Caracteristicile radiației solare în condițiile Chișinăului pe diverse suprafete

Înclinare	Unghi optim		Unghi variabil pe verticală		Heliostat	
	Luna	Energie disponibilă, MJ/m ²	Intensitate medie, kW/m ²	Energie disponibilă, MJ/m ²	Intensitate medie, kW/m ²	Energie disponibilă, MJ/m ²
I	187	0,188	190	0,199	213	0,215
II	219	0,213	222	0,218	275	0,240
III	374	0,280	375	0,284	436	0,331
IV	472	0,364	477	0,368	604	0,400
V	562	0,420	564	0,421	727	0,433
VI	587	0,461	618	0,469	841	0,475
VII	622	0,472	649	0,477	848	0,489
VIII	604	0,451	617	0,453	788	0,494
IX	503	0,394	510	0,388	666	0,473
X	399	0,327	404	0,332	471	0,385
XI	171	0,170	179	0,178	201	0,192
XII	135	0,144	143	0,153	152	0,159
Anual	4871	0,313	4908	0,324	6230	0,357

Acest factor se vede și pe fig.5, unde curbele primelor două amplasări aproape că coincid. Din acest grafic se vede că în orele amiezei intensitățile fluxului de radiație pentru

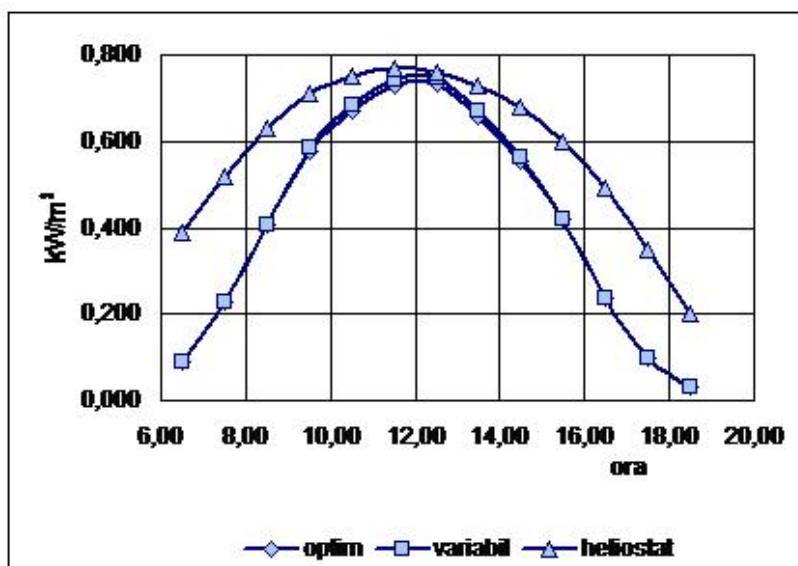


Fig. 5. Variația intensității fluxului disponibil de radiație în timpul zilei (luna iulie).

toate trei amplasări aproape că coincid. La heliostate câștigul este pe contul orelor de până și

de după amiază, pe când la celelalte două variante, dimpotrivă – o coincidență totală se observă în orele de dimineață și seară, ceea ce se lămurește prin influența asupra fluxului de radiație a unghiului orar al soarelui.

În varianta cu variabilitatea unghiului pe verticală în perioada caldă a anului se observă o deosebire mai pronunțată față de cea cu amplasare fixă. Astfel, în perioada mai-septembrie câștigul de energie prin variația înclinării este de cca. 6 %, iar în lunile iunie-august - peste 8 %. Prin urmare, această variantă poate fi recomandată pentru instalațiile de uscare.

CONCLUZII

1. Variația fluxului global al radiației solare față de zona centrală a Republicii Moldova este de 3,5...5,0 %.
2. Pentru zona centrală a Republicii Moldova au fost determinate și prezentate sub formă de tabele valorile fluxurilor globale de energie necesare pentru calcularea heliostatelor, captatoarelor solare fixe, amplasate sub un unghi optim de înclinare și a captatoarelor cu unghi de înclinare variabil în timpul zilei.
3. Pentru zona de centru a Republicii Moldova au fost determinate și prezentate în formă grafică valorile unghiului optim de înclinare a captatoarelor în funcție de luna anului.
4. Cantitatea anuală de căldură disponibilă suprafetei heliostatelor este cu 28 % mai mare de cât suprafetele amplasate fix, sub un unghi optim de înclinare.
5. Variația unghiului de înclinare după o singură coordonată – pe verticală, are un efect neînsemnat, cantitatea disponibilă de căldură mărindu-se doar cu cca. 1 %, în lunile de vară câștigul de energie însă constituie peste 8,5 %; prin urmare, această variantă poate fi recomandată pentru instalațiile de uscare.

REFERINȚE

- [1]. Puri V.M. *Estimation of hale-hour solar radiation values from hourly values*. "Solar Energy", 1978, 21, nr. 5, –p. 409-414.
- [2]. Garg H.P, Dayal M., FurlanG., Saiygh A.A.M. *A program for calculation solar radiation in tropical climates on small computers*. Physics and Technology of Solar Energy, Vol.1. 609 p.
- [3]. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. Серия 3. Части 1 – 6, вып. 11. Гидрометеоиздат, Ленинград. 1990. –с.192.
- [4]. Лассе Г.Ф. *Климат Молдавской ССР*. Гидрометеоиздат, Ленинград. 1990. –с.375.
- [5]. Борзунов Л.В., Болога М.К., Коротун В.Н. *Энергетические характеристики солнечного режима Молдавии*. «Штиинца». Кишинев. 1962. –с. 46.
- [6]. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1991, p.920.

[7]. Ведомственные строительные нормы. **Установки солнечного горячего водоснабжения.** Нормы проектирования. ВСН 52-86.

Guțu Corina, a absolvit Facultatea Energetică a UTM în a.2000, calificarea - inginer-manager. Activează din a.2000 până în prezent în funcție de inginer la ICS "RE Chisinau" SA Grupul Union Fenosa. În anii 2000-2003 a lucrat prin cumul ca lector-asistent la catedra IME a UTM. Din anul 2002 este doctorand la Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Republicii Moldova. Autor a 12 publicații. E-mail: corina1478@yahoo.com

**COOLING SYSTEMS OF MILK, FRUIT AND VEGETABLES STORAGE
WITH LOW CONSUMPTION OF ENERGY**
**SISTEME DE RĂCIRE A LAPTELUI ȘI DE PĂSTRARE A FRUCTELOR ȘI
LEGUMELOR CU CONSUM REDUS DE ENERGIE**
**ЭНЕГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА И
ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ**

d.h.ș.t., prof. univ. L. Volconovici, UAŞM; d.h.ș.t., prof. univ. M. Chiorsac, UTM; cerc.st. Turcuman L., AŞM;
doctorand A. Volconovici, AŞM; lect.asis. D Oprea, UTM; lect.asis. V. Rotari, UAŞM; st. Slipenchi, UAŞM

Keywords: a natural cold, milk cooling systems and fruit and vegetables storage, block diagrams analysis, temperature and humidity of air curve changes.

Cuvinte cheie: Frigul natural, sisteme de răcire a laptelui, păstrarea fructelor și legumelor, scheme de structură, curbele de variație a temperaturii și a umidității aerului.

Ключевые слова: натуральный холод, системы охлаждения молока и хранения фруктов и овощей, анализ структурных схем, кривые изменения температуры и влажности воздуха.

Abstract

Article is devoted to use of a natural cold for cooling milk and fruit and vegetables storage. The analysis of the block diagrams, description of storehouses and the curves of temperature and air humidity changes for various types of cooling systems are given; the analysis of quality of vegetables and fruit and energy expenses per unit of production are done, which prove the efficiency of the offered systems.

Rezumat

Lucrarea este dedicată utilizării frigului natural la răcirea laptelui, păstrare fructelor și legumelor. Sunt analizate schemele de structură, descrierea schematică a depozitelor, sunt prezentate curbele de variație a temperaturii și a umidității aerului pentru diferite sisteme de răcire, analizate calitatea păstrării fructelor și legumelor, și cheltuielile de energie pe o unitate de producție, ce demonstrează eficiența sistemelor propuse.

Аннотация

Работа посвящена использованию натурального холода для охлаждения молока и хранения фруктов и овощей. Даны: анализ структурных схем, схематическое описание хранилищ, приведены кривые изменения температуры и влажности воздуха для различных типов охлаждающих систем, анализ качества хранения овощей и фруктов и энергозатраты на единицу продукции, что доказывает эффективность предложенных систем.

Sistemele cu frig artificial (Fig. 1a) și natural (Fig.1b) sunt sisteme complexe, compuse respectiv din 5...6 subsisteme (mediul ambiant, operator, tehnologie, utilaj electric, bloc de reglare, produsul răcit) unite între ele prin zeci de legături.

Sistemul cu frig artificial practic nu depinde de mediul ambiant, pe când sistemul cu frig natural depinde integral de parametrii mediului ambiant (temperatura, umiditatea relativă și viteza aerului, durata perioadelor rece și caldă ale anului, etc.).

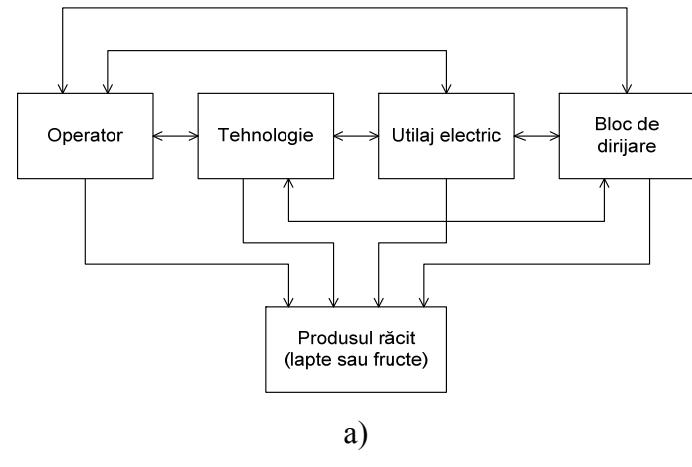
Sistemele cu frig artificial sau natural utilizează la răcirea laptelui aer sau apă în răcitoare capacitive și apă în răcitoare în flux.

La păstrarea fructelor și legumelor pot fi utilizate următoarele sisteme de răcire:

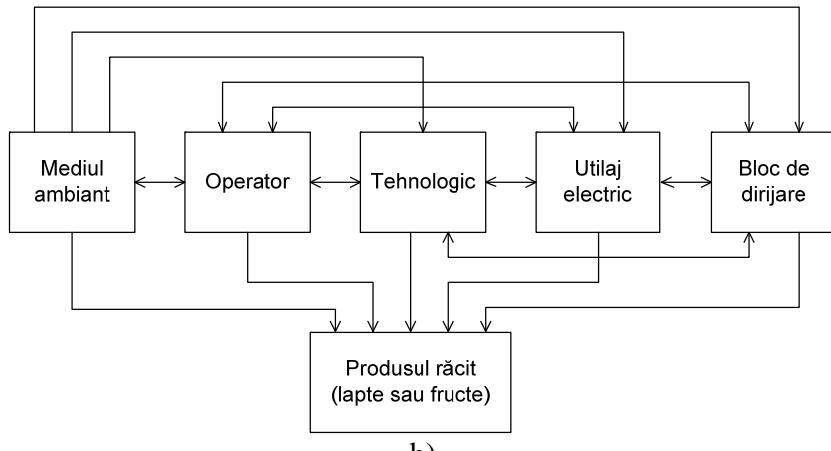
- răcirea directă;
- răcirea indirectă;
- răcirea cu aer.

Răcirea directă - consumuri reduse de energie, scheme complexe de distribuție a agentului frigorific, posibilitatea pierderii unor mari cantități de agent în cazul unor neetanșeități.

Răcirea indirectă (cu saramură) - au răcitoare cu răcirea intensivă cu aripioare, care diminuează spațiile de depozitare, siguranță în funcționare mai bună volum redus de agent frigorific, reglare și automatizare ușoară, consum de energie mai mare cu cca. 5 ... 6% față de răcirea directă. Spații de depozitare cu utilizarea sistemului de răcire indirectă sunt prezentate în Fig. 2.



a)



b)

Fig. 1 Structura sistemelor cu frig artificial (a) și natural (b).

Răcirea cu aer - consum redus de metal volum redus de agent frigorific, asigură distribuția uniformă a temperaturii în magaziile frigorifice, permite topirea periodică și evacuarea în exterior a gheții depuse pe vaporizatoare, care sunt amplasate în afara camerelor frigorifice, consumul de energie, crește cu 20 ... 25% față de răcirea directă (datorită ventilatoarelor și pătrunderilor de căldură prin tubulaturi), uscare intensă a produselor. Sistemele de răcire cu aer și combinată sunt prezentate în Fig.3. a și b.

Datele experimentale de la depozitele de păstrare a merelor din mun. Chișinău și r-nul Călărași (Fig. 4) demonstrează, că:

- temperatura și umiditatea aerului în depozite este respectiv cea mai scăzută și cea mai înaltă la sistemul de răcire indirectă, instalat în partea de sus a depozitului;
- temperatura și umiditatea aerului în depozit este respectiv cea mai înaltă și cea mai scăzută la sistemul de răcire cu aer;
- mai puțin influențată de temperatura aerului atmosferic este temperatura aerului în depozit asigurată de sistemul de răcire indirectă, instalat în partea de sus a depozitului.

Totodată, s-a stabilit (Fig. 5) că cea mai variată temperatură a aerului pe verticală (ceea ce este inadmisibil) o asigură sistemul de răcire indirectă a aerului, instalat la pereții depozitului.

Mai puțin variază temperatura aerului pe verticală în depozite la utilizarea sistemelor de răcire indirectă a aerului, instalate în partea de sus a depozitului și la sistemele de răcire cu aer.

Pierderile în greutate ale merelor sunt minime (0,2 ... 1%) la utilizarea sistemului de răcire indirectă a aerului, instalat în parte de sus a depozitului, Fig. 6 și Fig.7.

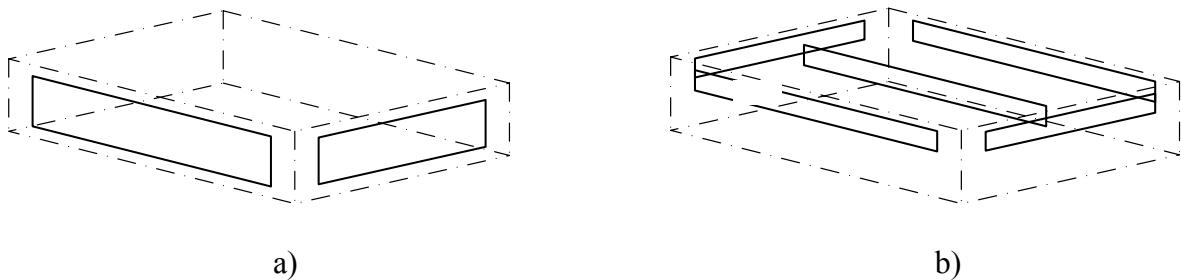


Fig. 2. Spații de depozitare cu utilizarea sistemului de răcire indirectă.
a - instalat la pereții depozitului; b - instalat în partea de sus a depozitului.

S-a stabilit:

- pierderile de greutate a merelor sunt maximale (1,0 ... 1,8%) la utilizarea sistemului de răcire indirectă a aerului, instalat la pereții depozitului;
- pierderile de greutate a merelor la utilizarea sistemului de răcire cu aer constituie 0,6 ... 1,7%, pierderile de greutate a merelor până la înălțimea de 2 m constituie 0,6%;
- pierderile de greutate a merelor se micșorează de jos în sus (pentru varianta a) și de sus în jos (pentru varianta b);
- - pierderile de greutate a merelor pentru toate sistemele de răcire se află în limita 1% pentru $h < 2,0$ m și în limita de 2 % pentru $h < 4,0$ m.

Variată conținutului de putregai în mere pe verticală (de la 0 până la 4 m) în procesul de păstrare este prezentată în Fig. 8.

S-a stabilit:

- conținutul de putregai în mere este minimal (1,3 ... 2%) la utilizarea sistemului de răcire indirectă a aerului instalat în partea de sus a depozitului.
- sistemul de răcire indirectă instalat în partea de sus a depozitului (1 - 4 - temperatura și umiditatea aerului);
- sistemul de răcire indirectă instalat la pereții depozitului (2 - 5 - temperatura și umiditatea aerului);
- sistemul de răcire cu aer (3 - 6 - temperatura și umiditatea aerului); 7 - temperatura aerului atmosferic.
- - conținutul de putregai în mere este maximal (până la 3%) la utilizarea sistemului de răcire cu aer (pentru $h = 4,0$ m) și minimal, 0,5 ... 1%, (pentru $h < 2,0$ m).

Merită atenție, în scopul reducerii consumului de energie electrică, utilizarea aerului atmosferic la temperaturi în jurul de 0°C după o schemă cu ciclu deschis (Fig. 9, a) și după o schemă cu ciclu închis (Fig. 9; b) la temperaturi ale aerului mai mari de 0°C .

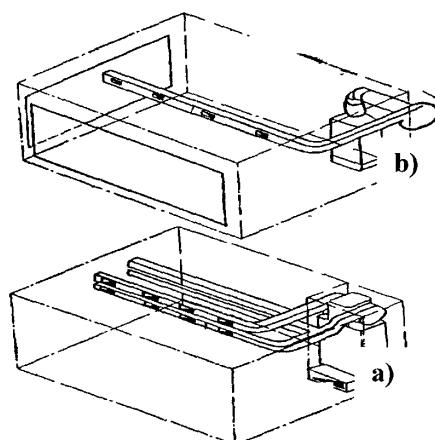


Fig. 3. Spații de depozitare cu utilizarea sistemelor de răcire cu aer (a) și combinate (b).

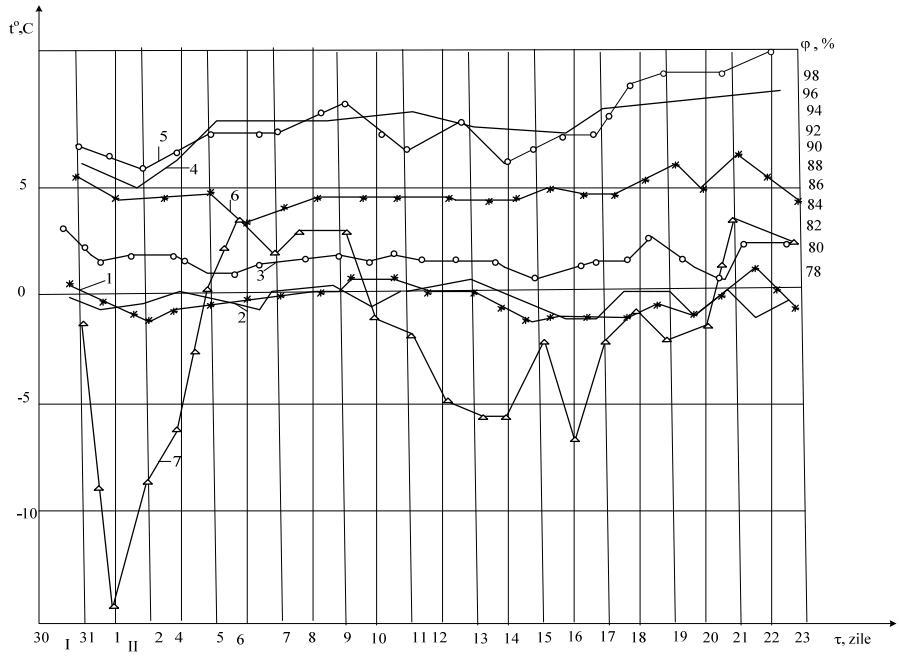


Fig. 4. Variația temperaturii și umidității relative a aerului în depozitele de păstrare a merelor pentru diferite sisteme de răcire

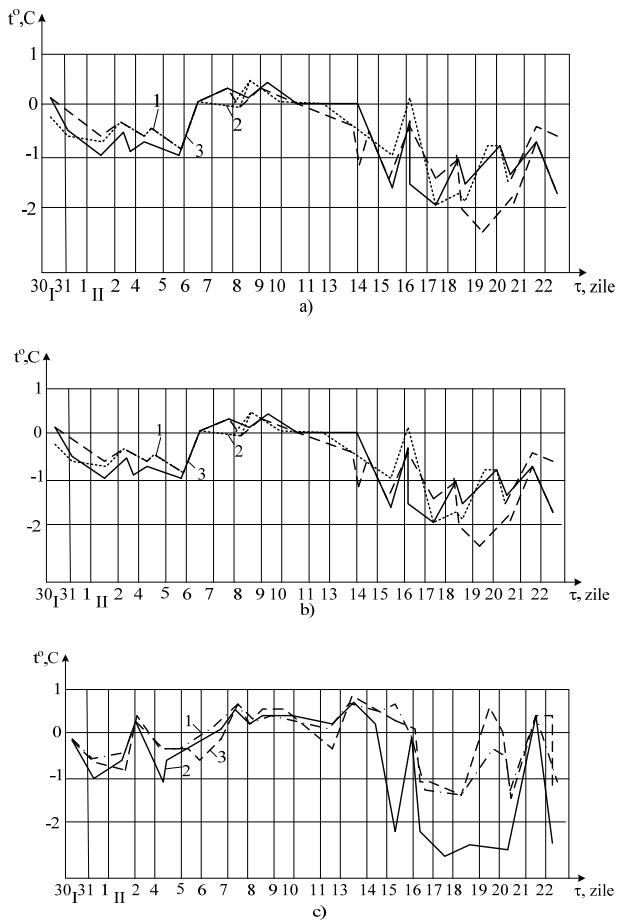


Fig. 5. Variația temperaturii aerului pe verticală la: a - sistemul de răcire cu aer; b - sistemul de răcire indirectă a aerului instalat în partea de sus a depozitului; c - sistemul de răcire indirectă a aerului instalat la pereții depozitului; 1 - la înălțimea 0,25 m; 2 - la înălțimea 2,0 m; 3 - la înălțimea 4,0 m.

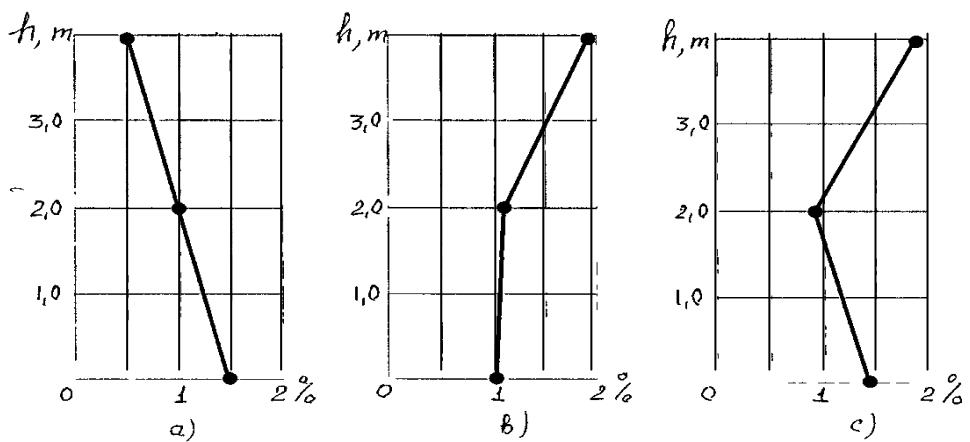


Fig. 6. Variația pierderilor de greutate a merelor "Calvil" în depozite cu: a - sistem de răcire indirectă a aerului instalat în partea de sus a depozitului b - sistem de răcire indirectă a aerului instalat la pereții depozitului c - sistem de răcire cu aer

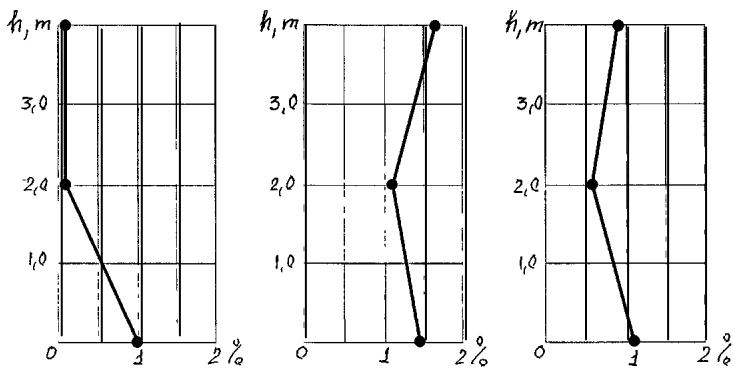


Fig. 7. Variația pierderilor de greutate a merelor "Renet Simirenko" în depozite.

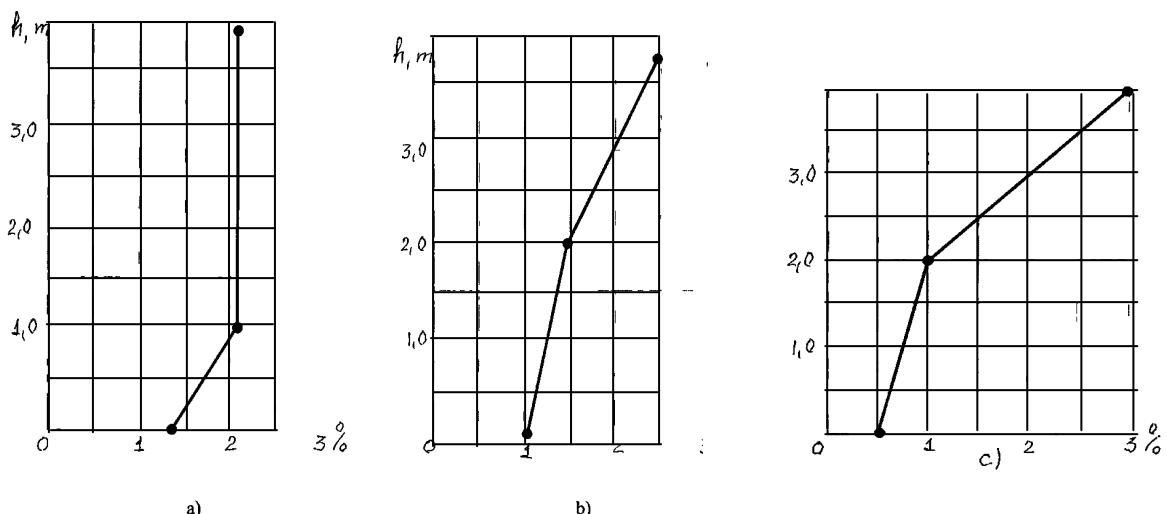


Fig. 8. Variația conținutului de putregai al merelor "Renet Simirenko" în procesul de păstrare la diferite niveluri (pe verticală): a - sistem de răcire indirectă a aerului instalat în partea de sus a depozitului; b - sistem de răcire indirectă a aerului instalat la pereții depozitului; c - sistem de răcire cu aer.

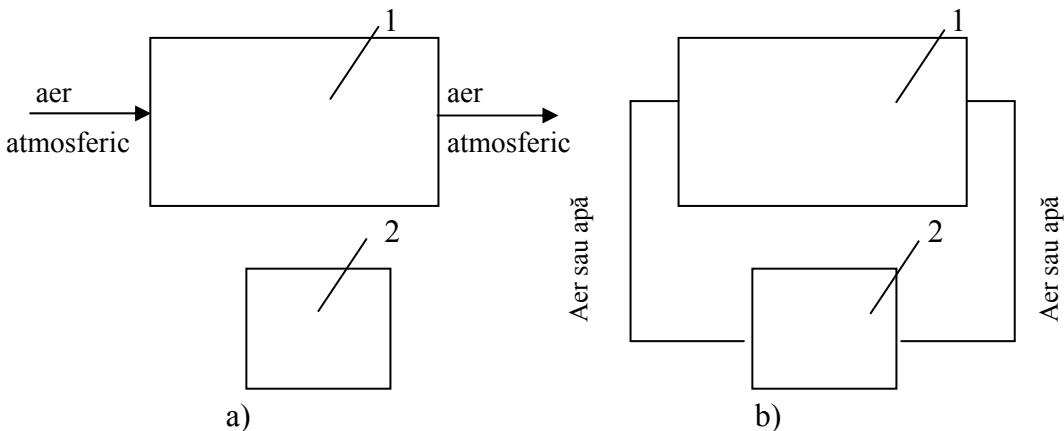


Fig. 9. Sistemul de răcire a aerului în depozit cu cicluri deschis (a) și închis (b)
 1 - depozit de păstrare a fructelor și legumelor; 2 - instalație frigorifică.

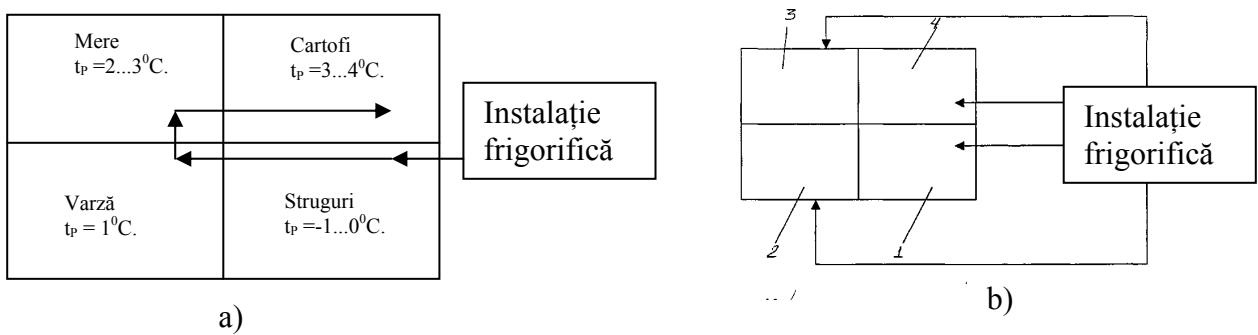


Fig. 10. Schemele de răcire consecutivă (a) și pe fiecare cameră aparte 1, 2, 3, 4(b) al depozitului de păstrare a fructelor și legumelor. t_p – temperatura de păstrare a produselor [1]

O altă rezervă este utilizarea schemei consecutive de răcire a aerului în camerele depozitului cu diferite specii de fructe și legume.

Deoarece temperaturile aerului de păstrare a fructelor și legumelor sunt diferite schema consecutivă de răcire a fructelor și legumelor (Fig. 10, a) este mai eficientă din punctul de vedere al reducerii consumului de energie electrică în comparație cu varianta în care fiecare spațiu de depozitare este răcit aparte(Fig.10b).

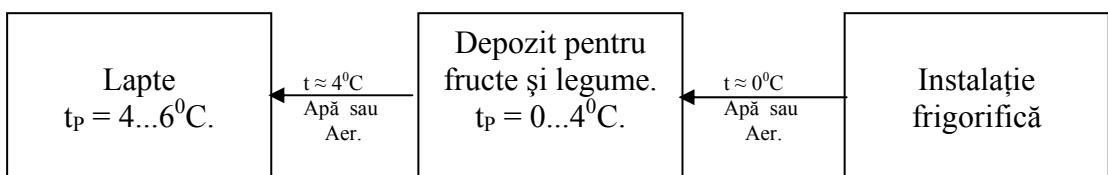


Fig. 11. Schema consecutivă de răcire a fructelor, legumelor și a laptelui [1]

Calculele preventive ne-au demonstrat că utilizarea schemei consecutive de răcire a strugurilor, verzei, merelor și cartofului permite reducerea consumului de energie electrică de 3,1 ... 3,2 ori.

Totodată, merită atenție utilizarea schemei consecutive de răcire a fructelor, legumelor și a laptelui, Fig.11.

Calculele preventive ne-au demonstrat că:

- pentru păstrarea a 50 - 100 t fructe și legume și răcirea 1 t de lapte consumul de energie electrică se reduce cu:

13 ... 29 % pentru mere;

27 ... 42% pentru struguri;

13 ... 27% pentru varză;

12 ... 26% pentru cartofi;

- pentru păstrarea a 1000 - 2000 t fructe și legume, precum și răcirea a 10 t de lapte consumul de energie electrică se reduce cu:

7... 17 % pentru mere;

15 ... 43% pentru struguri;

8... 18% pentru varză;

7 ... 15% pentru cartofi.

Concluzii:

1. Sistemele cu frig artificial și natural pentru răcirea laptelui și păstrarea fructelor și legumelor sunt sisteme complexe compuse respectiv din 5-6 subsisteme (mediul ambiant, operator, tehnologie, utilaj electric, bloc de reglare, produs răcit).
2. Valorile temperaturii și umidității aerului în depozitele de păstrare a fructelor, precum și pierderile de greutate și conținutul de putregăi a fructelor esențial depind de sistema de răcire aleasă.
3. Merită atenție în scopul reducerii consumului de energie electrică utilizarea aerului atmosferic după o schemă cu ciclu deschis sau închis respectiv la temperaturi a aerului atmosferic în jurul 0°C și mai mari.
4. O altă rezervă de economisire a energiei o constituie utilizarea schemei consecutive de răcire a aerului în depozitul cu diferite specii de fructe și legume.

Bibliografie

1. Волконович Л, Черней М. и др, Энергосберегающие, экологические технологии и электрооборудование для охлаждения молока и хранения фруктов и овощей. Монография, Кишинев, 2004г.

CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ LA CET

Juravleov A.A., Sit M.L., Zubatii A.L., Poponova O.B., Sit B.M., Timcenco D.V.

Rezumat

Lucrarea este destinată eficienței tehnico-economice a utilizării pompelor de căldură la CET. Sunt prezentate rapoartele dintre termenul de recuperare simplu și venitul net actualizat și dintre tarifele la energie electrică și prețul unui kWt al instalației cu pompa de căldură.

Cuvinte cheie: Instalații cu pompe de căldură la CET, Venitul net actualizat.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭЦ

**Журавлев А.А., Шит М.Л., Зубатый А.Л., Попонова О.Б., Шит Б.М.,
Тимченко Д.В.**

Аннотация

Работа посвящена определению технико-экономической эффективности применения тепловых насосов на ТЭЦ. Приведены зависимости простого срока окупаемости и чистого дисконтированного дохода от цен за 1 кВт ТНУ и тарифов на электроэнергию.

Ключевые слова. Тепловые насосы на ТЭЦ. Чистый дисконтированный доход при использовании ТНУ.

EFFICIENCY OF THE USE OF HEAT PUMPS ON THE CHP PLANTS

Juravliov A.A., Sit M.L., Zubatii A.L., Poponova Olga, Sit B.M., Timcenco D.V.

Abstract.

The calculation of heat pumps utilization efficiency on the CHP plants is discussed in this article. Dependencies of the pay-back period and NPV of heat pump from 1kWt "heat pump" price and energy costs are shown.

Key words. Heat pumps, efficiency of heat pumps.

Тепловые насосы являются в настоящее время приоритетным объектом исследований и разработок с целью энергосбережения.

Как известно, см., например, [6], недогрузка ТЭЦ по теплу фактически «запирает» большое количество электроэнергии, которое не может быть выработано в связи с отсутствием тепловой нагрузки.

Так в неотопительный период на ТЭЦ-2 в г. Кишиневе работает один блок с номинальной мощностью 80 МВт электрической и 200 МВт (172 Гкал/час) тепловой энергии. В связи с тем, что летом нагрузка по теплу для ГВС по городу составляет около 70 МВт (~60 Гкал/час), то блок не может развивать номинальную мощность и его располагаемая мощность летом около 50 МВт. Но, чтобы выдать такую мощность, приходится тратить топливо и на выработку более чем 120 МВт (~103 Гкал/час) тепловой мощности, которая частично используется для ГВС, собственные нужды станции и частично теряется в окружающую среду. Коэффициент использования топлива значительно снижается в межсезонный период. Термодинамический анализ паросилового цикла турбины показал, что можно увеличить количество выдаваемой электроэнергии за счет снижения давления в конденсаторе путем снижения температуры в системе водяного охлаждения после башенной градирни. Этого можно достичь путем подключения теплового насоса (TH), который будет работать за счет отбираемого пара с теплофикационного или промышленного отбора турбины,

используемого только в отопительный период при необходимости снятия пиковых нагрузок по отоплению. ТН при этом вырабатывает, с коэффициентом преобразования 1,3-1,4, холод и тепло, которые, соответственно, используются для снижения давления конденсации и выработки дополнительной электроэнергии и на собственные нужды станции. При этом, если отобрать с теплофикационного отбора турбины 20 МВт тепловой энергии с паром для работы ТН, то можно получить 26-28 МВт тепла и холода. Это позволит несколько увеличить выработку электроэнергии, а полученную часть тепла вернуть на собственные нужды ТЭЦ, например, на подогрев подпиточной воды, снизив, таким образом, расход топлива на котел, а также увеличить выработку электроэнергии на тепловом потреблении. На рис.1 приведена структурная схема включения теплового насоса в технологическую схему ТЭЦ.

На рисунке: ИТН – испаритель теплового насоса; КТН – конденсатор теплового насоса.

Зададимся теплотой сгорания условного топлива $Q_H^p = 29,33 \text{ МДж} / \text{кг}$. Рассмотрим уравнение энергетической характеристики турбины ПТ-80/100 – 130/13 [18] где,

Q_{TURB} – расход теплоты на турбину, МВт,

Q_P, Q_T – тепловые нагрузки П и Т отборов турбины, МВт.

p_T – давление в отопительном отборе (при наличии двух отопительных отборов – в верхнем отопительном отборе), МПа,

N_t – электрическая мощность, развиваемая на тепловом потреблении, МВт,

N – номинальная мощность турбин, МВт;

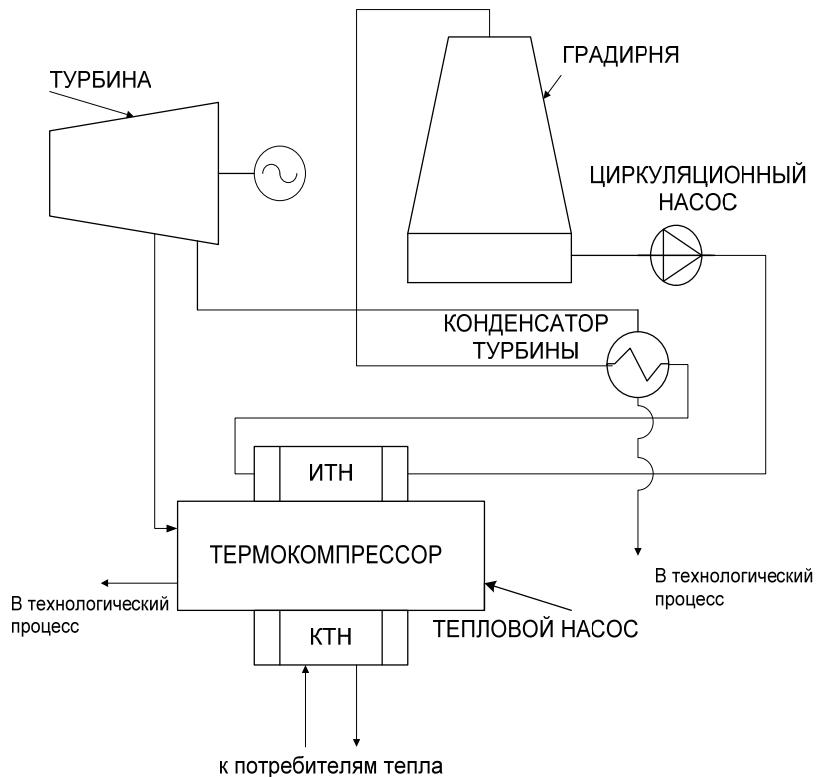


Рис. 1. Структурная схема включения теплового насоса в технологическую схему ТЭЦ.

$$Q_{TURB} = 16,3 + 1,98N - 0,965N_T + Q_T + Q_N; \\ (3.1.1)$$

$$N_T = \frac{0,542Q_T}{(10p_T)^{0,14}} + 0,301Q_N \left(\frac{1,3}{p_N} \right)^{0,34} - (11,6 - 0,0217Q_T); \\ (3.1.2)$$

Определим разность в выработке электрической энергии, теплофикационную мощность и расход теплоты на турбину при различных тепловых нагрузках на отборах.

При включении в работу ТНУ расход пара на турбину и теплофикационная выработка вырастут соответственно на величины:

$$dQ_T = Q_{T1} - Q_{T0}; \\ dN_{TURB} = (N_{T1} - N_{T0}) = \frac{0,544Q_{T1}}{(10p_{T0})^{0,14}} - \frac{0,544Q_{T0}}{(10p_{T0})^{0,14}} + 0,0217(Q_{T0} - Q_{T1}); \\ \Delta Q_{TURB} = -0,965N_{T1} + 0,965N_{T0} + 1,0217(Q_{T0} + Q_{T1}) = \\ -0,965dN_{TURB} + 1,0217(Q_{T0} + Q_{T1}); \\ (3.1.3)$$

Расход топлива при этом изменится на величину

$$\Delta B_1 = 0,123 \cdot dQ_{TURB} / \eta_K. \\ (3.1.4)$$

Исходные данные для расчета: номинальная теплота, отбираемая с теплофикационных отборов турбины $Q_{T0} = 60 \text{ MWt}$, теплота, отбираемая при включении теплового насоса: $Q_{T1} = 85 \text{ MWt}$, давления пара в теплофикационных отборах $p_{T0} = p_{T1} = 0,011$, КПД котла - $\eta_K = 0,9$.

На графике, рис.2 приведены зависимости простого срока окупаемости рассмотренной системы (лет) в зависимости от тарифов на электроэнергию в долларах за $1 \text{ kVt} \cdot \text{час}$.

Из рассмотрения рис.3. следует, что этот проект является прибыльным при стоимости 1 кВт установленной тепловой мощности ТНУ не более 140 долларов США при тарифе за электроэнергию не более – равно 0,08 доллара/1 кВт. час.

Следует отметить также, что абсорбционные ТНУ на ТЭЦ могут применяться и для утилизации тепла дымовых газов.

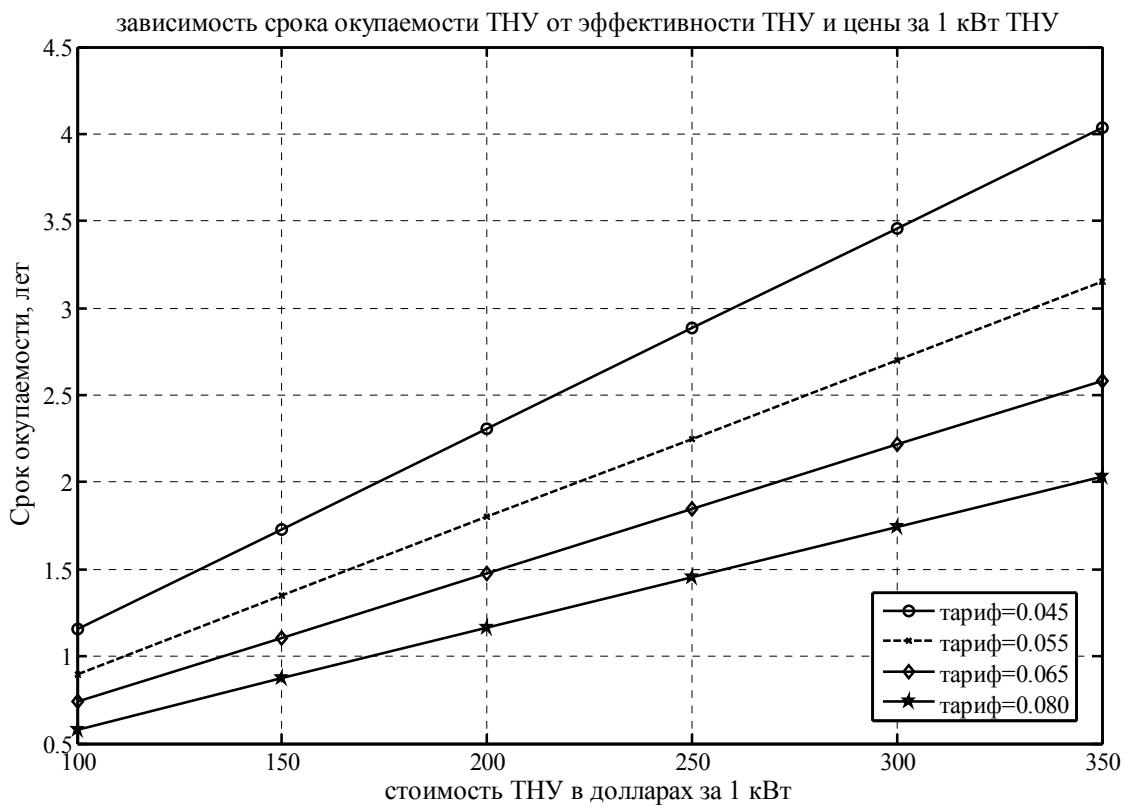


Рис. 2.

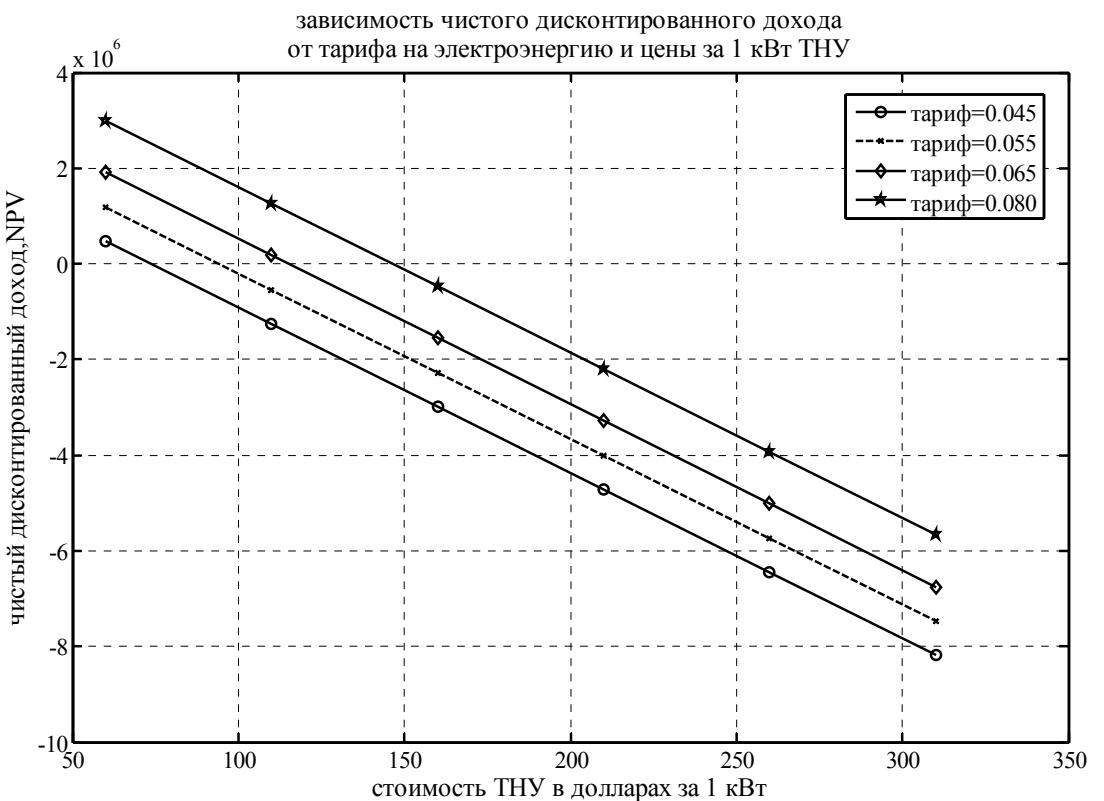


Рис3.

Выводы

Рассмотрена методика определения экономического эффекта от применения тепловых насосов на ТЭЦ.

Применение абсорбционных тепловых насосов на ТЭЦ эффективно при стоимости 1 кВт тепловой мощности ТНУ не более 140 долларов США/ 1 кВт тепловой мощности при тарифе на электрическую энергию не более 0,08 доллара США/1кВт.час.

Литература

1. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів., ХолодМ+Т, 2006, №2, с.34–36.
1. А.П. Бурдуков, Ю.М. Петин «Технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями». <http://www.risp.ru/~energy/publication.doc>.
3. Калнинь И.М. Энергосберегающие теплонасосные технологии. <http://g-mar.ru/Statyi11.htm>.
4. Жидович И.С., Трутаев В.И. Системный подход к оценке эффективности тепловых насосов. http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=189&name=_9GnxH2.htm
5. Westermark Matts “Swedish plants with integration of absorption cooling and flue gas condensation”, ZAE –Symposium 11-12 december 2006, “Biomasse Polygeneration - die Zukunft” http://www.zae-bayern.de/files/westermark_zae-symposium06.pdf.
6. Галимова Л.В., Попов А.А. Система ТЭЦ - абсорбционная холодильная машина. «Холодильная техника», 1998, №10, с.8...9.
7. Эксергетические расчеты технических систем. Справочное пособие. Под ред. А.А. Долинского и В.М. Бродянского. Киев: Наукова думка, 1991.-360с.
8. Автоматизация управления предприятием. /Баронов В.В. и др.-М.: Инфра-М,2000. - 239с.