UNELE ASPECTE ALE FORMĂRII PIEȚEI UNICE A UE „EUROELECTRIC" SI MOLDOVEI IN CADRUL ȚĂRILOR CSI

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЕДИНОГО РЫНКА ЕС «ЕВРЭЛЕКТРИК» И МОЛДОВЫ СРЕДИ СТРАН СНГ

SOME ASPECTS OF FORMATION OF THE UNIFORM MARKET EU "«EURELECTRIC" AND MOLDOVA AMONG THE COUNTRIES OF CIS

Постолатий В.М.
Институт энергетики Академии наук Республики Молдова
Кишинев, ул.Академическая,5. vpostolati@cc.acad.md

Аннотация. В работе приведены основные аспекты объединения энергосистем и создания общего рынка электроэнергии стран ЕС-СНГ. Описаны экологические индикаторы, используемые в ЕС-СНГ. Приведены **н**екоторые технологические предложения, которые Молдова могла бы предложить использовать при создании ОЭС ЕС-СНГ.

Adnotare. În lucrare sunt prezentate unele aspecte de unificare a sistemelor energetice şi creare a pieței unice de energie electrică a țărilor UE-CSI. Se descriu indicatorii ecologici aplicați în UE-CSI. Sunt prezentate unele propuneri tehnologice pe care Moldova ar putea propune la crearea sistemului energetic unificat al UE-CSI.

The summary. The basic aspects of association power systems and creation of the general market of the electric power of the countries of the EU - CIS are given in the work. The ecological indicators used in the EU - CIS are described. Some technological offers are given which Молдова could offer to use at creation of association power systems the EU - CIS

Cuvinte-cheie. Funcționare în paralel a sistemelor energetice, indicatori ecologici, piața unică a energiei electrice.
Ключевые слова. Параллельная работа энергосистем, экологические индикаторы, общий рынок электрической энергии.
Key words. Parallel work of power systems, ecological indicators, general market of electrical energy.

1.Общие положения.

Электроэнергетическим Советом СНГ и Европейским электроэнергетическим Союзом – ЕВРЭЛЕКТРИК проделана большая работа по подготовке объединения на параллельную работу электроэнергетических систем стран Западной и Центральной Европы и стран СНГ и созданию общего рынка электроэнергии на огромной территории Европейского и Азиатского регионов, [1, 2].

Выполнены технические проработки возможной синхронной работы энергосистем, средств измерения, контроля и управления.

Достигнуты следующие результаты:

- общность интересов в создании объединенной электроэнергетической системы «Восток – Запад»;
- подтверждена эффективность и результативность совместных усилий по созданию общего рынка электроэнергии;
- сделаны шаги по выработке общей методологии исследований, расчетов, оценок;
- намечены дальнейшие этапы разработки и гармонизации законодательной базы стран ЕС и СНГ, а также нормативных показателей и требований;
- установлены творческие взаимные связи и осуществлено формирование коллективов-исполнителей, включая рабочие группы, которые выполнили большую

совместную работу и обеспечили создание реальной базы для объединения энергосистем и формирования общего рынка электроэнергии;

- выполнены сопоставительные анализы состояния электроэнергетических систем и экономических показателей энергетики стран Запада и СНГ;

- подробно рассмотрены экологические аспекты объединения стран ЕС и СНГ на параллельную работу и создания общего рынка электроэнергии;

- разработаны дорожные карты, предусматривающие реализацию комплекса практических мероприятий по созданию общего Евро-Азиатского рынка электроэнергии;

- определены перспективы дальнейших работ в соответствии с разработанными дорожными картами.

2.Экологические аспекты.

Согласно Программе Семинара ЕВРЭЛЕКТРИК – ЭЭС СНГ электротехнический рынок от Лиссабона до Владивостока» 24 ноября 2005 г, г. Москва, Отель «Ренессанс», состоялась дискуссия по тематике 2-ой секции:

«Ключевые вопросы охраны окружающей среды в условиях интеграции электроэнергетических рынков СНГ и ЕС».

Дискуссия была проведена с участием и выступлениями представителей Европейской Комиссии и стран СНГ, в т.ч. представителя от Молдовы.

В отчете работы Совместной рабочей группы ЕВРЭЛЕКТРИК и ЭЭС СНГ [2] изложены основные результаты анализа аспектов экологического влияния объединения электроэнергетических систем и образования общего рынка электроэнергии.

Рабочей группой обосновано и принято для анализа 12 индикаторов оценки экологического влияния:

1. Валовый внутренний продукт – ВВП, (млн. долл. США);
2. Энергоемкость ВВП (кВт.ч/долл. США, т.у.т./долл. США, т.н.э./долл. США);
3. Производство электроэнергии (млрд. кВт.ч);
4. Установленная мощность электростанций (МВт);
5. Расход топлива (млн. т.у.т., или млн. т.н.э., 1 т.у.т. = 0,7 т.н.э.);
6. Валовые выбросы загрязняющих веществ (тыс. т);
7. Валовые выбросы CO_2 (тыс. т);
8. Удельные выбросы загрязняющих веществ (т/ГВт.ч; т/т.у.т; т/т.н.э);
9. Объем образования золошлаковых отходов (тыс. т);
10. Объем утилизации золошлаковых отходов (тыс. т);
11. Отходы установок сероочистки (т);
12. Данные о внедрении системы экологического менеджмента (СЭМ) (сертификация предприятий на соответствие стандарту ISO 14000) публикуются с 2000 г.

Для анализа основное внимание уделяется следующим индикаторам:

1. – ВВП (млн. долл. США);
2. – Энергоемкость ВВП (кВт.ч/долл. США);
7. - Валовые выбросы загрязняющих веществ: CO_2, NO_x, SO_2 (тыс. т);
8. - Удельные выбросы загрязняющих веществ CO_2, NO_x, SO_2 (т/ГВт.ч; т/т.у.т; т/т.н.э).

Результаты исследований экологических индикаторов приведены в [2] в виде таблиц и графиков, за период 1980-2005 г.г. и прогнозов на перспективу до 2010-2020 г.г. для стран ЕС (EU-15, EUR-17, EUR-25, EUR-28) и стран СНГ.

По странам ЕС:

EU-15: Австрия, Бельгия, Германия, Дания, Испания, Финляндия, Франция, Великобритания, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Швеция;

EUR-17: EU-15 + Швейцария, Норвегия;

EUR-25: EUR-17 + Болгария, Кипр, Чехия, Венгрия, Литва, Латвия, Польша, Румыния, Словения, Словакия, Турция.

(Швейцария и Норвегия не являются членами ЕС. Данные по Мальте и Эстонии отсутствуют).

По странам СНГ: Азербайджанская Республика, Республика Армения, Республика Беларусь, Грузия, Республика Казахстан, Киргизская Республика, Республика Молдова, Российская Федерация, Республика Таджикистан, Туркменистан, Республика Узбекистан, Украина.

Для Республики Молдова в [2] приведены данные, указанные в таблице 1.

Таблица 1.

Экологические индикаторы.
Статистические данные стран СНГ.

№ п/п	Наименование экологических индикаторов	1990	1995	2000	2002
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1.	Объем ВВП, млн. долл. США	19039	7415	6542	7486
2.	Динамика энергоемкости (электроемкости) ВВП, кВт.ч/долл. США	0,82	0,85	0,55	0,59
3.	Динамика производства электроэнергии, млрд. кВт.ч	15,69	6,18	6,362	4,41
4.	Динамика установленной мощности электростанций, МВт.	2998	3002	2996	2996
5.	Динамика расхода топлива на ТЭС: - тыс. т.у.т. - тыс. т.н.э.	 6005,8 4204,1		 1337 935,9	
6.	Динамика валовых выбросов SO_2, тыс. т.	162,4			
7.	Динамика валовых выбросов NO_x, тыс.т.	30,8			
8.	Динамика валовых выбросов золы, тыс.т.	34,1			
9.	Динамика валовых выбросов CO_2, млн. т. (в скобках данные всего [3])	12,9 (19,1)	(6,84)	(2,639)	(3,029)
10.	Динамика удельных выбросов SO_2: т/ГВт.ч кг/т.у.т. кг/т.н.э.	 10,34 46,68 66,83			
11.	Динамика удельных выбросов NO_x т/ГВт.ч кг/т.у.т. кг/т.н.э.	 1,96 5,13 7,33			
12.	Динамика удельных выбросов золы т/ГВт.ч кг/т.у.т. кг/т.н.э.	 2,17 18,35 26,21			
13.	Динамика удельных выбросов CO_2 т/ГВт.ч кг/т.у.т. кг/т.н.э.	 822 2149 3071			
14.	Отходы ТЭС, тыс.т. - объем образования ЗШО - объем утилизации ЗШО				

Как видно из приведенных данных, по Республике Молдова они являются неполными, и, как выяснилось, неточными, что обязывает провести дополнительную работу по их уточнению.

Следует отметить, что данные динамики изменения объемов производства ВВП являются завышенными и не совпадают с данными статистических органов Республики Молдова, которые приведены, в частности в [4].

В таблицу 1 в строку 9 внесены данные, взятые из [3], которые однако были получены по расчету выбросов CO_2 в целом по всем отраслям Республики Молдова.

По Республике Молдова отсутствуют официальные данные по экологическим индикаторам на перспективу до 2010-2020 г.г., в отличие от большинства других стран СНГ.

Итак, в плане дальнейшего эффективного участия Республики Молдова в работах по интеграции электроэнергетических систем и созданию общего рынка электроэнергии, необходимо интенсифицировать исследования, проведение анализа и прогнозирования экологических индикаторов, так как, в частности, по этому направлению работ Молдова явно отстает от других стран СНГ, не говоря уже о странах ЕС.

3.Некоторые технологические предложения по созданию ОЭС СНГ-ЕС.

Выполнение работы по интеграции электроэнергетических систем и созданию рынка электроэнергии со всех точек зрения целесообразно для участников, как стран ЕС, так и СНГ. Это обусловлено необходимостью для каждой страны иметь надежное электроснабжение и, не в ущерб развитию собственной энергетики, пользоваться известными преимуществами объединенных систем, что уже подтверждено многолетним опытом работы отдельных объединений Востока и Запада.

Примерами тому являются Единая электроэнергетическая система СССР и ряда социалистических стран, синхронно работавшая до 1992 г, нынешняя объединенная электроэнергетическая система стран СНГ и объединенная энергосистема UCTE и др.

Объединение на параллельную работу стран ЕС и СНГ явится высшим уровнем интеграции в области электроэнергетики, что будет сопровождаться техническими и экономическими благами для каждой страны, вошедшей в ее состав.

Прозрачность технологических аспектов, экономических показателей, стоимости электроэнергии в любом узле такой интегрированной системы позволит странам и отдельным потребителям выбирать поставщиков электроэнергии, исходя из собственных технических и экономических интересов. Вместе с тем, каждая энергосистема должна войти в объединенную систему, удовлетворяя определенным требованиям технического, экономического и экологического характера. К числу основных технических требований относятся, в частности, требования по обеспечению наличия соответствующих величин генерирующих мощностей, пропускной способности межсистемных электропередач, регулировочных характеристик и, в первую очередь, частоты, напряжения перетоков активной и реактивной мощности, требований к автоматике, защитам и системам измерений.

Работы в этом направлении ведутся созданными соответствующими рабочими группами, в том числе с участием Республики Молдова.

Для решения некоторых технических проблемных вопросов могли бы быть использованы результаты научных исследований и разработок Института Энергетики Академии наук РМ в области управляемых электропередач повышенной пропускной способности (УСВЛ) [5] и средств фазового регулирования (ФРТ) [6], которые являются одним из направлений создания гибких систем передачи электроэнергии переменного тока, получивших название FACTS.

Управляемые электропередачи типа УСВЛ обеспечивают по сравнению с обычными линиями того класса напряжения повышенную в 1,3-1,5 раза пропускную способность. Они могут включать в свой состав фазорегулирующие устройства и другие средства, что в комплексе создает возможности обеспечения любой требуемой величины пропускной способности электропередачи, а также регулирования параметров режимов и перетоков мощности в системе по заданным алгоритмам и критериям.

4.Анализ принципов организации управления объединенной электроэнергетической системой ЕС и СНГ и общим рынком.

В связи с планируемым созданием объединенной электроэнергетической системы ЕС – СНГ возникает вопрос о том, какой должна быть организационная структура управления

объединенной электроэнергетической системой на всей охватываемой ею огромной территории от Лиссабона до Владивостока. При этом подразумевается управление технологическое, оперативное, рыночное и обеспечение развития.

Естественно, что создание объединенной электроэнергетической системы ЕС – СНГ не должно сопровождаться какими-либо мероприятиями и действиями, не согласующимися с интересами каждой страны, ухудшающими нынешнее состояние их энергосистем, или ущемляющими их права.

Организационная структура управления в целом и ведения технологическими режимами объединенной энергосистемы ЕС и СНГ, на наш взгляд, должна быть подчинена некоторым главным принципам:

- *Должен соблюдаться общий баланс генерации и потребления мощности и энергии по системе в целом;*

- *В нормальных режимах энергосистема каждой страны должна быть способной покрывать длительное время свой баланс производства и потребления электроэнергии.*

При этом не исключены ситуации двухсторонних или многосторонних прямых однонаправленных длительных поставок электроэнергии от избыточных энергосистем в дефицитные в нормальных режимах на основе соответствующих контрактов.

Однако в аварийных или аномальных ситуациях в оказании взаимопомощи и регулировании баланса мощности в объединенной энергосистеме должны участвовать источники и потребители всех участников объединенной энергосистемы, что для каждой конкретной моделируемой ситуации должно оговариваться в соответствующих нормативных документах и оперативных инструкциях и строго выполняться на практике.

Все участники рынка должны располагать некоторым резервом вращающейся мощности генерирующих источников, который готовы предоставлять в общий оперативный резерв мощности объединенной энергосистемы по требованию системного оператора.

Именно этим резервом мощности распоряжается общесистемный оператор в управлении нормальными режимами объединенной энергосистемы и выполнении всех контрактных межсистемных перетоков мощности и обеспечении регулирования заданного графика нагрузок.

В связи с большой протяженностью объединенной энергосистемы ЕС – СНГ, вероятно, должны формироваться региональные зоны, режимы которых будут отрабатываться в соответствии с местными запросами, а также общими для всей системы.

Очевидно, что для управления объединенной электроэнергетической системой (ОЭС) ЕС – СНГ должен быть создан соответствующий орган, например, Электроэнергетический совет «СНГ – Евроэлектрик» сокращенно: Совет СНГ – ЕС. В его функции могут входить следующие задачи:

- систематическое отслеживание реального состояния ОЭС ЕС-СНГ;

- информационное обслуживание всех участников ОЭС ЕС – СНГ и рыночных структур, региональных операторов и управляющих органов энергосистем каждой страны, входящей в ОЭС ЕС – СНГ;

- управление графиками и балансами мощности в ОЭС ЕС-СНГ;

- согласование и управление по отключению и включению электростанций, крупных блоков, ЛЭП и подстанций на которые возложены общесистемные функции, выводу в ремонт и на реконструкцию действующего оборудования и ввод нового;

- отслеживание уровней цен и тарифов на электроэнергию во всех узлах энергосистемы, расчеты уровней цен при изменении общесистемных перетоков, структуры генерирующих мощностей и конфигурации сетей;

- финансовая деятельность, связанная с эксплуатационным обслуживанием межсистемных связей, общесистемной информационной системы, подготовкой информации, передачей ее заинтересованным структурам административным, эксплуатационным, рыночным и др.

Все затраты, связанные с деятельностью такого органа, должны покрываться за счет самостоятельного фонда, создаваемого за счет доли тарифа, отчисляемой участниками общего рынка в зависимости от объемов электроэнергии, реализованной с помощью ОЭС ЕС – СНГ. Средства планируются и обосновываются.

Тарифы на общесистемную электроэнергию формируются с учетом общесистемных затрат, но они не должны превышать величин собственных тарифов в узлах, расположенных на территории стран – участников общего рынка.

Затраты, связанные с обслуживанием и развитием энергосистем- участников общего рынка, принадлежащих данным странам и используемых в собственных интересах, должны на себя брать страны, каждая в отдельности.

Тарифы внутри каждой страны устанавливают собственные органы каждой страны.

Основой устойчивого существования и развития ОЭС ЕС – СНГ должны послужить принципы прозрачности, объективности, умеренных и скоординированных показателей нормы прибыли (прибыль нужна для осуществления развития и решения стратегических задач по модернизации и внедрения новой техники на объектах, носящих общесистемный характер).

Электроэнергетический Совет СНГ – Евроэлектрик (Совет СНГ – ЕС) может иметь в своей структуре все подразделения, необходимые для возможности осуществления поставленной цели.

Деятельность Совета СНГ – ЕС должна гармонизироваться с деятельностью электроэнергетических систем участников ОЭС, учитывать все особенности законодательств этих стран и быть одобренной их Правительствами.

В случае если та или иная страна не желает быть участником ОЭС и общего рынка электроэнергии, то это ее право. Но, если по территории такой страны проходят высоковольтные связи, которые необходимы для функционирования ОЭС, то в этом случае вопросы решаются по согласованию, либо путем аренды таких связей либо путем строительства новых. Эти расходы должны покрываться за счет общего фонда Совета СНГ-ЕС.

Страны - участники ОЭС или страны, не участвующие в ОЭС и общем рынке, могут на контрактной основе выполнять по заказу совета СНГ – ЕС работы по обслуживанию и охране объектов ОЭС, находящихся на территории этих стран.

5. Гарантии и энергетическая безопасность.

Объединенная электроэнергетическая система ОЭС СНГ – ЕС призвана повысить надежность электроснабжения потребителей стран-участников общего рынка.

Необходимые уровни энергетической безопасности объективно нужны для каждой страны, регионов, а также всего объединения стран.

Вероятнее всего, что методически в систему индикаторов энергетической безопасности должны быть введены дополнительные индикаторы. Их место в том или ином блоке определено особенностями каждой страны и может определиться в блоке «Источники электроэнергии» или «Межсистемные связи и перетоки», а, возможно и в топливном, и в экологическом блоках.

Данный вопрос требует своего дополнительного рассмотрения и детализации на уровне стран, регионов и объединения в целом.

6. Аспекты приватизации и монополий.

Приватизация действующих объектов в энергетике – это вынужденная мера, связанная с переходом собственности от одного владельца к другому, из-за неспособности

или банкротства первого и финансовой (предпринимательской) заинтересованности другого. Причинами могут быть и другие факторы.

Приватизация, состоявшаяся в ряде стран, в частности в Молдове, показала, что этот процесс для стран не является вполне выгодным и оправданным, особенно в случае перехода объекта в собственность иностранного владельца.

Процесс образования и налаживания функционирования ОЭС СНГ-ЕС является длительным. Иностранный инвестор, став владельцем того или иного объекта или сетей, систем, желает как можно скорее возвратить свои вложенные деньги, не заботясь, порой о развитии объекта или сетей, систем, а всеми доступными способами стремясь увеличить тариф. Порой это связано с банковскими обязательствами для погашения взятого кредита на закупку (приватизацию) объекта.

Создание ОЭС СНГ-ЕС является долгосрочной программой, требующей для своего осуществления значительных начальных капитальных вложений, что может быть решено на государственном уровне страны.

Кроме того, создание общего рынка электроэнергии открывает возможность заключения договоров на поставку электроэнергии от любого поставщика или источника, независимо от того, на территории какой страны он находится.

Монопольный владелец объекта (или сетей) будет стремиться любой ценой удержать свою монополию и отстаивать свои интересы.

Ответить однозначно, что приватизация будет способствовать образованию ОЭС СНГ-ЕС, достаточно проблематично.

В начале надо решить целый комплекс вопросов внутри стран по налаживанию взаимоотношений с новыми собственниками объектов энергетики.

На наш взгляд, переход государственной собственности в частное владение не приблизил нас к реализации нулевого этапа дорожной карты в программе работ по созданию ОЭС СНГ-ЕС и общего рынка электроэнергии.

Литература

1. Отчет «Сравнение электроэнергетических рынков ЕС и СНГ», Union of the electricity Industry “Eurelectric”, Электроэнергетический Совет СНГ. Совместная рабочая группа ЭЭС СНГ – ЕВРЭЛЕКТРИК «Рынки», ноябрь 2005. 49 с.

2. Ключевые вопросы охраны окружающей среды при объединении электроэнергетических рынков ЕС и СНГ. Union of the electricity Industry “Eurelectric”, Электроэнергетический Совет СНГ. Совместная рабочая группа ЭЭС СНГ – ЕВРЭЛЕКТРИК «Рынки», ноябрь 2005, 108 с.

3. E. V. Bîcova, M. M. Țaranu, V.G. Scorpan. The assessment of CO_2 emission from energy industry for the period of 1990-2002 in Moldova. Труды международной конференции «Энергетика Молдовы-2005». 21-24 сентября 2005, г. Кишинев, с. 730-736.

4. Дука Г.Г., Постолатий В.М., Быкова Е.В. Анализ состояния энергетической безопасности Республики Молдова. Труды международной конференции «Энергетика Молдовы-2005». 21-24 сентября 2005, г. Кишинев, с. 19-38.

5. Постолатий В.М., Быкова Е.В., Суслов В.М. Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния по управляемым двухцепным самокомпенсирующимся линиям электропередачи. Труды международной конференции «Энергетика Молдовы-2005». 21-24 сентября 2005, г. Кишинев, с. 281-291.

6. Постолатий В.М. Калинин Л.П., Зайцев Д.А., Быкова Е.В. Современные средства регулирования перетоков мощности и эффективности их применения в энергосистемах. Труды международной конференции «Энергетика Молдовы-2005». 21-24 сентября 2005, г. Кишинев, с. 206-219.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАТЕЖЕЙ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ф.Т. Алескеров
Институт Проблем Управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия,
117997, Москва, Профсоюзная ул., 65,
e-mail: alesk@ipu.ru
Б. М. Шит
Институт Энергетики Академии Наук Республики Молдова,
Республика Молдова, MD2028, г. Кишинев, ул. Академическая, 5,
e-mail: boris_fld@rambler.ru

В работе дан динамический анализ процессов, протекающих на рынке электроэнергии в условиях перехода к рынку. Рассмотрена система уравнений, описывающая рынок электроэнергии между смежными регионами и позволяющая спрогнозировать объем потребления и цены на электроэнергию в рассматриваемых регионах в определенный промежуток времени. Описаны уравнения, позволяющие моделировать объемы потребления электроэнергии и цены на электроэнергию. Рассмотрен критерий, позволяющий максимизировать суммарную прибыль компаний, производящих электроэнергию в рассматриваемых регионах.
Ключевые слова: потребление электроэнергии; цены на электроэнергию; динамический анализ процессов на рынке электроэнергии.

OPTIMIZAREA PLĂȚILOR PE PIAȚA ENERGIEI ELECTRICE. / Fuad Aleskerov **(**Institutul Problemelor de Conducere, str. Profsoyuznaya 65, 117997, Rusia, e-mail: alesk@ipu.ru), Boris Sit **(**Institutul de Energetică al AŞM, str. Academiei 5, Chisinau, MD2028, Republica Moldova, e-mail: boris_fld@rambler.ru).
În lucrare este prezentată analiza proceselor ce au loc pe piața energiei electrice în condițiile trecerii la ecomonia de piață. Este examinat un sistem de ecuații, ce descrie piața energiei electrice între regiunile vecine şi permite prognozarea volumului de consum şi prețurile ale energiei electrice în regiunile descrise în intervalul de timp stabilit. Sunt descrise ecuațiile ce permit modelarea volumurilor de consum şi prețurilor energiei electrice. Este examinat un criteriu,ce permite maximizarea veniturilor sumare ale companiilor producatoarelor ale energiei electrice în regiunile examinate.
Cuvinte cheie: consumul energiei electrice; prețurile energiei electrice; analiza proceselor pe piața energiei electrice.

OPTIMIZATION OF PAYMENTS ON THE ELECTRICITY MARKET / **Fuad Aleskerov (**Institute of Control Sciences, 65, Profsoyuznaya str., 117997, Russia, e-mail: alesk@ipu.ru), **Boris Sit (**Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Republic of Moldova, 5, Academiei str., Chisinau, MD2028, Republic of Moldova, e-mail: boris_fld@rambler.ru).
In this paper the dynamic analysis of the processes, which take place on electricity market during the transition period is shown. The system of equations, which describes electricity market between adjacent regions and allows forecasting electricity consumption volumes and electricity prices in these regions for given time interval, is examined. A model on electricity consumption and prices dynamics is described. Criterion of maximization of total revenue of the companies producing electricity in examined regions is considered.
Key words: electricity consumption; electricity prices; dynamic analysis of processes on electricity market.

Оглавление

1. Введение и описание рынка ФОРЭМ. Роль долгосрочного прогнозирования при анализе поведения рынка. 2
2. Критерии качества, которые используются при анализе поведения рынка. 3
3. Описание и обоснование предложенной системы уравнений. 4
4. Поведение участников рынка в случае трех регионов. 5
Выводы 8
Список литературы. 8

1. Введение и описание рынка ФОРЭМ. Роль долгосрочного прогнозирования при анализе поведения рынка.

Федеральный (общероссийский) оптовый рынок электрической энергии и мощности (ФОРЭМ) - сфера обращения электрической энергии (мощности) в рамках ЕЭС России в границах Российской Федерации с участием крупных производителей и крупных покупателей электрической энергии, получивших статус субъектов оптового рынка и действующих на основе правил оптового рынка. Тарифы (цены) на электрическую энергию (мощность), продаваемую/покупаемую в регулируемом секторе оптового рынка (в том числе в секторе отклонений) устанавливаются Федеральной службой по тарифам Российской Федерации.

С 01 ноября 2003 года была определена ценовая зона оптового рынка электрической энергии (мощности) ("Европейская ценовая зона"), в которой субъектам электроэнергетики предоставлено право покупки/продажи электроэнергии по свободным ценам (при сохранении возможности покупки/продажи по регулируемым ценам). Субъекты регионов "Востока" и "Сибири", не входящие в эту ценовую зону, покупают/продают электроэнергию только по регулируемым ценам. Тарифы на электрическую энергию (мощность), продаваемую или покупаемую на оптовом рынке и размер платы за услуги, предоставляемые на ФОРЭМ, устанавливаются Федеральной службой по тарифам России. Финансовые расчеты на оптовом рынке электрической энергии (мощности) осуществляются на основании заключенных договоров в соответствии с тарифами, утвержденными ФСТ России. Направления финансовых потоков между субъектами ФОРЭМ осуществляются на основании плановой и фактической схем платежей за расчетный период (месяц).

Ограниченные знания, имеющиеся о процессах, протекающих на либерализованных рынках электрической энергии и ограничения, накладываемые на известные модели рынка, не позволяют сделать обоснованную оценку долгосрочного поведения этой экономической системы. После значительных колебаний, отмеченных на реструктурированных рынках электрической энергии (ЭЭ), долгосрочное поведение этих рынков находится сегодня в центре внимания. Эта проблема является важной как для фирм, планирующих долгосрочные инвестиции в производство электроэнергии и заключающих долгосрочные контракты, так и для различных правительственных организаций, осуществляющих регулирование рынка и имеющих цель обеспечить долгосрочную надежность поставок и стабильность рынка [34].

Адекватные модели рынка крайне необходимы агентствам, регулирующим рынок. Модели, в которых рассматривается долгосрочное поведение и динамика рынков ЭЭ представляют собой надежную основу для проектирования робастной рыночной политики, которая позволяет обеспечить долгосрочную безопасность и надежность поставки электроэнергии.

С другой стороны интерес компаний-производителей ЭЭ к долгосрочным моделям, описывающим рынок ЭЭ также высок. С помощью рассматриваемых моделей энергокомпании желают воспользоваться долгосрочной волатильностью и сложной динамикой бизнес-циклов с целью получения максимальных прибылей.

Длительный успех энергокомпаний определяется в значительной степени их способностью конструировать тактику и стратегию своего поведения в долгосрочной перспективе, чтобы использовать преимущество подъема рынка и хеджирования рисков его падения. В связи с этим энергокомпании крайне заинтересованы в наличии адекватных моделей долгосрочного поведения рынка электроэнергии.

Большие отклонения от долгосрочного состояния равновесия, имеющие место при долгосрочных бизнес-циклах, значительно влияют на деятельность энергокомпаний.

Перечислим некоторые явления на рынке электроэнергии, влияние которых может быть уменьшено благодаря адекватным моделям, позволяющим прогнозировать долгосрочную динамику рынков ЭЭ:

- длительные колебания рынка могут влиять на кредитный рейтинг компаний, снижая, таким образом, их доходы и капитализацию;
- значительные длиннопериодические колебания цен могут создать серьезные проблемы с объемом наличности, особенно у мелких или сильно зависящих от государства компаний, а также фирм (обслуживающих энергокомпании), зависящих от тарифов на электроэнергию.
- моделями, описывающими долгосрочную динамику рынка ЭЭ, могут воспользоваться агенты, принимающие стратегические решения на рынке. Например, может быть принято решение об инвестициях в производственные мощности до роста рынка или о заключении форвардных контрактов до спада на рынке.

На регулируемом рынке рост спроса, цены на топливо, инфляция, ставки процента по кредитам являются наиболее серьезными факторами риска в долгосрочной перспективе. На нерегулируемом рынке основным источником риска является неопределенность динамики рынка в долгосрочной перспективе.

Поскольку известные модели равновесия долгосрочного поведения открытого рынка ЭЭ не отражают в достаточной степени динамику рынка, эти модели не могут быть основой для планирования поведения энергокомпании в долгосрочной перспективе. Поэтому разработка математических моделей, позволяющих уловить основы динамики поведения рынка ЭЭ в долгосрочной перспективе, являются сегодня принципиально важными для разработки корпоративной стратегии компаний, работающих на рынке ЭЭ.

2. Критерии качества, которые используются при анализе поведения рынка.

В ряде работ рассматриваются различные критерии оптимального поведения участников рынка на рынке ЭЭ. Так, например, в [28] рассматривается ожидаемый (планируемый) экономический эффект производителей.

В работе [34] используется целевая функция, представляющая собой критерий минимизации затрат на производство электроэнергии, или минимизации потерь электроэнергии.

В работе J.D.Weber [31,32] вводится определение «социального эффекта» (social welfare), который определяется как разница между суммарной прибылью потребителей и общими затратами поставщиков с учетом ограничений и ставится задача максимизировать этот социальный эффект.

В работе [30] (МГУ, ВЦ РАН) рассматривается задача расчета результатов централизованного двухстороннего аукциона закрытого типа, сводящаяся к поиску максимума функции:

$$\max_{\substack{\sum_{j\in покуп} V_j = \sum_{i\in прод} V_j \\ 0\le V_i\le V_i^{'},\,0\le V_j\le V_j^{'}}} \{\sum_{j\in покуп} c_j V_j - \sum_{i\in прод} c_i V_i\}, \qquad (2.1)$$

где c_i, c_j - цены, $V_i^{'}, V_j^{'}$ - соответствующие этим ценам объемы электроэнергии в заявках продавцов/покупателей участников аукциона соответственно, V_i, V_j - объемы, принятые аукционом.

Мы рассматриваем критерий оптимального поведения рынка, при котором социальный эффект, представляющий собой суммарную чистую прибыль всех участников рынка (как продавцов, так и покупателей), максимален.

Прибыль потребителей мы рассматриваем, как некоторую величину, зависящую от цен на электроэнергию и объема потребленной электроэнергии.

Решение задачи максимизации суммарного объема платежей π в рассматриваемых регионах с учетом социального эффекта, который представляет собой функцию, связанную с изменением влияния цены на ВРП региона.

Тогда критерий качества примет вид:

$$I = \sum_i a \cdot \left(\int_{t_0}^{t_0+\tau} f(C_l^i(t)) \cdot g\left(p_{border}^i(t) - p^i(t)\right) dt \right) + \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_l^i(t) p^i(t) dt. \qquad (2.2)$$

Здесь составляющая $\int_{t_0}^{t_0+\tau} f(C_l^i(t)) \cdot g\left(p_{border}^i(t) - p^i(t)\right) dt$ *представляет собой прибыль потребителя, а составляющая* $\int_{t_0}^{t_0+\tau} C_l^i(t) p^i(t) dt$ *- прибыль поставщиков;*

3. Описание и обоснование предложенной системы уравнений.

Как нами было показано ранее уравнения, описывающие поведение энергокомпаний на рынке имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{C}_l^{(i)} = a_1^{(i)} + a_2^{(i)} C_l^{(i)} + a_3^{(i)} Y^{(i)} - a_4^{(i)} \sum_{j=1}^{n} \eta_j^{(i)} p^j & (3.1) \\ \dot{p}^{(i)} = p_0^{(i)} + k_1^{(i)} p^{(i)} - k_2^{(i)} V^{(i)} + \beta C^{(l)} + \sum_s \varepsilon_s^{(i)} & (3.2) \end{cases}$$

где

$$\eta_j^{(i)} = C_{lj}^{(i)} / \sum_{i=1}^{n} C_{lj}^{(i)} \qquad (3.3)$$

В уравнении (3.1) *i* – номер региона, $C_{lj}^{(i)}$ - доля электроэнергии, приобретенной *i*-м регионом у *j*-го региона в объеме электроэнергии, потребляемой *i*-м регионом, $C_l^{(i)} = \sum_{i=1}^{n} C_{lj}^{(i)}$ - общий объем легального потребления электроэнергии *i*-м регионом, $Y^{(i)}$ - ВВП *i-го* региона, η - доля электроэнергии, закупленной *i*-м регионом *j-го* региона по цене p^j, $a_2^{(i)}, a_3^{(i)}, a_4^{(i)}$ - коэффициенты, определяющие скорость изменения объема потребления электроэнергии в *i*-м регионе в зависимости от текущего объема

потребления электроэнергии, ВВП, а также закупочных цен на электроэнергию в каждом из регионов, соответственно.

Уравнения (3.1) - (3.2) соответствуют ситуации, при которой в каждом из регионов имеется одна компания, являющаяся производителем электроэнергии. При этом каждый регион производит электроэнергию, как для собственных нужд, так и для продажи ее другим регионам.

В уравнении (3.2) $p^{(i)}$ - цена на электроэнергию в *i*-м регионе, V^i - объем производства электроэнергии *i*-го региона, β - доля потерь (как технических потерь, так и нелегального потребления энергии) электроэнергии в *i*-м регионе, ε - совокупность случайных факторов, влияющих на значение цены на электроэнергию, таких как погода, изменение цен на энергетические ресурсы, показатели, связанные с наличием кредитных рисков, уровень инфляции и другие.

Решение системы уравнений (3.1-3.2) позволяет спрогнозировать динамику цен на электроэнергию и объемов потребления электроэнергии в каждом из рассматриваемых регионов на заданный период при заданных объемах электроэнергии η, продаваемых из одного региона в другой.

Объем платежей за электроэнергию в заданный промежуток времени τ для каждого из регионов определяется выражением

$$\pi = \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_l(t)\,p(t)dt. \qquad (3.5)$$

Суммарный объем платежей за электроэнергию во всех регионах определяется выражением:

$$\pi = \sum_i \int_{t_0}^{t_0+\tau} C_l^{(i)}\,p^{(i)}(t)dt; \qquad (3.6)$$

4. Поведение участников рынка в случае трех регионов.

При рассмотрении случая для 3-х регионов влиянием случайных параметров мы пренебрегали.

Для трех регионов система уравнений (3.1-3.2) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{C}_l^{(1)} = a_1^{(1)} + a_2^{(1)}C_l^{(1)} + a_3^{(1)}Y^{(1)} - a_4^{(1)}(\eta_1^{(1)}p^1 + \eta_2^{(1)}p^2 + \eta_3^{(1)}p^3) \\ \dot{C}_l^{(2)} = a_1^{(2)} + a_2^{(2)}C_l^{(2)} + a_3^{(2)}Y^{(2)} - a_4^{(2)}(\eta_1^{(2)}p^1 + \eta_2^{(2)}p^2 + \eta_3^{(2)}p^3) \\ \dot{C}_l^{(3)} = a_1^{(3)} + a_2^{(3)}C_l^{(3)} + a_3^{(3)}Y^{(3)} - a_4^{(3)}(\eta_1^{(3)}p^1 + \eta_2^{(3)}p^2 + \eta_3^{(3)}p^3) \\ \dot{p}^{(1)} = p_0^{(1)} + k_1^{(1)}p^{(1)} - k_2^{(1)}V^{(1)} + \beta^{(1)}C_l^{(1)} \\ \dot{p}^{(2)} = p_0^{(2)} + k_1^{(2)}p^{(2)} - k_2^{(2)}V^{(2)} + \beta^{(2)}C_l^{(2)} \\ \dot{p}^{(3)} = p_0^{(3)} + k_1^{(3)}p^{(3)} - k_2^{(3)}V^{(3)} + \beta^{(3)}C_l^{(3)} \end{cases} \qquad (4.1)$$

Значения коэффициентов системы (4.1) таковы:

$$\begin{vmatrix} a_1^{(1)} & a_2^{(1)} & a_3^{(1)} & a_4^{(1)} \\ a_1^{(2)} & a_2^{(2)} & a_3^{(2)} & a_4^{(1)} \\ a_1^{(3)} & a_2^{(3)} & a_3^{(3)} & a_4^{(1)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 30,7 & -18,8 & 21,7 & 1,05 \\ 10,5 & -11,2 & 19,0 & 4,05 \\ 30,7 & -18,8 & 21,7 & 1,05 \end{vmatrix};$$

$$\begin{vmatrix} \eta_1^{(1)} & \eta_2^{(1)} & \eta_3^{(1)} \\ \eta_1^{(2)} & \eta_2^{(2)} & \eta_3^{(2)} \\ \eta_1^{(3)} & \eta_2^{(3)} & \eta_3^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0,2 & 0,0 & 0,8 \end{vmatrix};$$

$$p_0 = \begin{vmatrix} p_0^{(1)} \\ p_0^{(2)} \\ p_0^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \qquad k = \begin{vmatrix} k_1^{(1)} & k_2^{(1)} \\ k_1^{(2)} & k_2^{(2)} \\ k_1^{(3)} & k_2^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -25,9 & 10,1 \\ -30,75 & 6,9 \\ -39,8 & 12,5 \end{vmatrix}; \qquad \beta = \begin{vmatrix} \beta^{(1)} \\ \beta^{(2)} \\ \beta^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,25 \\ 0,1 \\ 0,025 \end{vmatrix}.$$

Изменение ВРП для первого региона было выбрано в виде синусоиды, второго региона линейно возрастающее, а у третьего линейно убывающее.

Были получены переходные процессы изменения потребления ЭЭ, цен, платежей.

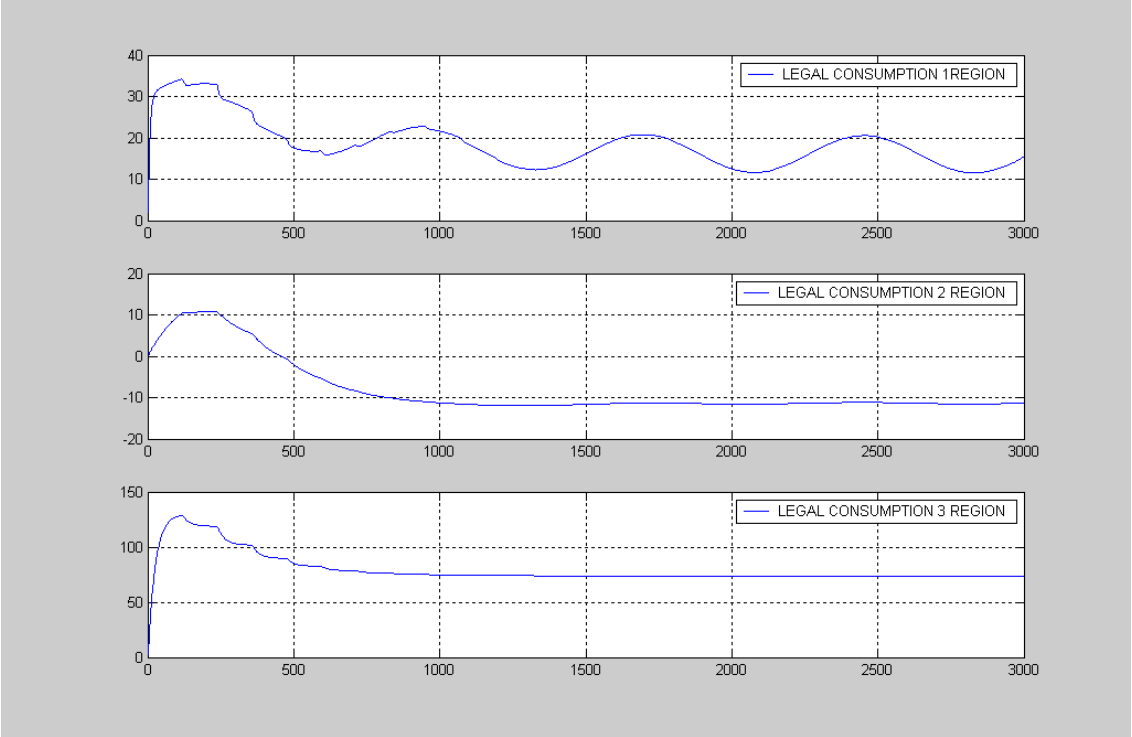


Рис.4.1. Зависимость потребления электроэнергии регионами от времени

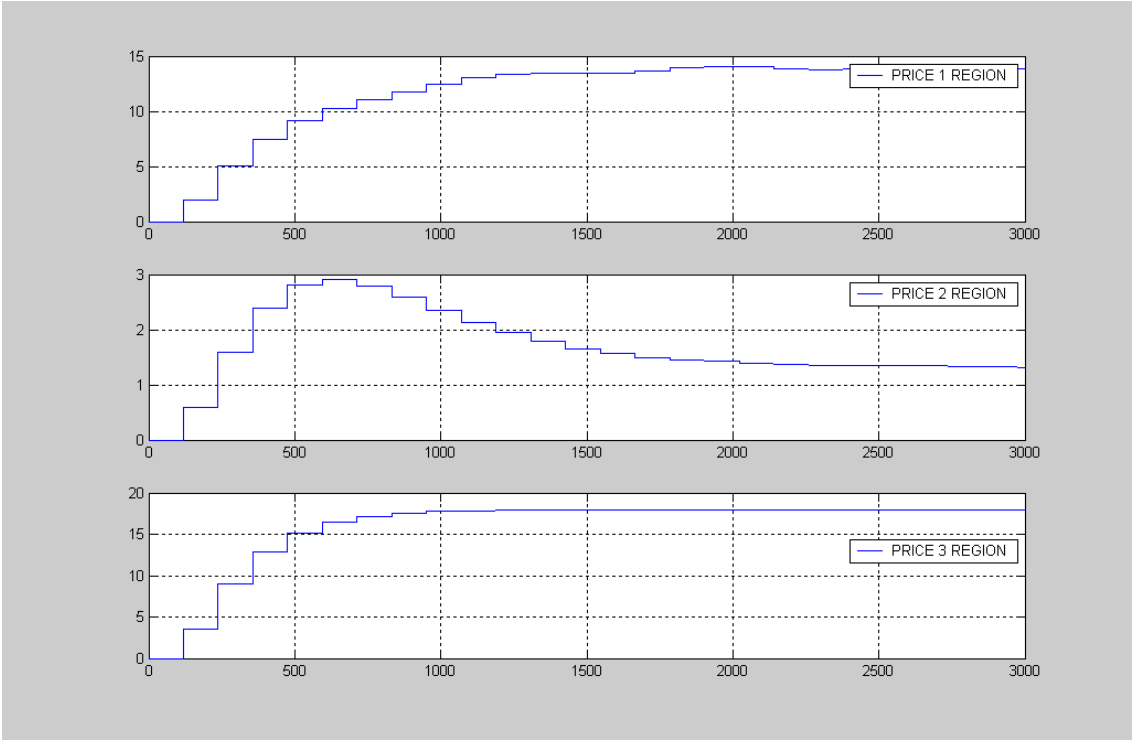


Рис.4.2. Зависимость цен на электроэнергию от времени.

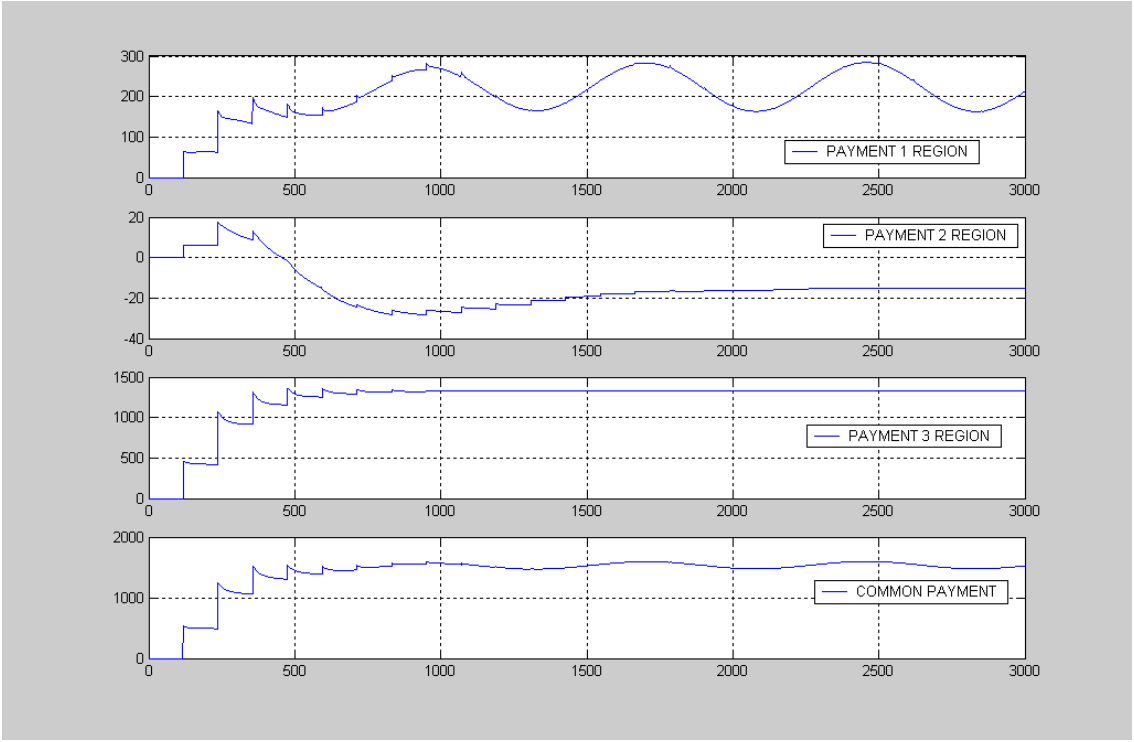


Рис.4.3. Зависимость платежей от времени.

Значения платежей даны в приращениях по отношению к базовому (нулевому) моменту времени.

Выводы

Разработанная модель позволяет провести динамический анализ и прогнозировать цены на электроэнергию, объем потребления электроэнергии и объем платежей за электроэнергию. Модель также позволяет оптимизировать взаимодействие между регионами на рынке электроэнергии, что позволяет максимизировать совокупную прибыль всех участников рынка электроэнергии.

Список литературы.

1. Aleskerov F., Sit B. Производство, легальное и нелегальное потребление электроэнергии (Динамический анализ), Control Sciences №2, pp.63-69, 2005.
2. Aleskerov F., Kaymak Baris A dynamic Model of Production, Legal and Illegal Consumption of Energy. Moscow, Institute of Control Sciences, 2002.
3. Alvarado F.L. *The dynamics of Power System Markets.*, Report N PSerc-97-01. http://www.pserc.org/ecow/get/publicatio/1997public/pserc9701.pdf.
4. Audet N., Heiskanen P., Keppo J., Vehvilainen I. Modeling electricity Forward Curve Dynamics in the Nordic Market. Bunn D.W. (editor), Modelling Prices in Competitive Electricity markets. Wiley, pp.251-265,
5. http://lib.tkk.fi/Diss/2004/isbn9512274027/article2.pdf.
6. Давидсон М.Р., Догадушкина Ю.В., Крейнес Е.М., Новикова Н.М., Удальцов Ю.А., Ширяева Л.В. Математическая модель конкурентного оптового рынка электроэнергии в России. Известия Академии Наук. Теория и системы управления №3, с. 72-83, 2004 г.
7. Beeck N. *Classification of Energy Models*. Tilburg University & Eindhoven University of Technology, 1999, http://greywww.kub.nl:2080/greyfiles/few/1999/doc/777.pdf.
8. Bunn D.V., Karakatsani N. *Forecasting Electricity Prices*, London Business School 2003 v1, www.london.edu/assets/documents/PDF/ 2.3.4.12.1_Karakatsani_and_Bunn_2003_FEP_pdf5.pdf.
9. Cramton P. *Competitive Bidding Behavior in Uniform -Price Auction Markets*. Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2004, www.cramton.umd.edu/papers2000-2004/cramton-bidding-behavior-in-electricity-markets-hawaii.pdf.
10. *Electroenergetika sodrujestva nezavisimih gosudarstv 1992-2002*, Ispolnitelinii Komitet electroenergeticeskogo soveta SNG, Moscow, 2003.
11. Fleten S-E., Lemming I. Constructing Forward Price Curves in Electricity market. http://www.energyforum.net/feature/PDF/159.pdf.
12. Ghali K.H, El-Sakka M.I.T *Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis,* Energy Economics 26 (2004) 225-238.
13. Goto M., Karoli G.A. *Understanding Electricity Price Volatility Within and Across Markets*.http://www.cob.ohio-state.edu/fin/dice/papers/2004/2004-12.pdf.
14. von Grafenstein L., M. Verschuere *On the anomalous price behaviour of power futures*. www.fam.tuwien.ac.at/~michel/talk_with_pics.pdf.
15. Gutierrez-Alcaraz G, Sheble G. B. *Real Option Data Requirements of Power System Data for Competitive Bidding*, Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences – 2004, www.csdl.computer.org/comp/proceedings/ hicss/2004/2056/02/205620047c.pdf.

16. Gutierrez-Alcaraz G., Sheble G. B.*Operational Planning Constrained by Financial Requirements*, www.ece.cmu.edu/~tanddconf_2004/Gutierrez Operational%20Planning%20Constrained%20by%20Financial.pdf.
17. Kian A, Keyhani A *Stochastic Price Modeling of Electricity in Deregulated Energy Markets*. Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences – 2001, www. csdl.computer.org/comp/proceedings/ hicss/2001/0981/02/09812034.pdf.
18. Kopsakangas-Savolainen M. Distribution price of electricity and potential welfare improvements. Preliminary Version, October 2000, University of Oulu, Department of Economics, www.ioes.hi.is/events/101100_conf_erindi/ GM_2000_Maria_Kopsakangas.pdf.
19. Kuzovkin A.I. *Tseli reformirovania energetiki: konkurentsia ili nadiozhnosti*. http://df7.ecfor.rssi.ru/pdf.php?id=2004/2/05.
20. Larson N., Salant D. *Equilibrium in wholesale electricity markets*, www.electricitymarkets.info/symp03/doc/c1_3-paper.pdf.
21. Popova J. *Spatial pattern in modeling electricity prices: evidence from the PJM market*. Department of Economics, West Virginia University. http://www.iaee.org/en/students/best_papers/ popova_washington_dc_2004.pdf.
22. Rudkevitch A. *Supply Function Equilibrium in Power markets: Learning All the Way*. TCA Technical Paper 1299-1702, December 22, 1999, www.tca-us.com/publications/learning2-2.pdf.
23. Skantze P., Gubina A., Ilic M *Bid-based Stochastic Model for Electricity Prices: The Impact of Fundamental Drivers on Market Dynamics*, Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Energy laboratory Publication, # MIT _EL00-004, November 2000, http:// lfee.mit.edu/public/el00-004.pdf.
24. Skantze P., Ilic M The *Joint Dynamics of Electricity Spot and Forward markets: Implications on Formulating Dynamic Hedging Strategies*. Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Energy laboratory Publication, # MIT _EL00-005, November 2000, http:// lfee.mit.edu/public/el00-005.pdf.
25. *Transmission losses in a GB electricity marked*. A DTI consultation paper. January, 2003, www.dti.gov.uk/energy/consultations/elec_market.pdf.
26. Villapana P. *Valuation of electricity forward contracts: the role of demand and capacity*. www.ivie.es/downloads/ws/bf/2005/03/22/ponencia01.pdf.
27. Wankeun Oh , Kihoon Lee. *Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970–1999*, Energy Economics 26 (2004) 51–59.
28. Yemane Wolde-Rufael *Disaggregated industrial energy consumption and GDP: the case of Shanghai, 1952–1999*, Energy Economics 26 (2004) 69-75.
29. Марченко О.В. Оценка влияния неэластичности спроса на эффективность рыночного механизма в электроэнергетике. Известия Академии наук РФ, №4, 2005, с.35-44.
30. Давидсон М.Р. др. «Математическая модель конкурентного оптового рынка электроэнергии в России». Известия РАН «Теория и системы управления», №3, с.72-83.
31. Weber J.D., Overbuy T.J. *An Individual Welfare Maximization Algorithm For Electricity Markets*. IEEE Transactions in Power Systems, February, 2002, www.powerworld.com/Document%20Library/ Welfare%20Maximization.pdf .
32. Weber J.D., "*Implementation of a Newton-based optimal power flow into a power system simulation environment,"* M.S. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Electrical and Computer Engineering, January 1997,

www.pserc.wisc.edu/ecow/get/publication/2002public/individualwelfaremaximization3_27_02.pdf.
33. Общая характеристика ФОРЭМ. http://www.np-ats.ru/index.jsp?pid=155
34. F.C.Schweppe, M.C. Caramanis, R.D. Tabors and R.E. Bohn, Spot Pricing of Electricity, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.

POSIBILITĂȚILE POTENȚIALE ŞI PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII ÎNTERPRINDERILOR MICI DIN SECTORUL ENERGETIC

Nina Făuraş
lector superior a catedrei „Manajement" ULIM

Abstract. Se analizează situația din sectorul energetic al Republicii Moldova la faza de privatizare şi apariție a mai multor forme de proprietate. Includerea businness-lui mic ca partener al întreprinderilor mari va conduce la eficientizarea funcționării complexului energetic, îmbunătățirea gestionări acestui segment al economiei naționale, precum şi la utilizarea mult mai eficientă a potențialului resurselor energetice primare.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

Аннотация. Анализируется ситуация в энергетическом комплексе Республики Молдова на этапе приватизации и появления множества форм собственности. Вхождения малого бизнеса в качестве партнера предприятий будет содействовать повышении эффективности функционирования энергетического комплекса, улучшении управляемости этой составляющей национальной экономики, а также более эффективному использованию первичных энергетических ресурсов.

POTENTIAL POSSIBILITIES AND OUTLOOKS OF THE DEVELOPPMENT OF SMALL BUSINESS IN ENERGETICS

Abstract. The situation in a power complex of Republic Moldova at a stage of privatization and occurrence of set of patterns of ownership is analyzed. Occurrences of small business as the partner of the enterprises will promote increase of efficiency of functioning of a power complex, improvement of controllability of this making national economy, and also more to an effective utilization of primary power resources.

Cuvinte-cheie: Sectorul energetic, monopol, eficiență, restructurare, întreprinderi mici, gestionare, dezvoltare

1.Introducere

La ora curentă sectorul energetic al R. Moldova se află în faza modificărilor de structură şi ca urmare a apariției a mai multor forme de proprietate. Aceste modificări sunt o urmare a transformărilor în economia națională. Scopul final al acestor transformări îl constituie funcționarea eficiență în condiții de piață liberă a tuturor ramurilor economiei. Apariția a mai multor forme de proprietate este o condiție necesară pentru implementarea conceptului de demonopolizare a activității economice şi deschiderea posibilităților de dezvoltarea a busness-ului mic.

Acest concept este valabil şi pentru energetică: sectorul electroenergetic şi sectorul termoenergetic.

O particularitate esențială, care se referă la această ramură a economiei, o constituie prezență reală a unor elemente destul de dure cu caracter de monopol. Semnele de monopol sunt un rezultat al dezvoltării istorice a energeticii, ca ramură de bază a economiei şi a principiului de dezvoltare a infrastructurii in fosta URSS. O altă particularitate, care determină existența şi in condițiile de piață a elementelor de monopol în ramură, o constituie caracterul specific al mărfii furnizate pe piață de desfacere, fie energie electrica sau energia termică. Această particularitate constă in caracterul neîntrerupt al ciclului: producere – transport – distribuire - consum. Căderea unei verigi din acest lanț sau funcționarea neeficientă a oricărui element structural are consecințe grave pentru întregul sector energetic, chiar consecințe catastrofale, ca căderea sistemului energetic.

Din aceste considerente o problemă actuală o prezintă dirijarea eficientă cu funcționarea complexului energetic în bază unor noi tehnologii informaționale. Noile concepții de conlucrare şi dirijare trebuie să fie bine racordate la situația curentă din sectorul energetic, deoarece in condițiile de piață scopul tuturor jucătorilor pe piață îl constituie obținerea unui beneficiu economic. Adesea interesele jucătorilor cu pondere economică mare şi mică pot fi diametral opuse şi armonizarea intereselor lor este o problemă destul de dificilă: conştientizarea necesității armonizării intereselor cu scopul asigurării celui mai ridicat nivel de funcționare a sectorului energetic in condițiile actuale

este poate unica cale de funcționare eficientă atât in condițiile de tranzactie la relațiile de piață, cât şi în perioada funcționarii stabile a pieței energiei in R. Moldova.

Pentru aceste este necesar de conturat interesele şi locul pe piață energiei atât a marilor jucători din toate segmentele sectorului energetic, cât şi a jucătorilor mic, a micului business.

2.Analiza succintă a situației in sectorul energetic a R. Moldova.

Sectorul energetic al R. Moldova este astăzi in faza de tranzacție privind funcționarea în noile condiții, care au obiectivul general de instituire a relațiilor civilizate de piață.

Una din consecințele acestor schimbări constă în micşorare capacității de gestionare atât cu funcționarea complexului energetic în general, cât şi cu subansamblurile lui.

Starea actuală a fost condiționale de următoarele:

1. Descentralizarea şi privatizarea parțială a complexului energetic;
2. N-a fost elaborat un sistem alternativ de dirijare (centralizat) a complexului şi a părților componente;
3. Au avut loc schimbări rapide a criteriilor de funcționare, utilizate la dirijarea cu funcționarea complexului energetic şi a subansamblurilor lui la faza precedentă de dezvoltare şi care constau în următoarele:
    - În sistemul centralizat criteriul de bază a fost asigurarea sigură şi neîntreruptă a consumătorilor cu energie electrică cu cheltuieli minimale pentru consumatori. Astăzi, scopul principal al întreprinderilor sectorului energetic, în primul rând a celor private, constă în obținerea profitabilității cu cheltuieli minime privind menținerea nivelului tehnic al sistemului energetic. În Moldova lipseşte un mecanism robust privind asigurarea respectării acestor cerințe. Astăzi situația este aşa, că aproape toți distribuitori de energie electrică de fapt au drepturi de monopolist, şi în această situație pot determinarea „regulilor de joc". Aceasta duce la creşterea sistematică şi rapidă a prețurilor la energia electrică (fig.1) şi la lipsă de responsabilitate pentru calitatea aprovizionării cu energie electrică a consumatorilor;
    - Este cunoscut faptul, că prețurile mari la energia electrică provoacă creşterea prețurilor la toate produsele industriale, ceea ce duce la micşorarea capacității de concurare a mărfurilor autohtone şi la degradarea sectorului real al economiei naționale.

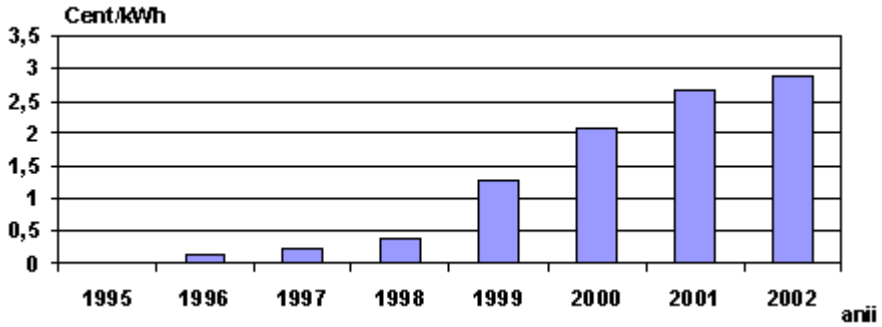


Figura 1Dinamica evolutice tarifelor la energia electrica în anii 1995-2002

Spre regret, la faza de restructurare a complexului energetic a avut loc încălcarea legilor şi principiilor de bază privind dirijarea cu aceste organisme, deoarece respectarea principiile şi legitățile de dirijare sunt un factor foarte semnificativ pentru funcționarea fiabilă şi sigură a tuturor sistemele complexe.

A fost distrusă structura care asigura reacția inversă (feed-back) la dirijarea proceselor tehnologice şi economice în sub-sistemele complexului energetic. Noua structură de conducere

nu corespunde particularităților producției energiei electrice, care constă în producerea şi consumul concomitent a energiei.

Este încălcată legea privind nivelul necesar de diversitate care afirma, că pentru dirijarea eficientă cu sistemul organul de conducere trebuie să fie apt să perceapă acelaşi număr de semnale, care se observă la outputul sistemului. Cauza constă în deteriorarea legăturii inverse şi a structurii sistemului de conducere acordate la structura procesului tehnologic de producere.

Observații analogice se pot face şi privind legile: de unitate şi integritate privind sistemul de conducere; de corespundere a sistemului de conducere cu sistemul subordonat etc.

Necesitatea acută privind asigurarea securității energetice a consumatorului, a reducerii costului şi majorării nivelului calității de aprovizionare cu energie electrică a consumătorilor conduce la creşterea interesului către sursele alternative de energie electrică, precum şi către sursele autonome de energie. Reieşind din teoria de dirijare şi comanda utilizarea acestor surse permite, în conformitate cu cerințele şi posibilitățile consumatorilor, reglarea parametrilor energiei furnizate şi această reglare are urmări esențiale privind ridicarea eficientei utilizării resurselor energetice primare. De exemplu, în cazul aprovizionării cu energie termica este posibilă reglarea locală a puterii instalației termică. în dependență de condițiile timpului

Analiza situației reale confirmă existența a mai multor genuri de dificultăți privind funcționarea sectorului energetic al R. Moldova. Se poate menționa, că în afară de aspecte tehnice, tehnologice şi organizatorice o mare influență asupra situației o are şi cadrul legislativ. Fără implementarea reală a unui cadru legislativ privind funcționarea şi armonizarea relațiilor tuturor jucătorilor din sectorul energetic este puțin probabilă dezvoltarea eficientă a acestui segment al economiei naționale. Astăzi, deja este evidență necesitatea includerii ca parte componentă a energetici şi a micilor întreprinderi cu preocupări în producerea energiei, în gestionarea calificată în baza tehnologiilor moderne informaționale a activităților în acest sector de bază a economiei naționale.

3.Aspecte privind subiectului legislativ şi domenii de activitate întreprinderilor mici.

La evaluarea posibilităților şi perspectivelor de participare a întreprinderilor mici în activitatea sectorului energetic ne putem adresa la legea R.Moldova „Privind susținerea şi protecția micului business" nr.112XII din 20.05.94. În această lege sunt formulate criteriile în baza cărora se determină statutul întreprinderii ca întreprindere mică: numărul mediu anual al angajaților (care constituie 10-50 de persoane) şi suma vânzărilor anuale nete (până la 10 mln. lei).

În articolul 1(5) se indică şi alte limite la domeniile de activitate a întreprinderilor mici, care nu sunt esențiale pentru cercetarea noastră.

Limita cea mai serioasă este suma vânzărilor anuale nete, deoarece un colectiv de muncă bine organizat, cu nivel de calificare înalt al lucrătorilor (ceea ce este condiția de bază în domeniul energetica), în număr de 30-50 de persoane şi care dispune de mijloace tehnice necesare, posedă de posibilități esențiale în acest domeniu de activitate.

Limita de 10 mln. lei permite efectuarea activității economice vizibile, de exemplu livrarea energiei electrice întreprinderi cu volumul consumării anuale de 10-20 mln. kWh.

Altă posibilitate de depunere a eforturilor întreprinderilor mici (şi cum s-a dovedit în practică destul de efectivă) este proiectarea, montarea, livrarea, exploatarea, reglarea, reparația sistemelor autonome de aprovizionare cu energie electrică. La momentul actual numărul firmelor care au succese în acest business este destul de mare. Totodată şi în acest domeniu există rezerve considerabile. De exemplu, pe piața Moldovei sunt puțin promovate pompele termice, care permit majorarea considerabilă a eficienței utilizării energiei electrice şi anume: pompa termică este o instalație, care produce în 3-7 ori mai multă energie termică decât consumă dispozitivul de acționare electrică al compresorului. Pompele termice lucrează in regim automat nu mai puțin de 10 ani, dar deservirea lor constă în revizia tehnica sezonieră şi

controlul curent al regimului de lucru. Cheltuielile minimale de exploatare sunt un avantaj vizibil al acestor instalații şi sunt interesate pentru furnizorii acestui echipament.

Prețul utilajului pompelor termice este de la 80 până la 180 dolari SUA pentru 1 kWh de energie termică în dependență de sursă din care se sustrage energia. Pompele termice sunt ecologic pure. Reieşind din avantajele sus menționate, în majoritatea țărilor din Europa Occidentală impozitul la profitul obținut la utilizarea pompelor termice este mai mic, dar în unele țări întreprinderile pot conta la dotații financiare considerabile în bază protocolului de la Kioto.

Cum a fost menționat mai sus, activitatea în sectorul energetic necesită un grad de calificare destul de ridicat, de aceea unele proiecte, care se bazează pe tehnologii avansate şi scientifice pot fi realizate în primul rând de întreprinderile mici, deoarece aceste întreprinderi sunt mai dinamice şi mai flexibile la progresul tehnic şi cerințele pieței. La întreprinderile mici mai uşor se introduc metode, care stimulează creşterea potențialului creativ al lucrătorilor şi deciziile adoptate se realizează mai rapid.

4. Direcții prioritare de activitate ale întreprinderilor mici

Având în vedere criteriile sus menționate şi caracteristicile întreprinderilor mici, putem determina următoarele direcții perspective de business pentru aceste întreprinderi:

- elaborarea şi crearea sistemelor de evidență şi dirijare a consumului de energie;
- elaborarea şi crearea sistemelor de management al calității energiei pentru zone locale a sistemului energetic;
- implementarea tehnologiilor de conservare a energiei;
- elaborarea şi implementarea instalaților energetice autonome şi de rezervă (generarea dispersată);
- crearea zonelor locale de rețele electrice şi termice ş.a.

În acest sens este foarte semnificativă Hotărârea Guvernului, publicată în Monitorul Oficial al RM, în care a fost propus Programul de implementare a instalațiilor energetice autonome, producătoare de energie termică şi electrică.

Cunoaşterea legităților dezvoltării sectorului energetic, precum şi determinarea domeniului de activitatea eficientă, permite micşorarea riscurilor pentru întreprinderile mici din sectorul energetic.

Tendințele actuale de dezvoltare a sistemelor de aprovizionare cu energie sunt următoarele:

- creşterea randamentului instalațiilor şi ca urmare, micşorarea cheltuielilor şi prețurilor la producerea şi transportul energiei electrice;
- asigurarea securității energetice atât a țării, cât şi a consumatorului;
- creşterea securității ecologice;
- creşterea gradului de independență a consumatorului față de sursă de energie şi genul combustibilului utilizat.

Ca scop ideal privind dezvoltarea şi funcționarea sistemului energetic poate fi desemnat furnizarea ne întreruptabilă consumatorilor a energiei electrice calitative (securitatea energetică a consumatorului) indiferent de locul amplasării in corespunderea cu cerințele lui, precum şi ridicarea eficienței la fazele de producere, transport şi distribuție a energiei (utilizare eficientă a resurselor energetice primare) şi diminuarea poluării mediului de către sectorul energetic

5.Concluzii:

1. Eficacitatea complexului energetic s-a micşorat considerabil şi influențează negativ asupra altor ramuri ale economiei naționale;

2. La restructurarea complexului energetic au avut loc încălcări ale principiilor şi legităților de bază a teoriei de dirijare şi comandă cu sistemele complexe;
3. Majorarea eficacității de funcționare a complexului energetic se poate atinge prin îmbunătățirea gestionării funcționării lui, precum şi prin dezvoltarea surselor autonome şi a tehnologiilor de economisire a energiei, ceea ce corespunde tendințelor de dezvoltare a energeticii pe plan internațional;
4. Posibilitățile întreprinderilor mici permit de a asigura elaborarea, implementarea şi exploatarea instalațiilor şi tehnologiilor energoefective atât la întreprinderile mare, cât şi pentru busness-ul mic.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА БАРАБАННОГО КОТЛА.

Журавлев А.А., Шит М.Л., Попонова О.Б., Шит Б.М., Зубатый А.Л.(Институт энергетики АНМ)

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE DRUM BOILER SUPERHEATED STEAM TEMPERATURE.

The control system of the temperature of the superheated steam of the drum boiler is examined. Main features of the system are the PI-controller in the external control loop and introduction of the functional component of the error signal of the external control loop with the negative feedback of the error signal between the prescribed value of steam flowrate and the signal of the steam flowrate in the exit of the boiler in the internal control loop.

Key words: steam boilers, automatic control of superheaters.

SISTEM DE DIRIJARE A TEMPERATURII ABURULUI SUPRAÂNCĂLZIT CAZANULUI CU TAMBUR.

Este examinat sistem de tip cascad cu PI-regulator contur extern cu introducerea componentei funcționale a semnalului de eroare între contur extern şi bucla negativă a semnalului de eroare între sarcina de debit a aburului şi semnalului de debit de abur la ieşire din cazan în contur intern.

Cuvinte cheie: cazane de abur cu tambur, dirijarea supraâncălzitoarelor.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА БАРАБАННОГО КОТЛА

Рассмотрена каскадная система с ПИ-регулятором во внешнем контуре, с введением функциональной составляющей сигнала рассогласования внешнего контура и отрицательной обратной связью по сигналу рассогласования между заданием по расходу пара и сигналом расхода пара на выходе котла во внутреннем контуре.

Ключевые слова: паровые котлы, автоматическое управление пароперегревателями.

1. Объект управления. Рассматривается пароперегреватель котла в виде двух теплообменников типа «газ-пар» конвективного типа (рис.1). В необогреваемую рассечку подведен трубопровод для впрыска собственного конденсата котла, представляющий собой пароохладитель. В пароохладителе происходит смешивание пара и собственного конденсата и охлаждение пара. Для контроля температуры пара установлено две термопары: после пароохладителя и после пароперегревателя. Схематично, пароперегреватель выполнен следующим образом. В верхнюю секцию пароперегревателя поступает пар из котла. После этой секции идет необогреваемый участок, где происходит смешивание собственного конденсата котла и пара и нагрев пара газами, которые уже нагрели вторую по ходу пара секцию. Далее пар поступает во вторую секцию, связанную с общим паропроводом, расположенную ниже первой секции, где происходит начальный нагрев пара. Эта секция обогревается дымовыми газами в первую очередь. За этой секцией установлена термопара, измеряющая температуру перегретого пара (см. рис.2).

Поэтому, когда изменяется температура, расход дымовых газов, расход пара через пароперегреватель, происходит изменение как температуры в рассечке, так и температуры на выходе ПП. Причем, коэффициенты усиления по каналам возмущения температуры в рассечке и температуры после ПП различны, что объясняется тем, что

на температуру в рассечке действует поток пара, охлажденный в первой по ходу дымовых газов секции ПП.

Секция 2 пароперегревателя является регулируемой. Измеряют температуры пара на входе и выходе из секции, (иногда, расход пара), и по этим параметрам ведут процесс.

Из этого рисунка видно, что при изменении расхода пара, температуры и расхода дымовых газов изменяются синхронно как температура пара в месте впрыска конденсата, так и температура пара после пароперегревателя (ПП).

Рис.1. Схема пароперегревателя.

2. Математическая модель пароперегревателя как объекта управления температурой пара.

Объектом регулирования является участок котла между точкой ввода регулирующего воздействия и точкой контроля регулируемой температуры, включающей в себя радиационные, полурадиационные и конвективные поверхности нагрева. На температуру пара оказывают влияние большое количество факторов: из них наиболее существенными оказываются: нагрузка котла, загрязнение поверхностей нагрева, ошлаковывание топки, температура питательной воды, избытки воздуха.

При снижении нагрузки удельное тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева повышается, а конвективных – уменьшается. Кроме того, на температуру перегрева оказывают большое влияние такие возмущения, как случайные возмущения подачи топлива при заданной нагрузке, изменение тягодутьевого режима и т.п.

В последнее время САР ТПП проектируются с вводом дополнительного воздействия по расходу пара. Встречаются САР с различного рода связями типа «люфт» между отдельными схемами регулирования расхода пара на участках парового тракта котла, ПИ и ПИД – регуляторы, САР ТПП с корректирующим и стабилизирующим регуляторами, которые, в некоторых случаях, могут иметь значительные преимущества перед типовыми с исчезающим импульсом из промежуточной точки. Для регулирования впрыска широко применяются шиберные клапаны.

Для исследуемой системы характерно большое транспортное запаздывание в объекте управления, нестационарность и априорная неопределенность математической модели ПП, что приводит, в конечном счете, к ручной перенастройке коэффициентов регулятора и необходимости проектировать систему из условий робастности.

Передаточная функция объекта регулирования включает в себя:

W_{TH} - передаточную функцию участка трубопровода от места впрыска до места установки термопары (передаточная функция опережающего участка);

W_T – передаточную функцию ПП между местами установки термопар 1 и 2, ее называют передаточной функцией инерционного участка;

$W_{TH}W_T$ – передаточную функцию главного участка;

W_D – передаточную функцию ПП при возмущении расходом пара;

W_F – передаточную функцию ПП при топочных возмущениях по теплоте дымовых газов.

$$W_{TH}(p) = k_{vpr}\frac{T_3 p + 1}{T_4 p + 1}; \quad (1)$$

$$W_T(p) = k_T e^{-\left(t_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}; \quad (2)$$

$$W_D(p) = -k_D \frac{(0,2Tp+1)\left[1-\exp-\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)\right]}{(Tp+1)\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\left[1 - e^{-\left(t_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\right]; \quad (3)$$

Передаточная функция W_F – по теплоте газов, уходящих из топки, имеет вид

$$W_F = \frac{k_F\left[1-\exp-\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)\right]}{(Tp+1)\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\left[1 - e^{-\left(t_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\right]; \quad (4)$$

Характерные параметры участка пароперегревателя, состоящего из одного пакета, определяют по формулам

$$k = \frac{\alpha_{IC} F_{INC}}{DC_{ST}}; \quad (5)$$

$$T = 3600\frac{G_M C_M}{\alpha_{IC} F_{INC}}; \quad (6)$$

$$\tau_0 = \frac{l}{w}; \quad (7)$$

где α_{IC} – условный коэффициент теплоотдачи от стенки змеевика к пару на внутренней поверхности змеевиков, $кДж/(м^2 \cdot ч \cdot {}^0C)$;

C_{ST} – средняя изобарная теплоемкость пара, проходящего через пакет, $кДж/(кг \cdot {}^0C)$;

F_{IN}, F_{OUT} – соответственно внутренняя и наружная поверхности змеевиков пакета, омываемые, соответственно, паром и дымовыми газами, $м^2$;

G_M – масса металла змеевиков пакета, $кг$;

l – длина пути пара от входа до выхода из обогреваемой поверхности нагрева, м;

w – средняя скорость пара, м/с;

$$\alpha_{IC} = \frac{\alpha_2}{1 + \frac{0,2 d_{IN} \alpha_2}{\lambda_M} \ln \frac{d_{EX}}{d_{IN}}}; \quad (8)$$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к пару на внутренней поверхности змеевиков, $кДж/(м^2 \cdot ч \cdot {}^0C)$;

λ_M – коэффициент теплопроводности металла змеевиков при его средней температуре, $кДж/(м \cdot ч \cdot {}^0C)$;

d_{IN}, d_{OUT} – внутренний и внешний диаметры змеевика, м.

Коэффициент усиления по впрыску, ${}^0C/т \cdot ч^{-1}$;

$$k_{vpr} = \frac{i_1 - i_{vpr}}{D_0 C_{STIN}};$$

C_{STIN} – средняя изобарная теплоемкость пара на входе в пакет, $кДж/(кг \cdot {}^0C)$;

i_1 – энтальпия пара перед пакетом за местом впрыска, $кДж/кг$;

i_{vpr} – энтальпия впрыскиваемой воды (впрыскиваемого конденсата), $кДж/кг$.

Коэффициент усиления по расходу пара, ${}^0C/т \cdot ч^{-1}$ для участков пароперегревателя с конвективным теплообменом рассчитывается по формуле:

$$k_D = \frac{1 + 0,2m}{km}\left(1 - e^{-\frac{km}{1+m}}\right)\frac{\Delta i_{SURF}}{D_0 C_{STOUT}}; \quad (9)$$

где,

C_{STOUT} – средняя изобарная теплоемкость пара на выходе из пакета, $кДж/(кг \cdot {}^0C)$;

Δi_{SURF} – приращение энтальпии в пароперегревателе при стационарном состоянии до возмущения, $кДж/кг$.

Коэффициент усиления по температуре пара, ${}^0C/{}^0C$, для участков с конвективным теплообменом

$$k_T = \frac{C_{STIN}}{C_{STOUT}} e^{-\frac{km}{1+m}}; \quad (10)$$

$$m = \frac{\alpha_1 F_{EX}}{\alpha_2 F_{IN}}; \quad (11)$$

α_1 – наружный коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к стенке змеевика, $кДж/(м^2 \cdot ч \cdot {}^0C)$.

Коэффициент усиления при топочных возмущениях для пароперегревателей с конвективным теплообменом при возмущении температурой газов:

$$k_F = \frac{C_{STIN} + C_{STOUT}}{2C_{STOUT}}\left(1 - e^{-\frac{km}{1+m}}\right). \quad (12)$$

Выражения (1) – (12) заимствованы из [13].

Упростим выражение: $A = \exp -\left(\frac{Tkp}{Tp+1}\right)$ для чего воспользуемся методикой [15].

$$\frac{-Tkp}{Tp+1} = -k\left(1-\frac{1}{Tp+1}\right) = -k+\frac{k}{Tp+1};$$

$$W(p) = e^{\frac{Tkp}{Tp+1}} = e^{-k+\frac{k}{Tp+1}} = e^{-k}e^{\frac{k}{Tp+1}} =$$

$$= \frac{k1e^{-k}e^{-p\tau_1}}{(Tp+1)(T2p+1)} = \frac{e^{-p\tau_1}}{(Tp+1)(T2p+1)}; \qquad (13)$$

$$k1 = e^{k}; k2 = k1\cdot e^{-k} = 1;$$

$$T2 = T\sqrt{2k-1};\ \tau_1 = T\left[\left(k-1\right)-\sqrt{2k-1}\right];$$

Запишем упрощенное выражение для передаточной функции $W_D(p)$, а предварительно введем следующее обозначение:

$$\tau_0 = \tau_1 + t_0$$

$$W_D(p) = \frac{k_{D1}\cdot T22\cdot\left(0,2Tp+1\right)}{(T_d p+1)}\cdot\frac{T11/T22\cdot p^2 + T21/T22\cdot p+1}{(Tp+1)(T2p+1)\left(1+0,5p\tau_0\right)}$$

Где,

$$T_d = \frac{t_0 T}{t_0 T + Tk}, k_{D1} = \frac{-k_D}{2(t_0 T + Tk)};\ T11 = T\cdot T2\cdot\tau_0;$$

$$T21 = \tau_0\cdot\left(T+T2\right)+2\cdot T2\cdot T;\ \ T22 = \tau_0 + 2\cdot(T+T2) + k2\tau_0 = 2(T+T2+\tau_0)$$

3. Синтез системы управления пароперегревателем.

На рис.2. приведена функциональная схема управления пароперегревателем. На этой схеме приняты следующие условные обозначения: *TE* – термопары (установлены после пароохладителя и после пароперегревателя); *FE* – расходомеры (измеряют расход пара и собственного конденсата на впрыск); $SPH1, SPH2$ – первая и вторая секции пароперегревателя по ходу пара; *DSH* – пароохладитель; *COL* – коллектор.

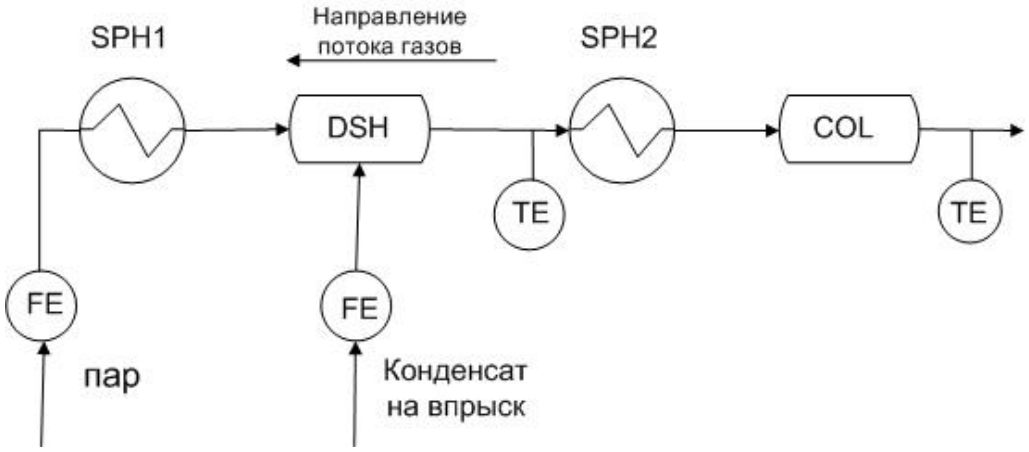


Рис.2. Функциональная схема пароперегревателя как объекта управления.

На рис.3 приведена структурная схема пароперегревателя как объекта управления в системе регулирования температуры.

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

$W_C(p)$ – передаточная функция основного регулятора САР,

p – оператор дифференцирования,

$W2$ – передаточная функция компенсирующего звена расхода пара,

$W3$ – передаточная функция компенсирующего звена температуры дымовых газов, W_{T1}, W_{T2} – передаточные функции термопар,

W_{K1}, W_{K2} – передаточные функции звеньев, компенсирующих инерционность термопар, W_{S-Tin} – передаточная функция, связывающая расход топлива и температуру пара после W_{S-Te} – передаточная функция, связывающая расход топлива и температуру пара после пароперегревателя,

W_{FS2} – передаточная функция, связывающая расход газа и расход пара в канале возмущения на температуры пара после пароохладителя,

W_{FS1} – передаточная функция, связывающая расход газа и расход пара в канале возмущения на температуры пара после пароперегревателя,

W_{T-Tin} – передаточная функция, связывающая температуру дымовых газов и температуру пара после пароохладителя,

W_{T-Te} – передаточная функция, связывающая температуру дымовых газов и температуру пара после пароперегревателя,

T_{ST-PV} – задание температуры пара после пароперегревателя,

пароохладителя,

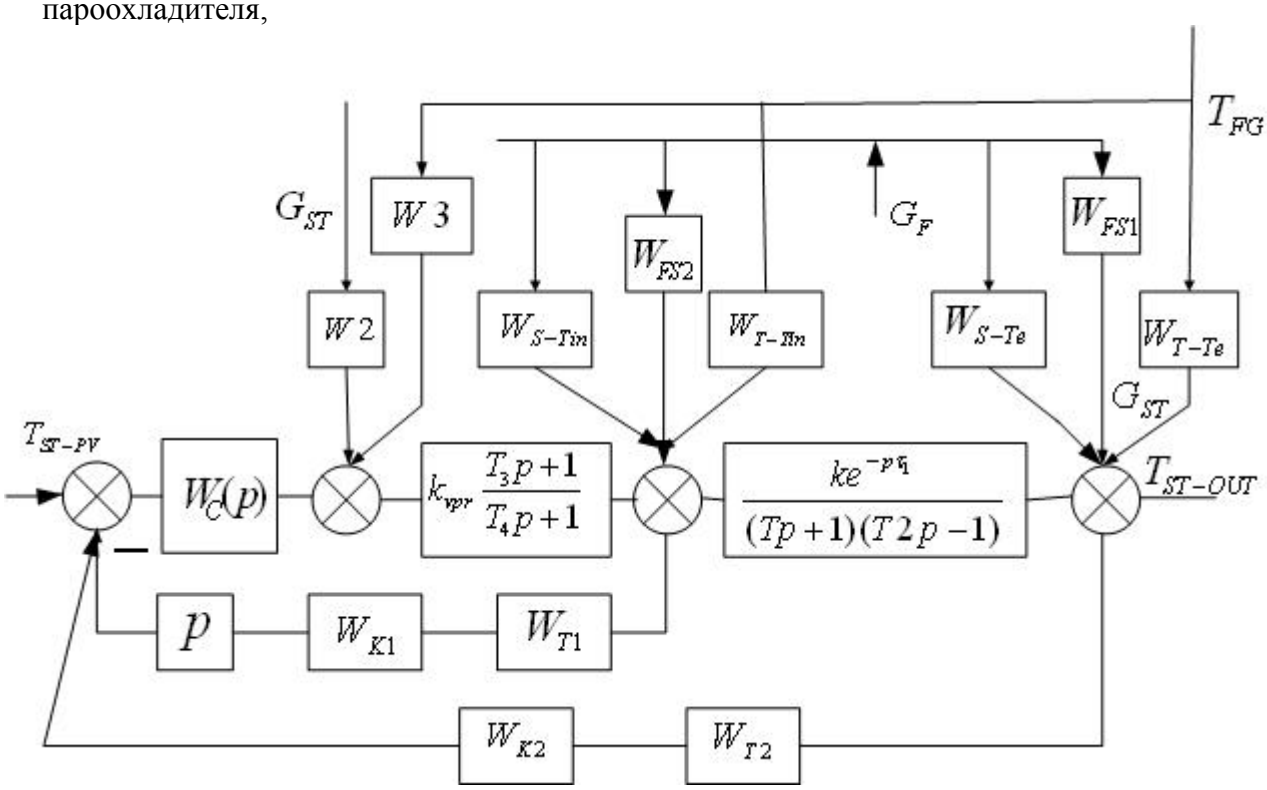


Рис.3. Структурная схема системы управления температурой перегретого пара.

G_F – приращение расхода топлива, G_S – приращение расхода пара, T_S – температура дымовых газов.

Как видно из рассмотрения структурной схемы системы управления пароперегревателем, инерционные звенья, включенные в цепи сигналов главной обратной связи и сигнала опережения по производной сигнала из промежуточной точки, существенно замедляют реакцию системы. Поэтому включим последовательно с этими звеньями, звенья, компенсирующие инерционность термопар.

Передаточная функция компенсирующего звена имеет вид:

$$W_{K2(K3)} = k_T(T_{T2(T3)}p + 1) \qquad (14)$$

В этом уравнении постоянные времени зависят от ряда факторов, определяемых как конструкцией узлов измерения температур, так и скоростью и температурой и давлением перегретого пара. Определение этих постоянных времени представляет собой решение классической задачи параметрической идентификации и не входит в задачу данного исследования.

4. Моделирование системы управления пароперегревателем при детерминированных воздействиях.

На рис.4. приведен результат моделирования системы при задании по температуре пара относительно базового значения -30^{0}C и возмущении по расходу топлива равному 10% от базового значения и возмущении коэффициентом избытка воздуха.

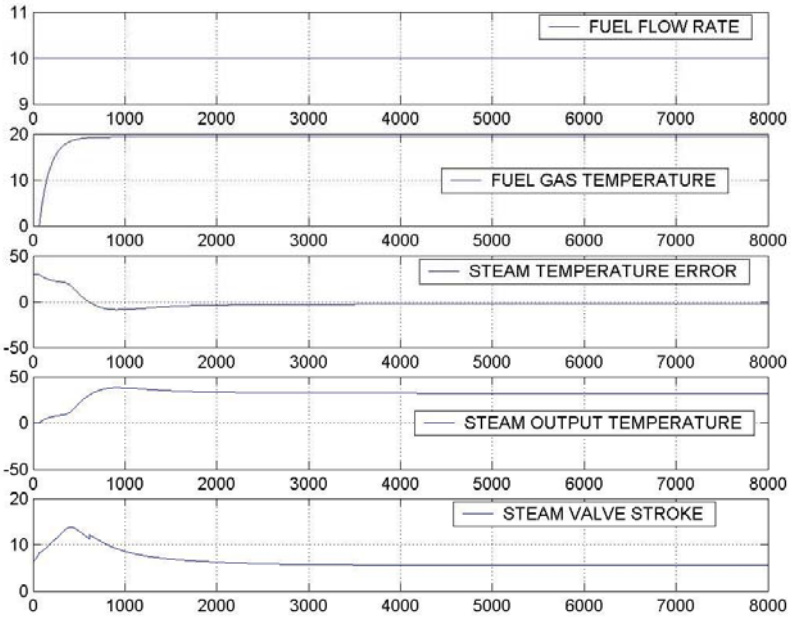


Рис.4. Графики работы модернизированной системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов.

На верхнем графике приведена зависимость расхода топлива от времени (так называемый, единичный скачок). На втором сверху графике приведено изменение температуры дымовых газов при увеличении коэффициента избытка воздуха по

отношению к базовому значению. На третьем сверху графике приведена зависимость ошибки регулирования от времени. На четвертом сверху графике зависимость выходной температуры от времени. На нижнем графике приведена зависимость управления от времени. Время переходного процесса составляет для этого варианта 445,2 с., а значение интегрального квадратичного критерия 1.1874e+004.

На рис.5. приведены графики работы для системы без коррекции при тех же начальных условиях и возмущениях, что в первом примере.

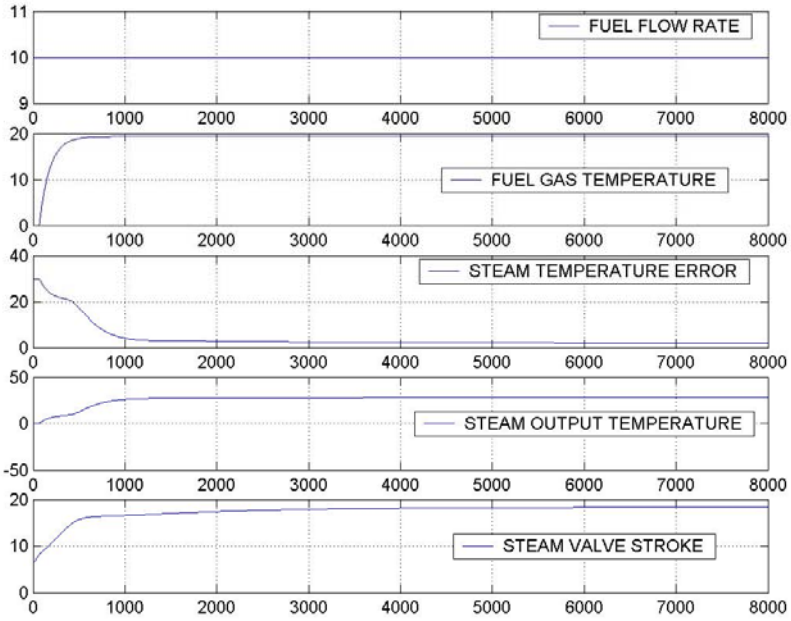


Рис.5. Графики работы типовой системы при ненулевых начальных условиях и постоянно действующих возмущениях.

Для этого варианта расчета время переходного процесса составляет 475,35 с., что больше времени переходного процесса для скорректированной системы на 7%, а значение критерия качества составляет 1.2802e+004, что больше чем у модернизированной системы на 7,8%. Рассмотрим вариант расчета, когда начальные условия отрицательны.

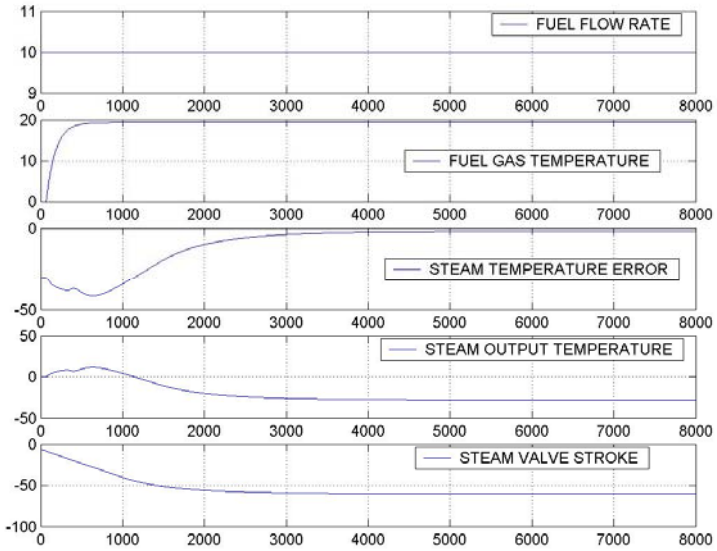


Рис.6. Графики работы модернизированной системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов и отрицательном задании по температуре пара.

Для этого варианта расчета время переходного процесса составляет 639,5 с., значение квадратичного критерия качества составляет 1.7075e+004.

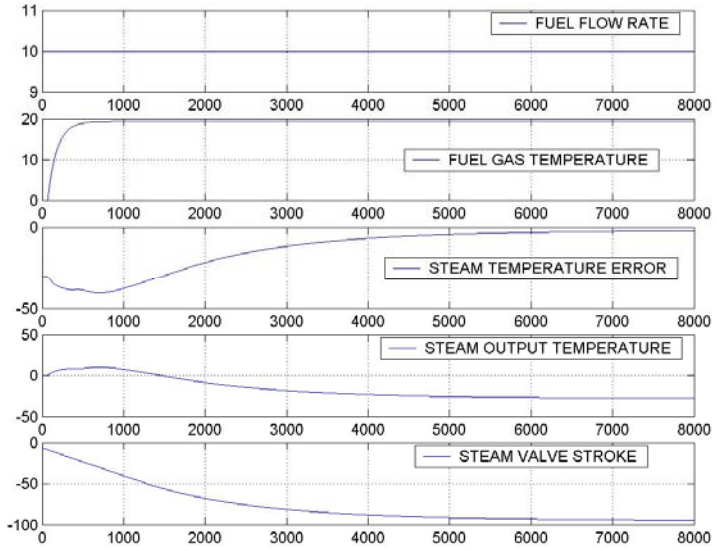


Рис.7. Графики работы типовой системы при отрицательном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов.

Для этого варианта время переходного процесса составляет 1187,1 с, а значение квадратичного критерии я качества - 4.1230e+004, что соответственно на 85,6% и 241,5%: больше, чем у модернизированной системы. Рассмотрим работу модернизированной системы управления при тех же возмущающих воздействиях по расходу пара и температуре дымовых газах, что и в предыдущих примерах, но при нулевых начальных условиях. На рис.8 приведены графики работы для модернизированной системы, а на рис.9 графики работы системы для типовой системы.

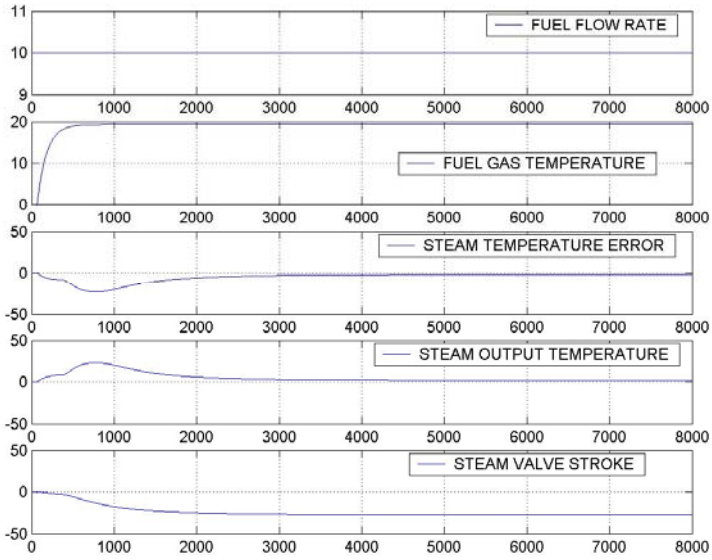


Рис.8. Графики работы модернизированной системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов и нулевых начальных условиях по температуре пара.

Время переходного процесса (время достижения отклонением пара от заданного (базового) значения температуры равного 2^0C) составляет для этого случая 568 с., а значение квадратичного критерия качества (интеграла квадрата рассогласования) равно 1.5158e+004. Рассмотрим тот же вариант расчета, но для типовой системы (рис.9).

Время переходного процесса (время достижения отклонением пара от заданного (базового) значения температуры равного 2^0C) составляет для этого случая 983,4 с., а значение квадратичного критерия качества (интеграла квадрата рассогласования) 2.9140e+004.

Как следует из изложенного, время переходного процесса для модернизированной системы сократилось на 73%, а значение квадратичного критерия качества сократилось на 92%. Как известно [20], снижение температуры пара на 10^0C эквивалентно перерасходу топлива на 0,2%. Так как происходит уменьшение величины критерия качества в модернизированной системе, по сравнению с типовой, следовательно, при сбросах нагрузки происходит **экономия тепловой энергии** (за счет снижения отрезка времени, в течение которого снижается температура пара). При набросах нагрузки за счет снижения времени превышения температурой пара заданного значения повышается долговечность пароперегревателя.

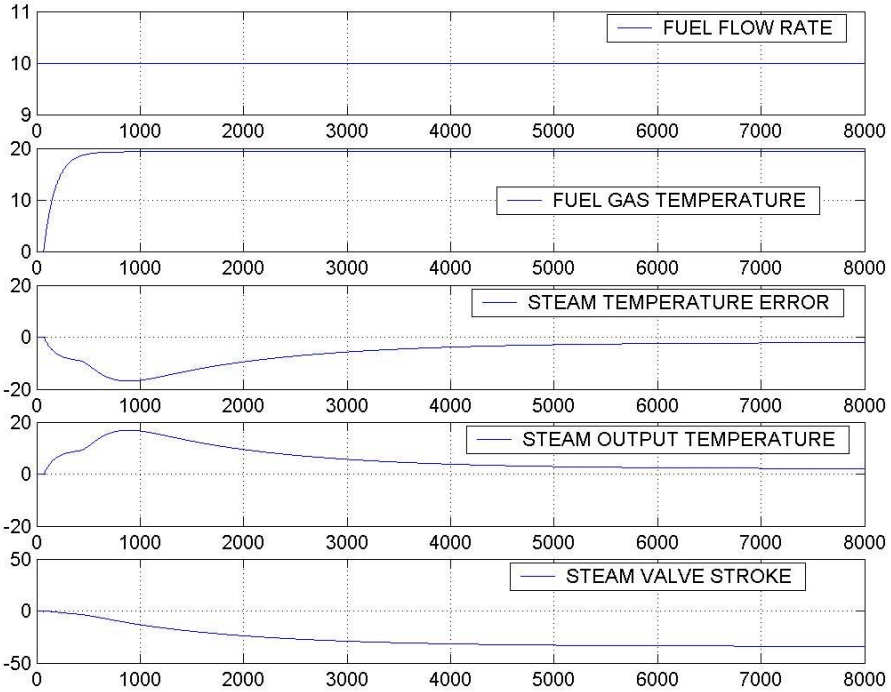


Рис.9. Графики работы типовой системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов и нулевых начальных условиях по температуре пара.

Рассмотрим влияние на температуру пара изменения температуры дымовых газов, возникающей при работе подсистемы регулирования «топливо- воздух».

Обозначим:

G_G – расход природного газа на котел;

G_A – расход воздуха на котел;

k_e – отношение массового расхода воздуха к расходу газа, необходимое для обеспечения стехиометрического режима сгорания газа;

T_G, T_A – температуры газа и воздуха, поступающие на горение, соответственно;

c_G, c_A – изобарные теплоемкости газа и воздуха, соответственно;

B_G – удельная теплота сгорания природного газа.

Запишем уравнение материального баланса между теплом, уходящим с дымовыми газами и теплом, приходящим с воздухом и газом, поступающим на горение.

$$G_G T_G c_G + G_A T_A c_A + \eta G_G B_G = (G_G + G_A) T_{GF} c_{GF} \qquad (15)$$

Пренебрежем изменением КПД котла при изменении его нагрузки, а также изменением температур воздуха и газа, поступающими на горение, присосами воздуха по тракту котла, потерями тепла с химическим и механическим недожогом, и определим зависимость температуры газов в зависимости от изменения соотношения воздух – газ.

Обозначим коэффициент избытка воздуха - α .

Тогда

$$G_G T_G c_G + G_G \alpha k_e T_A c_A + \eta G_G B_G = (G_G + \alpha k_e G_G) T_{GF} c_{GF} \quad (16)$$

Сократим выражение (16) на G_G.

В результате получим:

$$T_G c_G + \alpha k_e T_A c_A + \eta B_G = (1 + \alpha k_e) T_{GF} c_{GF} \ \textit{или}$$
$$T_{GF} = \frac{T_G c_G + \alpha k_e T_A c_A + \eta B_G}{(1 + \alpha k_e) c_{GF}}; \quad (17)$$

Определим зависимость между приращением температуры дымовых газов и коэффициентом избытка воздуха, для чего продифференцируем второе выражение в (17) по α.

В результате получим:

$$\Delta T_{GF} = \left(\frac{\partial T_{GF}}{\partial \alpha} \right)_0 \Delta\alpha = \frac{T_A c_A \left((1 + \alpha_0 k_e) c_{GF} \right) - c_{GF} \left(T_G c_G + \alpha_0 k_e T_A c_A + \eta B_G \right)}{\left[(1 + \alpha_0 k_e) c_{GF} \right]^2} \Delta\alpha = k \Delta\alpha; \quad (18)$$

Индекс «0» при α_0 означает, что мы рассматриваем динамику процессов в относительной близости от некоторого установившегося режима работы котла, принятого за базовый.

Так как процессы в следящих системах «топливо воздух», в основном, имеют линейный характер, то оператор, связывающий изменение рассогласования коэффициента избытка воздуха и температуру дымовых газов T_{FG}, является линейным, т.е.,

$$W_{TFG-\alpha} = \frac{T_{FG}(p)}{\Delta\alpha(p)} = \frac{k}{T_{DG} p + 1}; \quad (19)$$

Величина T_{DG} определяется инерционностью топки.

Так как канал, по которому движутся дымовые газы, имеет сложную форму, присутствуют пульсации давления в газовоздушном тракте, то измерение температуры газов в одной точке, является непредставительным, а измерение температуры в нескольких точках с последующим осреднением может потребовать большого количества точек измерения и дорого. В связи с этим, вычисление коэффициента избытка воздуха и последующее вычисление отклонения температуры газов от базового значения и введение соответствующего корректирующего воздействия на впрыск является рациональным способом компенсации влияния температуры дымовых газов на температуру пара.

Составим условие полной инвариантности выходного сигнала относительно температуры дымовых газов:

$$W_{TFG-\alpha} W_{T-Te} = W3 W_{TH} W_{SH} \quad (20)$$

Из этого выражения можно вычислить $W3$.

$$W3 = \frac{W_{TFG-\alpha} W_{T-Te}}{W_{TH} W_{SH}} = \frac{kK1\left(T_4 p + 1\right) k2(Tp + 1)(T2p + 1)(2 + p\tau_0)}{k_{vpr}\left(T_{DG} p + 1\right)\left(T_{FG-Te} p + 1\right)\left(T_3 p + 1\right)(2 - p\tau_0)}; \qquad (21)$$

Выражение (21) является сложно реализуемым, поэтому ограничимся следующим представлением $W3$.

$$W3 \approx K3, \qquad (22)$$

где $K3$ является функцией расхода пара и конструктивных параметров пароперегревателя и должно определяться в результате идентификационных экспериментов.

Корректирующие связи по расходу пара и температуре дымовых газов обеспечивают снижение времени переходного процесса регулирования температуры пара и повышение качества переходного процесса, величина интегрального квадратического критерия снижается от 7 до 37%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан новый закон регулирования температуры перегретого пара на базе которого синтезирована система управления, позволяющая повысить точность поддержания температуры пара на выходе пароперегревателя до 2 гр.С (при норме до 4,5 гр.С), сократить до 2 раз длительность переходных процессов, повысить качество управления котлом, что позволит снизить расход топлива при работе котла за счет уменьшения периодов времени при которых происходит снижение температуры пара ниже допустимого значения.

Разработан новый метод компенсации инерционности сигналов термопар и инерционности канала влияния расхода пара на температуру пара после пароперегревателя (функциональной зависимости температуры пара на выходе пароперегревателя от расхода пара). Использование методов компенсации: инерционности сигналов термопар в пароперегревателе; инерционности сигнала расхода пара, позволяет сократить до 2 раз длительность переходных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988.-528с.
2. Субботина Н.П. Водный режим и химический контроль на ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
3. Energy Efficiency Handbook /Alliance to Save Energy, Council of Industrial Boiler Operators, U.S. DOE Office of Industrial Technologies. - 1998. - 64 p.
4. Пухов Г.Е., Жук К.Д. Синтез многосвязных систем управления по методу обратных операторов. «Наукова Думка», Киев, 1966.
5. Бессекерский В.А. Цифровые автоматические системы. Наука, М., 1976, с.576.
6. Давыдов Н.И., Тюпина Т.Г. Исследование системы регулирования температуры пара с двумя опережающими скоростными сигналами. Теплоэнергетика, №10, 2002, с.17-21.

7. Холщев В.В. Регулирование температуры перегретого пара на барабанном котле. Теплоэнергетика, №8, 2003, с.39-43.

8. Пикина Г.А., Чикунова А.М. Математические модели противоточного конвективного пароперегревателя котла в системе регулирования температуры. Теплоэнергетика, №8, 2002, с.25-33.

9. Пикина Г.А. Сравнительный анализ линейных моделей противоточного конвективного пароперегревателя котла в системе регулирования температуры. Теплоэнергетика, №10, 2002, с.22-25.

10. Ефимов Н.Н. Основные закономерности изменения количества аккумулированного тепла в пароперегревателях. Теплоэнергетика, №1, 1999, с.36-39.

11. Sang Hyuk Lee, Jaesop Kong, Jin H.Seo Observers for bilinear systems with unknown inputs and application to superheater temperature control. Control Engineering Practice.1997, Vol.5, N4, pp.493-506.

12. Sima W. Numerical modeling of steam superheaters. Energy 26(2001), pp.1175-1184.

13. Клюев А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.-280с.

14. Клюев А.С., Товарнов А.Т. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. М; «Энергия», 1970, 280 с.

15. Шевяков А.А., Яковлева Р.В. Инженерные методы расчета динамики теплообменных аппаратов. Машиностроение, М., 1968., 320 с.

16. Давыдов Н.И. Исследование системы регулирования температуры пара с двумя опережающими скоростными сигналами. Теплоэнергетика, №10, 2002, с.17-21.

ABORDAREA FORMĂRII SISTEMULUI INDICATORILOR ECOLOGICI CA COMPONENTE ALE SISTEMULUI INDICATORILOR SECURITĂȚII ENERGETICE

ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

THE APPROACHES TO FORMATION OF SYSTEM OF ECOLOGICAL INDICATORS AS THE PART OF THE SYSTEM OF INDICATORS OF POWER SECURITY

Быкова Е.В.*, Царану М.Х.**, Кириллова Т.И.*
Институт энергетики АН Молдовы*, Министерство окружающей среды**

Аннотация. В статье выполнена постановка задачи необходимости более детального изучения вопросов экологической безопасности для РМ при анализе энергетической в свете рассмотрения вопроса объединения рынков электроэнергии «Восток-Запад» . Сформирована система индикаторов экологической безопасности. Она включает индикаторы, принятые как единые для всех стран Eurelectric ЕС-СНГ, а также дополнительные индикаторы, и имеет связи с системой индикаторов, используемых для анализа энергетической безопасности РМ. Приведена структура возможного анализа экологической безопасности, подготовлены исходные данные и проведены расчеты для части экологических индикаторов.

Adnotare. În articol este efectuată abordarea necesității studiului mai detaliat al problemelor securității ecologice pentru RM, analizând securitatea energetică în vederea examinării problemei unificării pieţelor energiei electrice „Vest-Est”. A fost format sistemul de indicatori ai securității ecologice. Ea include indicatorii unici acceptați pentru toate ţările Evroelectric UE-CSI, de asemenea si indicatori suplimentari, si legată cu sistemul indicatorilor utilizați la analiza securității energetice a RM. Este dată structura analizei posibile a securității ecologice, sunt pregătite datele inițiale şi efectuate calculele pentru partea indicatorilor ecologici.

The summary. The statement of the task of necessity of more detailed study of questions of ecological security for RM is executed as the part of energy security in light of consideration of a question of association of the markets of the electric power «East - West" in the article. The system of indicators of ecological security is generated. It includes indicators accepted as uniform for all countries Eurelectric EU-CIS, and also additional indicators, and has interrelations with system of indicators used for the analysis of energy security RM. The structure of the possible analysis of ecological security is given, the initial data are prepared and the accounts for the part of ecological indicators are carried out.

*Ключевые слова.*Энергетическая и экологическая безопасность, индикатор, производство электроэнергии, потребление топлива, загрязнение атмосферы, объединение рынков электроэнергии.

Key words. Energy and ecological security, indicator, manufacture of the electric power, consumption of fuel, emissions, association of the markets of the electric power.

1.Введение

При изучении вопросов энергетической безопасности РМ в составе общей системы рассматривалась и небольшая группа индикаторов, отражающих состояние окружающей среды, а именно – индикаторы, отражающие загрязнение атмосферы-уровни выбросов диоксида углерода на тонну сожженного топлива и в расчете на 1 жителя страны. Недостаточность такого состава индикаторов была очевидна с самого начала. Для полноты необходимо включить индикаторы, отражающие уровни загрязнения литосферы и гидросферы, а также состояние здоровья населения и некоторые демографические и экономические показатели.

Дополнительным стимулом для расширения работы в данном направлении явились вопросы охраны окружающей среды в свете рассмотрения объединения рынков электроэнергии стран ЕС-СНГ, в том числе и Молдовы. Анализ влияния энергетики на окружающую среду для всех стран ЕС-СНГ производится с помощью принятых одинаковых 12 экологических индикаторов.

2. Постановка задачи

Как выяснилось из анализа данных, представленных в [4] и используемых для анализа экологических индикаторов при изучении вопросов объединения рынков электроэнергии стран ЕС-СНГ, по Молдове имеются пропуски и неточные данные. Целью настоящей работы является устранение их и определение подходов по формированию системы экологических индикаторов в контексте проводимого анализа энергетической безопасности.

2.1.Анализ перечня экологических индикаторов, принятых Evroelectric ЕС СНГ к исследованию состояния окружающей среды и возможность их объединения с индикаторами энергетической безопасности Республики Молдова.

Перечень 12 индикаторов, принятых Eurelectric по [4], включает:

1. ВВП, млн. долл. США – исп. данные Eurelectric EURPROG.
2. Энергоемкость ВВП (кВт.ч/долл. США).
   В странах СНГ имеется 2 понятия:
   - энергоемкость т.у.т. (т.н.э./долл. США);
   - электроемкость (кВт.ч/долл. США).
3. Производство электроэнергии, млрд. кВт.ч (включая с.н.).
4. Установленная мощность электростанций.
5. Расход топлива (млн. т.у.т. или млн. т.н.э).(1 т.у.т. = 0,7 т.н.э)
6. Валовые выбросы загрязняющих веществ, тыс.т.
7. Валовые выбросы CO_2, тыс.т.
8. Удельные выбросы загрязняющих веществ (т/ГВт.ч; т/т.у.т, т/т.н.э), (учитывая специфику станции).
9. Объем образования золошлаковых отходов (тыс.т).
10. Объем утилизации золошлаковых отходов (тыс.т).
11. Отходы установок сероочистки (т).
12. Данные о внедрении система экологического менеджмента(СЭМ) на энергопредприятиях (МВт, МВт.ч):

Все указанные индикаторы представлены на 1990, 1995, 2000, 2002.

Основное внимание в анализе уделяется:

- ВВП, млн. долл. США.
- электроемкость (кВт.ч/долл. США) (в данном анализе[4] названа энергоемкостью).
- выбросам CO_2, NO_x и SO_2 (т/ГВт.ч, т/т.у.т, т/т.н.э).

т.е. 1, 2, 7, 8 – индикаторам.

В базовой системе индикаторов (24 индикатора) для анализа энергетической безопасности Молдовы имеются 4 аналогичных индикатора[2]:

- производство электроэнергии;
- установленная мощность электростанций;
- удельные выбросы CO_2 на т.у.т. сожженного топлива;
- расход топлива.

В расширенной системе индикаторов энергетической безопасности, опубликованной в книге [2], предполагается использование еще 5 следующих индикаторов:

- ВВП (блок № 9, 7);
- энергоемкость (блок № 7, 9);
- электроемкость (блок № 7, 9);
- объемы образования и утилизации золошлаковых отходов (блок № 5);
- уровни выбросов не-CO_2 газов от энергетических объектов (блок № 5).

Таким образом, наше видение вопросов охраны окружающей среды в значительной мере совпадает с подходами, рассматриваемыми в странах ЕС и СНГ (9 из 12 индикаторов в нашей структуре присутствуют).

Так как расширенная система индикаторов энергетической безопасности будет рассматриваться с 2006 г., целесообразно дополнить ее теми индикаторами, что приняты к использованию в странах ЕС и СНГ. В нашей структуре эти индикаторы приведены в различных блоках согласно их направленности, и возможно ведение отдельного раздела с выделением 12 указанных индикаторов параллельно нашей структуре, (хотя они названы «экологическими», точнее их назвать индикаторами для анализа экологической безопасности) .

Еще одним проявлением качества окружающей среды является заболеваемость населения, в связи с чем можно включить соответствующий индикатор или несколько их (степень заболеваемости легочными болезнями, уровень смертности на 1000 чел. и др.).

Этот дополнительный раздел можно назвать «экологической безопасностью» и вести соответствующий его анализ, дополняя систему индикаторов, определяя пороговые величины и т.п.

Экологическая безопасность представляет собой состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий [5].

Целью исследований в области экологической безопасности на первый момент является формирование системы индикаторов, банка данных для их расчета и сравнение уровня величин показателей экологической безопасности со средним уровнем аналогичных показателей стран СНГ.

Структура исследований показателей экологической безопасности на текущий момент согласно поставленной цели

2.2. Формирование системы индикаторов экологической безопасности Республики Молдова.

Экологическая безопасность является комплексным понятием, охватывающим различные аспекты охраны окружающей среды, а именно:

- охрана не только атмосферы, но и водного пространства и литосферы;
- вопросы законодательства в области охраны природы;
- вопросы реализации программ экологического мониторинга;
- учет экологических факторов общенационального значения;
- аспекты воздействия вредных веществ на жизнедеятельность человека.

Индикаторы, выбранные к первичному анализу экологической безопасности РМ, отражают все указанные аспекты и поделены на группы в соответствии с направленностью:

- экономическая группа (величина ВВП, энергоемкость и электроемкость ВВП, уровень жизни населения);
- производство электроэнергии и расход топлива (производство электроэнергии, расход топлива, установленные мощности электростанций);
- загрязнение атмосферы (CO_2, NO_x, SO_2, их удельные выбросы на единицу сожженного топлива и на единицу произведенной электроэнергии);
- загрязнение литосферы (объем выбросов золошлаковых отходов и другие);
- загрязнение гидросферы;
- данные об управлении (внедрение системы экологического менеджмента на энергопредприятиях);
- данные о жизнедеятельности населения (уровень смертности, уровень заболеваемости органов дыхания и сердечно-сосудистыми болезнями).

Индикаторы экологической безопасности

Система индикаторов для анализа экологической безопасности РМ включает 12 индикаторов, принятых в ЕС-СНГ, и несколько дополнительных индикаторов, которые, на наш взгляд, необходимо включить, исходя из смысла проведения подобного анализа - определения возможностей нормальной жизни населения в данной экологической среде.

Индикаторы экологической безопасности РМ Таблица 2.2.1

Группа	Индикатор	Единица измерения
1.Экономическая	Валовый внутренний продукт – ВВП	млн. долл. США
	Электроемкость ВВП Энергоемкость ВВП	кВт.ч/долл. США т.у.т./долл. США, т.н.э./долл. США
2.Производство электроэнергии	Производство электроэнергии в Правобережье	млрд. кВт.ч
	Производство электроэнергии в Молдове, всего	млрд. кВт.ч
	Установленная мощность электростанций в Правобережье	МВт
	Установленная мощность электростанций в Молдове, всего	МВт
3.Потребление топлива	Потребление топлива в Правобережье	(млн. т.у.т., или млн. т.н.э., 1 т.у.т. = 0,7 т.н.э.);
	Потребление топлива в Правобережье для производства электроэнергии	тыс. т.у.т.
	Потребление топлива в Молдове, всего	тыс. т.у.т
	Потребление топлива в Молдове для производства электроэнергии, всего	тыс. т.у.т
4.Загрязнение атмосферы	Валовые выбросы CO2 в Правобережье	Тыс.т
	Валовые выбросы CO2 в Правобережье при производстве электроэнергии	Тыс.т.
	Валовые выбросы NOx в Правобережье	Тыс.т.
	Валовые выбросы NOx в Правобережье при производстве электроэнергии	Тыс.т.
	Валовые выбросы SO2 в Правобережье	Тыс.т.
	Валовые выбросы SO2 в Правобережье при производстве электроэнергии	Тыс.т.
	Удельные выбросы на единицу произведенной электроэнергии	т/ГВт.ч
	CO2	
	NOx	
	SO2	
	Удельные выбросы на единицу потребленного топлива для выработки электроэнергии	Кг/т у.т.
	CO2	
	NOx	
	SO2	
5.Загрязнение гидросферы	Величина сбросов загрязненной воды при производстве электроэнергии	
6.Загрязнение литосферы	Объем образования золошлаковых отходов	
	Объем утилизации золошлаковых отходов	
	Отходы установок сероочистки	
	Земельная площадь под объектами энергетики	Тыс кв.км
	Площадь государства	Тыс кв.км
7.Уровень здоровья населения	Уровень смертности населения на 1000 чел	О.е.
	Средняя продолжительность жизни	лет
	Уровень заболеваемости населения сердечно-сосудистыми болезнями	О.е.
	Уровень заболеваемости населения болезнями органов дыхания	О.е.
8.Данные об управлении	Данные о внедрении СЭМ на предприятиях ТЭК	

На данном этапе вопрос о пороговых значениях индикаторов экологической безопасности и определения интегральной оценки не ставится. Однако, заметим, что всеми странами ЕС – СНГ базовой точкой принят 1990 год, в анализе рассматриваются годы 1995, 2000, 2002 и ожидаемая перспектива на 2010, 2020 г,[4].

Ранее в качестве «пороговых» для индикаторов загрязнения действовали предельно допустимые концентрации (ПДК), предельно допустимые выбросы (ПДВ) и некоторые другие величины. Нормативы выбросов пересматриваются через некоторый период (раз в 5 лет).

Рассмотрим подробнее каждую группу индикаторов экологической безопасности.

1. Группа индикаторов «Загрязнение атмосферы».

Это группа представлена наиболее полно в связи с тем, что в Молдове было подготовлено Первое Национальное сообщение по инвентаризации парниковых газов,[1], и Молдова является страной, высказавшейся за присоединение (Accede) к Киотскому Протоколу.

В Первом Национальном сообщении проведена инвентаризация газов 6 видов – 3 прямого действия: CO_2, CH_4, N_2O и 3 – косвенного: CO, NO_x, SO_2 и ЛНОС.

Однако величины выбросов всех не – CO_2 газов не превышают 1 % в эквиваленте CO_2. В энергетике, помимо CO_2, наибольшую долю имеют выбросы SO_2 и NO_x. В дальнейшем рассматриваются именно эти газы.

Для сравнения укажем, что, например, на транспорте «основными» газами являются CH_4, CO, ЛНОС. Для определения индикаторов экологической безопасности будем рассматривать:

- валовые выбросы CO_2, NO_x, SO_2 при производстве электроэнергии;
- удельные выбросы CO_2, NO_x и SO_2 на 1 т.у.т;
- удельные выбросы CO_2, NO_x и SO_2 на 1 кВт.ч.

Источниками информации являются:

- по топливу – ТЭБ (для Правобережья);
- по уже рассчитанным выбросам – 1 Национальное Сообщение (1990÷1998),[1];
- выбросы для других лет рассчитаны по методологии МГЭИК (IPCC-96) для 2000, 2002 г., а также специально рассчитаны для топлив, сожженных с целью получения электроэнергии.

Все выбросы рассчитаны при производстве энергии, и не включают другие виды и категории (сжигание в малых количествах, транспорт и др.).

2. Группа «Производство электроэнергии и расход топлива».

В данный блок входит 3 индикатора:

- производство электроэнергии;
- установленная мощность электростанций;
- расход топлива при производстве электроэнергии.

Указанные индикаторы одновременно являются индикаторами энергетической безопасности, и данные по ним имеются для всех лет [2, 3]. Источниками данных являются данные ГП «Молдэлектрика» и ТЭБ.

3. Группа индикаторов, отражающих экономические факторы.

Данные индикаторы отражают общеэкономический показатель – величину ВВП и величины энерго- и электроемкости ВВП. Последние 2 индикатора являются расчетными по своему смыслу.

Для расчета энергоемкости ВВП рассматривается потребление топлива всего для страны (а не только для производства электроэнергии) и используется формула:

Энергоемкость ВВП = величина потребленного топлива, млн. т.у.т./величина ВВП, млн. $.

Электроемкость ВВП рассчитывается по аналогичной формуле, но в числителе подставляется величина потребленной электроэнергии, млн. кВт.ч.

4. Группа индикаторов «Загрязнение литосферы».

В Правобережье электростанции используют только жидкие и газообразные сорта топлива, поэтому золошлакоотходов нет. В Левобережье МГРЭС в последние годы также работает только на указанных видах топлива и в настоящее время не «дает» выбросов золошлаковых отходов. Однако до 1990 г. уголь активно использовался и большие площади заняты под золошлакоотвалы.

В связи с вышесказанным на текущий момент эти индикаторы имеют значения «0».

5. Группа индикаторов «Данные об управлении» включает индикатор о внедрении системы экологического менеджмента на энергопредприятиях (СЭМ).

СЭМ – это:

- экологический аудит и экологическая оценка;
- экологическая маркировка и декларирование;
- оценка экологической результативности;
- оценка жизненного цикла продукции и услуг;

(примечание: в РФ принят стандарт согласно ISO 14000 на ТЭС, на Украине он принят как национальный).

Состояние данного индикатора в РМ требует изучения.

6. Группа индикаторов «Данные о жизни населения» может включать индикаторы:

- уровня смертности на 1000 чел. населения (источник: Статистический справочник РМ, 2005);
- уровня заболеваемости населения и другие.

2.3.Исходные данные, расчет и анализ значений индикаторов

На данный момент подготовлены исходные данные для части индикаторов из следующих групп (табл.2.3.1-6) на основании данных статистических справочников,ТЭБ, данных ГП «Молдэлектрика» :

-производства электроэнергии;
-потребления топлива;
-загрязнения атмосферы;
-экономической;

1)Данные о производстве электроэнергии в РМ таблица 2.3.1.

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Производство электроэнергии в Правобережье	млрд. кВт.ч	1081.8	1282.4	1349.9	1310.6	1129.569
Производство электроэнергии в Молдове, всего	млрд. кВт.ч	6068.427	6122.262	5273.484	4904.088	4107.291
Установленная мощность электростанций в Правобережье	МВт	436.5	436.5	436.5	436.5	436.5
Установленная мощность электростанций в Молдове, всего	МВт	3002	3002	3002	3002	3002

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Производство электроэнергии в Правобережье	млрд. кВт.ч	901.451	1249.075	1166.708	1038.477	1010.854
Производство электроэнергии в Молдове, всего	млрд. кВт.ч	3621.736	4911.921	4409.24	4055.547	4167.472
Установленная мощность электростанций в Правобережье	МВт	436.5	436.5	436.5	448.5	448.5
Установленная мощность электростанций в Молдове, всего	МВт	3002	3002	3002	3016	3016

Генерирующие мощности РМ за период 1990-2002 не изменялись, в 2003 г. пополнились блоком 12 МВт на Кишиневской ТЭЦ-1. Располагаемая мощность МГРЭС составляет примерно половину от ее установленной величины (2520 МВт), а доля ТЭЦ Правобережья составляет шестую часть от общей установленной мощности в республике и около третьей части располагаемой.

2)Данные о потреблении топлива в РМ* таблица 2.3.2

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Потребление топлива в Правобережье, всего	Тыс т ут	3119,825	3251	3201,1	3155,2	2204,8
Потребление топлива для производства электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс т ут	1422.92	1471.57	1429.73	1284.84	986.946
Потребление топлива для производства только электроэнергии в Правобережье	Тыс т ут	177,352	255,75	301,984	206,782	214,576

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Потребление топлива в Правобережье	Тыс т ут	1886,8	2054,7	2215,5	2442,7	2533,6
Потребление топлива для производства электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс т ут	703.44	845.19	778.464	762.4	740,.636
Потребление топлива для производства только электроэнергии в Правобережье	Тыс т ут	232,898	352,408	299,318	272,776	287,778

**)согласно ТЭБ*

Суммарное потребление топлива за 1995-2004 гг снизилось на 18%, а для производства энергии- в 2 раза. Доля топлива, используемого для выработки энергии, снизилась с 45% до 29% в общем потреблении. Это произошло в связи с имевшей место недогрузкой собственных источников и увеличением доли импортируемой электроэнергии.

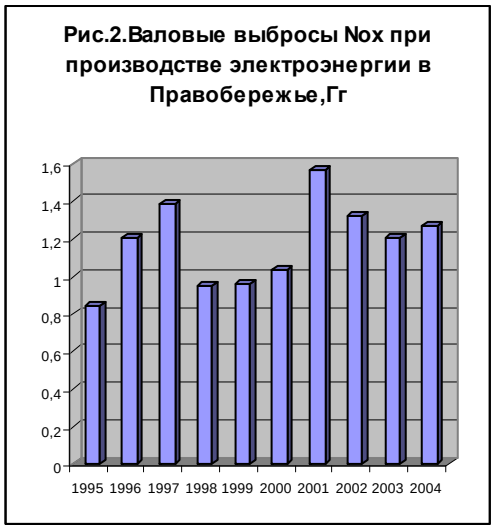
3).Данные о загрязнении атмосферы рассчитаны на основании методологии МГЭИК, принятой в мире для инвентаризации газов с парниковым эффектом, с использованием национальных коэффициентов преобразования в энергетические единицы для разных видов топлива. Расчеты произведены для **CO_2 ,NOx, SO_2** и для случаев- общее потребление топлива в Правобережье, а также отдельно его потребление для производства энергии и отдельно- электроэнергии. Исходные данные приняты по ТЭБ Департамента статистики (табл.2.3.3-5,рис.1-2).

Выбросы CO2 Таблица 2.3.3

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Валовые выбросы CO2 в Правобережье	Тыс.тонн	6009.06	6182.18	5932	5096.72	3915.45
выбросы CO2 при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс тонн	2602.26	2668.07	2531.65	2255.51	1705.91
выбросы CO2 при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	315,44	448,02	519,56	356,96	359,7

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Валовые выбросы CO2 в Правобережье	Тыс.тонн	3322.27	3618.36	3959.46	4428.17	4619.85
выбросы CO2 при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс.тонн	1187.45	1410.89	1295.22		
выбросы CO2 при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	384,7	582,94	491,9	448,43	473,00



Выбросы NOx Таблица 2.3.4

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Валовые выбросы NOx в Правобережье	Тыс.тонн	30,35	28,63	27,79	23,42	17,32
выбросы NOx при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс тонн	6,97	7,14	6,78	6,04	4,57
выбросы NOx при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	0,84	1,2	1,39	0,95	0,96

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Валовые выбросы NOx в Правобережье	Тыс.тонн	15,42	16,97	19,18		
выбросы NOx при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс тонн	3,18	3,78	3,5		
выбросы NOx при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	1,03	1,57	1,32	1,2	1,27

Выбросы SO2 Таблица 2.3.5

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Валовые выбросы SO2 в Правобережье	Тыс.тонн	32,89	33,35	25,01	19,22	13,05
выбросы SO2 при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс тонн	19,31	17,82	13,15	10,268	6,18
выбросы SO2 при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Валовые выбросы SO2 в Правобережье	Тыс.тонн	8,89	8,52	10,84		
выбросы SO2 при производстве электроэнергии и теплоэнергии в Правобережье	Тыс тонн	2,63	2,37	1,95		
выбросы SO2 при производстве только электроэнергии в Правобережье	Тыс тонн	0,006	0,006	0	0	0

4)Экономические данные Таблица 2.3.6

Наименование	Ед. изм.	1995	1996	1997	1998	1999
Величина ВВП в Правобережье	Млн дол.	1440	1891.5	1930	1699	1171.3

продолжение

Наименование	Ед. изм.	2000	2001	2002	2003	2004
Величина ВВП в Правобережье	Млн дол.	1288.8	1477.8	1666.2	1958.2	

В дальнейшем планируется продолжение работ по сбору исходных данных для проведения полного анализа индикаторов экологической безопасности в контексте энергетической безопасности

Заключение.

Выделение индикаторов , отражающих влияние энергетических объектов на окружающую среду в отдельный раздел при анализе энергетической безопасности РМ в свете работ, проводимых в странах ЕС-СНГ по объединению энергетических рынков, является актуальным и необходимым. Предложенная система индикаторов взаимосвязана с системой индикаторов энергетической безопасности РМ и включает индикаторы, принятые к рассмотрению в странах ЕС-СНГ. Формирование банка данных для анализа полной системы индикаторов требует подготовительной работы, и на данный момент собраны и подготовлены данные для некоторых групп индикаторов. Произведенный анализ индикаторов, которые удалось рассчитать, показал, что суммарное потребление топлива за 1995-2004 гг снизилось на 18%, а для производства энергии- в 2 раза. Доля топлива, используемого для выработки энергии, снизилась с 45% до 29% в общем потреблении. Это произошло в связи с имевшей место недогрузкой собственных источников и увеличением доли импортируемой электроэнергии.

Величины выбросов парниковых газов при производстве энергии снизились с 2602 Гг(1995) до 1295Гг (2002), в то же время при производстве электроэнергии-возросли с 315 Гг до 491 Гг в связи с некоторым увеличением загрузки собственных источников в последние годы.

Литература

1.Первое Национальное сообщение по изменению климата, 2000, Кишинев, 74 с.

2. Быкова Е.В. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Монография. Кишинев, Типография АН РМ, 2005, 158 с.

3. Постолатий В.М.,Гылка К.И. и др. Анализ состояния энергетического комплекса РМ и пути обеспечения энергетической безопасности. Кишинев, Монография,2001,156 с.

4. Ключевые вопросы охраны окружающей среды при объединении электроэнергетических рынков ЕС и СНГ. Union of the electricity Industry “Eurelectric”, Электроэнергетический Совет СНГ. Совместная рабочая группа ЭЭС СНГ – ЕВРЭЛЕКТРИК «Рынки», ноябрь 2005, 108 с.

5.М.Казачкова. Киотский протокол и его значение для российской экономики. Журнал «Электроинфо», Москва, №12, 2005, с.22-24.

ANALIZA COMPARATIVĂ A INDICATORILOR ECOLOGICI AI MOLDOVEI SI ALTOR ȚĂRI CSI

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ МОЛДОВЫ И ДРУГИХ СТРАН СНГ

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF ECOLOGICAL INDICATORS FOR MOLDOVA AND OTHER COUNTRIES OF CIS

Быкова Е.В.
Институт энергетики АН Молдовы
Кишинев, ул. Академическая,5, (37322) 735388,735386,
e-mail: Elena_Bicova@yahoo.com, vpostolati@cc.acad.md

Аннотация. В работе произведен сравнительный анализ экологических индикаторов , рассчитанных и уточненных для Молдовы, и аналогичных индикаторов стран СНГ. Приведены некоторые общие сведения об энергосистемах стран СНГ(установленные мощности, производство электроэнергии), произведен анализ динамики выбросов парниковых газов-CO_2, NOx ,SO_2 в Молдове и сравнение с уровнем выбросов в других странах СНГ.

Adnotare. În lucrare este efectuată analiza comparativă a indicatorilor ecologici, calculați și precizați pentru Moldova și indicatorilor analogi a țărilor CSI. Sunt prezentate unele informații despre sistemele energetice ale țărilor CSI (puterea instalată, producerea de energie electrică), este efectuată analiza dinamicii emisiei gazelor de seră - CO_2,NOx,SO_2 în Moldova în comparație cu nivelul emisiei altor țări CSI.

The summary. The comparative analysis of ecological indicators designed and specified for Moldova and similar indicators of the countries of CIS is made in the work. Some general items of information about power systems of the countries of CIS (the established capacities, manufacture of the electric power) are given, the analysis of dynamics of emissions GHG- CO_2, NOx, SO_2 in Moldova and comparison with the emissions level in other countries of CIS is made.

Ключевые слова. Энергетическая и экологическая безопасность, индикатор, производство электроэнергии, consum de combustibil потребление топлива, emisia gagelor de sera выбросы газов с парниковым эффектом, объединение рынков электроэнергии ЕС-СНГ.

Key words. Energy and ecological security, indicator, manufacture of the electric power, consumption of fuel, emissions GHG, association of the markets of the electric power of the EU - CIS.

Cuvinte cheie: unificarea pieţelor de energie electrică UE-CSI

Введение. Целью настоящей работы является уточнение значений экологических индикаторов, принятых к анализу при рассмотрении вопросов охраны окружающей среды при объединении энергетических рынков ЕС-СНГ и заполнение пропусков по значениям индикаторов для Молдовы, в первую очередь., по величинам выбросов парниковых газов, которые приведены в [4]. Сравнение значений индикаторов в Молдове с аналогичными индикаторами стран СНГ и выявление общей картины является второй целью настоящей работы.

Первым шагом по определению уровня вклада Молдовы в экологические угрозы, имеющие место на территории СНГ, является сравнение по установленной мощности, величине выработки электроэнергии, территории и численности населения по сравнению со странами СНГ (табл.1).

Некоторые общие сведения о странах СНГ Таблица 1

№	страна	Выработка** электроэнергии	Установл. мощность	площадь территории	Численность населения	Численность населения	выработка* электроэнергии	выработка электроэнергии

		млрд.кВт*ч 1979 г	МВт	тыс. кв.м.	1981 г млн чел	на 1 кв. км	на душу населения квт*ч/чел в год	на душу населения квт*ч/чел в месяц
1	Азербайджан	**15,2**	5683	86,6	***6,2***	0,0716	2451,61	204,30
2	Армения	**12,1**	3199	29,8	***3,119***	0,1047	3879,45	323,29
3	Беларусь	**32,8**	7736,2	207,6	***9,675***	0,0466	3390,18	282,52
4	Грузия	**13,8**	4411	69,7	***5,071***	0,0728	2721,36	226,78
5	Казахстан	**59,7**	18598	2717,3	***15,053***	0,0055	3965,99	330,50
6	Киргизия	**7,8**	3747,2	198,5	***3,653***	0,0184	2135,23	177,94
7	Молдова	**14,2**	3016	33,7	***3,995***	0,1185	3554,44	296,20
8	Россия	**766**	214400	17075,4	***139,2***	0,0082	5502,87	458,57
9	Таджикистан	**10,6**	4422	143,1	***4,007***	0,0280	2645,37	220,45
10	Туркмения	**6,4**	2652	488,1	***2,897***	0,0059	2209,18	184,10
11	Узбекистан	**33,7**	11558	477,4	***16,158***	0,0338	2085,65	173,80
12	Украина	**231**	51046,5	603,7	***50,135***	0,0830	4607,56	383,96
	Всего, СНГ	**1203,3**	330468,9	22130,9	***259,163***	0,011710459	4643,02	386,92

*)расчеты выполнены в предположении, что численность населения в 1979 была примерно равна численности в 1981г и являются ориентировочными

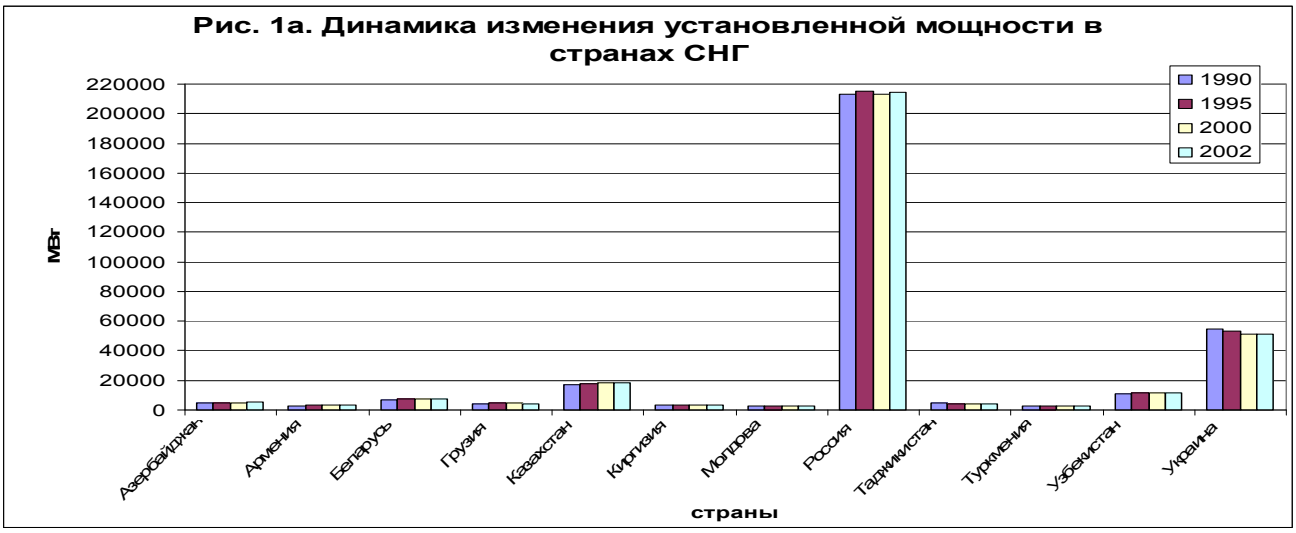
**)данные согласно Энциклопедического словаря [6]

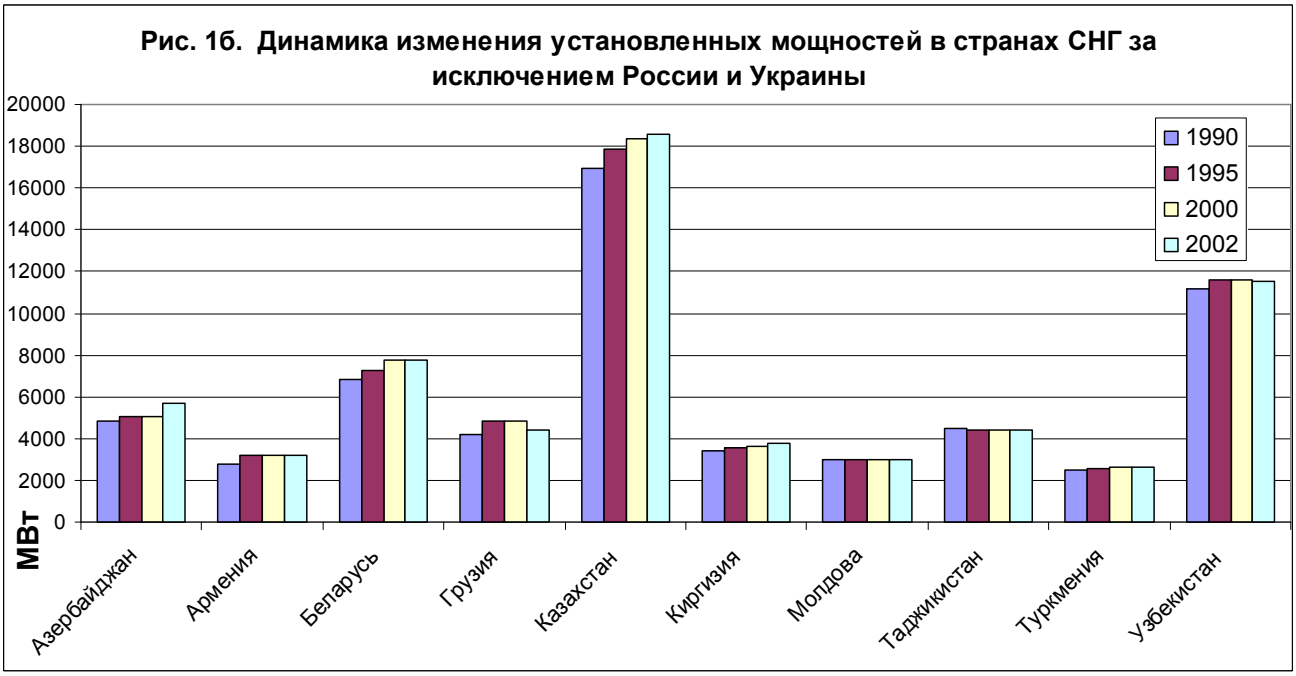
Динамика установленной мощности электростанций стран СНГ, МВт ** Таблица 2

Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	4821	5054	5045	5683
Армения	2800	3185	3190	3199
Беларусь	6828.35	7292.2	7769.9	7736.2
Грузия	4228	4826	4826	4411
Казахстан	16954	17845	18361	18598
Киргизия	3387.3	3591.3	3646.7	3747.2
Молдова*	3002	3002	3002	3002
В т.ч. Молдова (Правобережье)	*436*	*436*	*436*	*448*
Россия	213300	214900	213300	214400
Таджикистан	4449	4413	4424	4422
Туркмения	2461	2529	2652	2652
Узбекистан	11170	11583	11583	11558
Украина	54699	53121	50929	51046.5
Всего*	328099,8	331341,5	328728,6	330454,9

*)значения по Молдове уточнены

**)данные по СНГ приняты согласно [4]. Для Молдовы величины уточнены, заполнены пропуски в данной и последующих таблицах.





Суммарная установленная мощность источников стран СНГ составила в 2002 порядка 330 ГВт (табл. 2 и рис.1а и 1б). На долю России приходится 2/3 всех генерирующих мощностей, Украины- 1/6 части, Казахстана-порядка 5%, Узбекистана- около 3%, доли остальных стран в совокупности составляют- около 11% , в том числе Молдова-0,9%.

Однако типы электростанций по каждой стране разные, поэтому картина по другим индикаторам не повторяет данную ситуацию.

Вместе с тем, из анализа таблицы 1 видно, что выработка на душу населения по странам СНГ, несмотря на разную территорию, географические условия (рельеф, реки и т.д.), численность населения и типы электростанций , в 80 годы была примерно на одинаковом уровне во всех странах.

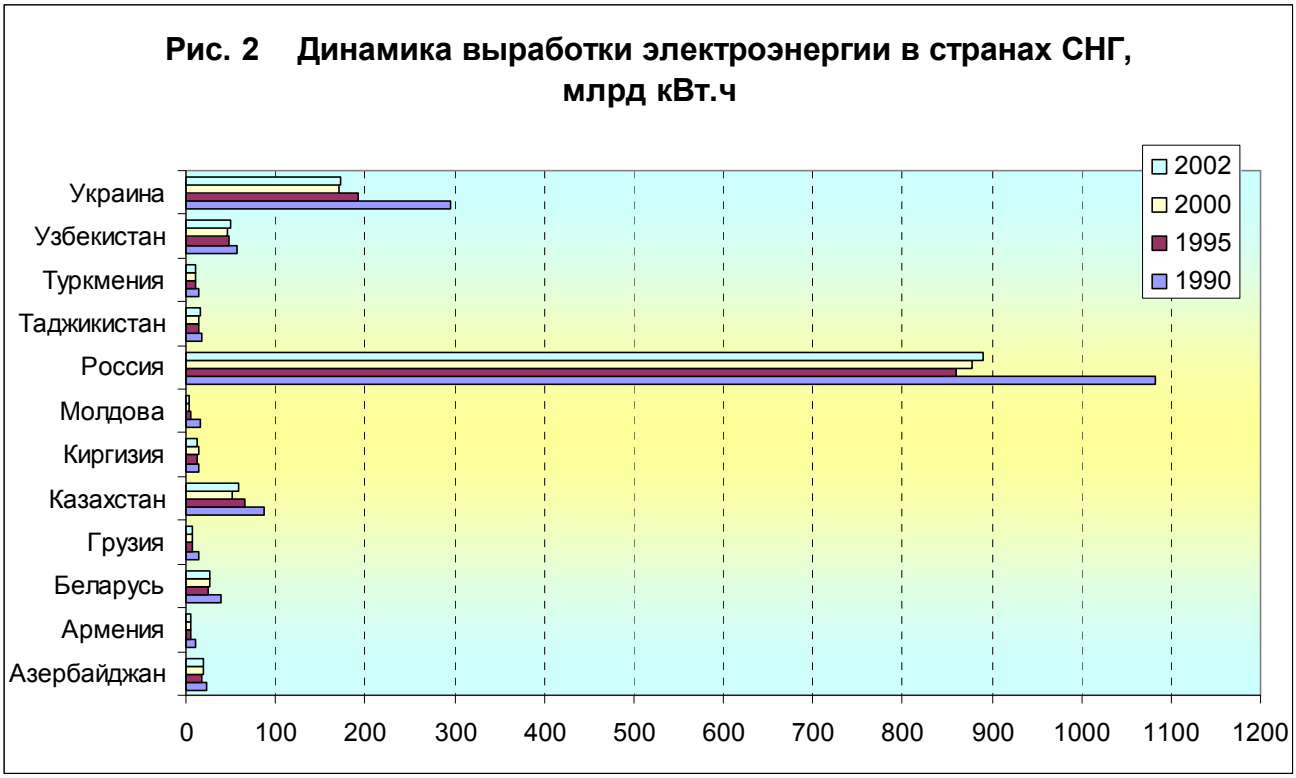
Динамика производства электроэнергии в странах СНГ, млрд. кВт*ч Таблица 3.

Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	23,2	17	18,7	18,7
Армения	10,4	5,6	6,0	5,5
Беларусь	39,51	24,95	26,03	26,2
Грузия	14,2	7,1	7,4	7,2
Казахстан	87.,4	66,7	51,6	58,3
Киргизия	13,4	12,3	14,9	11,9

Молдова*	15,69	6,18	3,62	4,41
В т.ч. Молдова (Правобережье)		1,0818	0,901	1,166
Россия	1082	860	877,8	890,6
Таджикистан	18,1	14,8	14,24	15,3
Туркмения	14,6	9,9	9,8	10,6
Узбекистан	56,3	47,4	46,9	49,3
Украина	296,3	192,6	170,7	173
Всего*	1671	1265	1248	1271

*)значения по Молдове в [4] , откуда приведены данные этой таблицы, соответствуют статистическим данным в Молдове. Выделено производство электроэнергии в Правобережье.

Рис. 2 Динамика выработки электроэнергии в странах СНГ, млрд кВт.ч

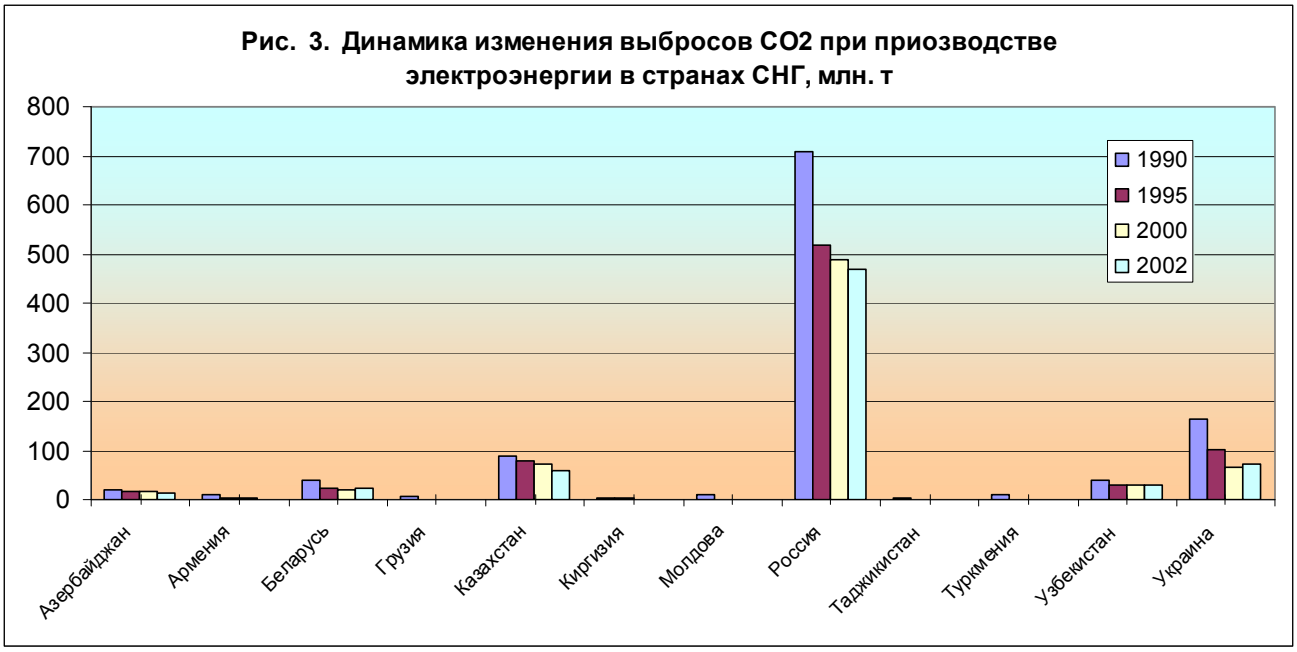


Динамика валовых выбросов CO2 странах СНГ, образованных при производстве электроэнергии, млн.т.

Таблица 4

Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	20,8	15,4	15,7	14
Армения	8,3	2,2	1,7	1
Беларусь	39,7	23,6	20,9	21,4
Грузия	5,9	0,7	1,1	0,2
Казахстан	90,1	77,9	72,7	57,8
Киргизия	4,6	1,8	1,5	1,4
Молдова*	10,8	(ээ+ТЭ) 2,6	(ээ+тэ) 1,187	(ээ+тэ) 1,295
В т.ч. Молдова (Правобережье)		Ээ 0,315	Ээ 0,3847	Ээ 0,4919
Россия	708,5	516,9	487,8	470,2
Таджикистан	1,8	0,2	0,3	0,1
Туркмения	8,7			
Узбекистан	39,6	28,3	29,4	29,4
Украина	164,2	101	64,4	71,4
Всего*	1103	770,6	696,6	668,19

*)значения по Молдове уточнены



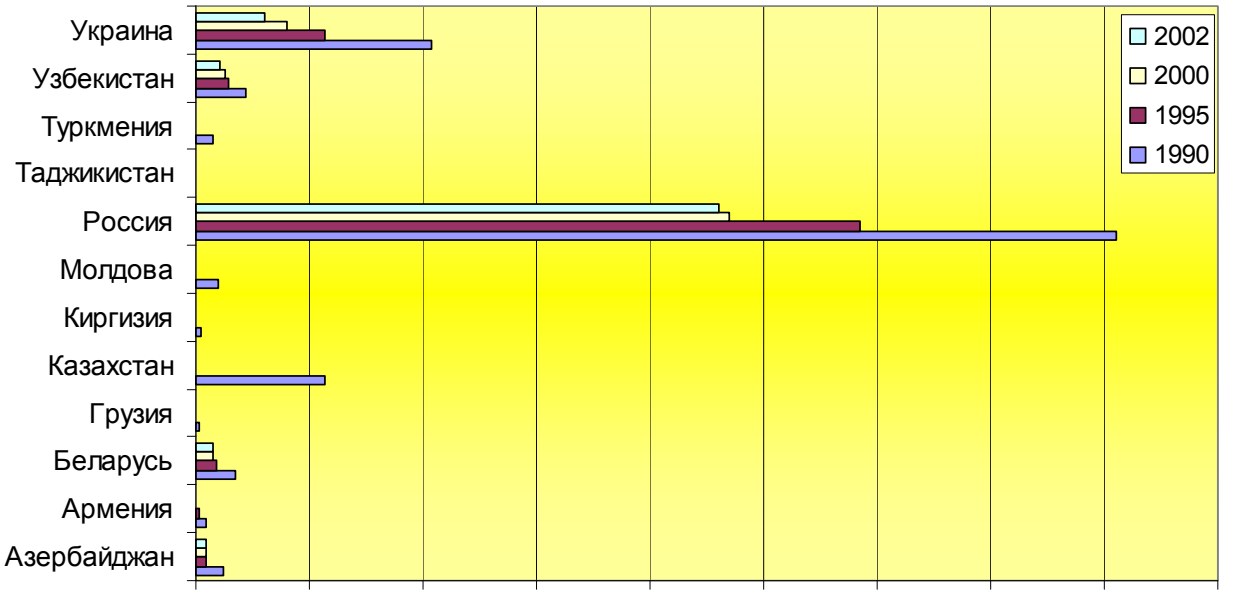
Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 668 млн тонн CO2 по сравнению с 1103 млн тонн в 1990 (снижение на 40%). Наибольшую долю выбросов (70%) вносит Россия ввиду наибольшей величины генерирующих мощностей и, соответственно, производства электроэнергии . Доля Украины составляет-10%, Казахстана-8,5%,Узбекистана-7%, Молдовы-0,1%.

Динамика валовых выбросов NOx странах СНГ, образованных при производстве электроэнергии, тыс.т Таблица 5

Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	48	19	17	18,9
Армения	18,4	4,8	3,6	2
Беларусь	68,5	36,4	30,3	30,9
Грузия	6,5			
Казахстан	228,5			
Киргизия	8,5	2,3	2,3	2,4
Молдова*	40,58	(ээ+ТЭ) 6,97	(ээ+ТЭ) 3,18	(ээ+ТЭ) 3,5
В т.ч. Молдова (Правобережье)		Ээ 0,84	Ээ 1,03	Ээ 1,32
Россия	1620	1170	940	920
Таджикистан	3,4	0,1	0,1	0,02
Туркмения	29,9			
Узбекистан	87,2	57	52,7	42,4
Украина	414,4	226,6	160,6	122,2
Всего*	2573,88	1523,17	1209,78	1142,32

*)значения по Молдове уточнены

Рис. 4 Выбросы NOx при производстве электроэнергии в странах СНГ, тыс т



Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 1142 тыс тонн **NOx** по сравнению с 2572 тыс тонн в 1990 (снижение на 56%).

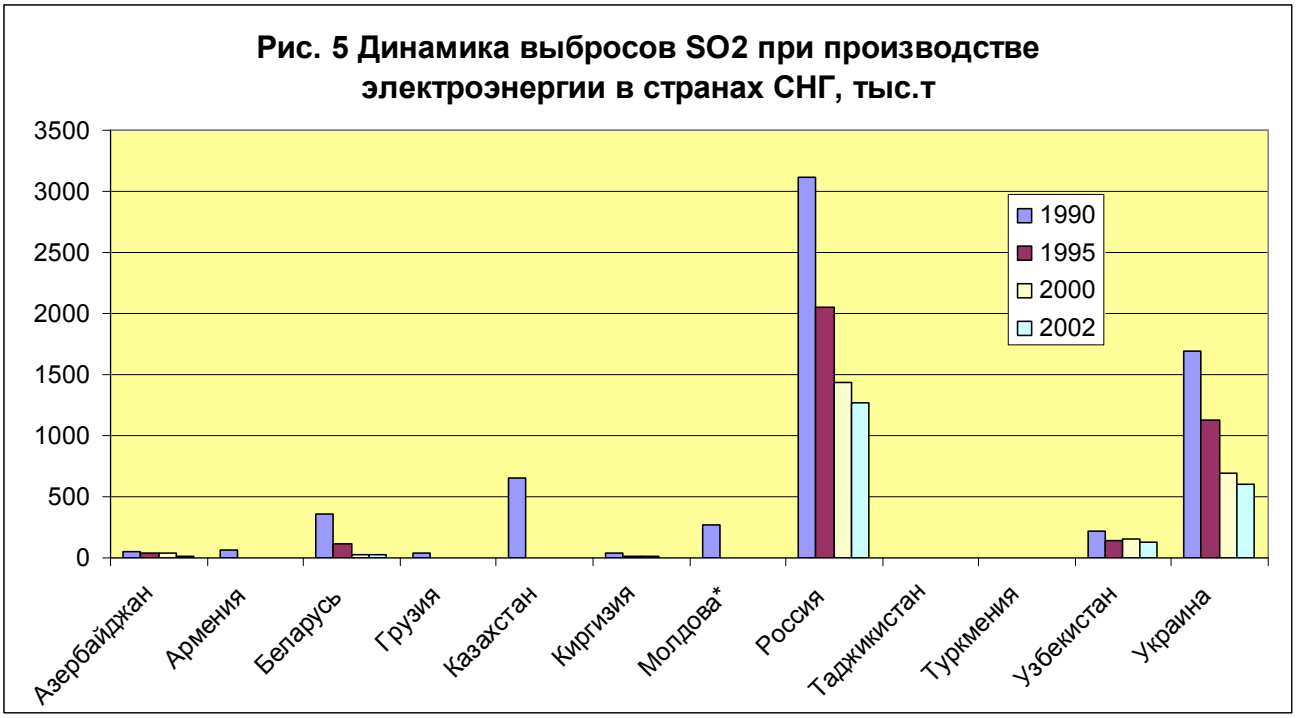
Наибольшую долю выбросов (80%) вносит Россия. Доля Украины составляет-10%, Казахстана- для 2002 г нет данных ,Узбекистана-3,6%, Молдовы-0,3%.

Динамика валовых выбросов SO2 странах СНГ, образованных при производстве электроэнергии, тыс.т Таблица 6

Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	49,4	41,9	32,3	11,4
Армения	63,6	1,2	0,01	
Беларусь	353,8	121	25,4	27,2
Грузия	37,2			
Казахстан	657,6			
Киргизия	34,7	10,6	7,5	6,3
Молдова*	264,84**	(ээ+ТЭ) 19,31	(ээ+ТЭ) 2,63	(ээ+ТЭ) 1,95
В т.ч. Молдова (Правобережье)		Ээ 0,006***	Ээ 0,006	Ээ 0
Россия	3120	2050	1440	1270
Таджикистан	1,7			
Туркмения	0,4			
Узбекистан	224	138	149,9	125,1
Украина	1689,9	1122,2	686,2	602,2
Всего*	6497,14	3517,79	2350,2	2053,04

*)значения по Молдове уточнены **) только для 1990 г- Суммарные выбросы при сжигании топлива в энергетических целях (на электроэнергию, теплоэнергию и прямое сжигание), а не только при производстве электроэнергии для всей территории.

***) значения так малы в связи с тем, что потреблялся практически один природный газ (не содержит серы), а жидких и твердых серосодержащих видов топлива не сжигалось. Данные по топливу, использованные для расчетов выбросов, взяты согласно ТЭБ Департамента Статистики РМ.



Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 2053 тыс тонн **SO2** по сравнению с 6497 тыс тонн в 1990 (снижение на 70%).

Наибольшую долю выбросов (80%) вносит Россия. Доля Украины составляет-30%, Казахстана- для 2002 г нет данных ,Узбекистана-6%, Молдовы-0% ввиду использования практически одного вида топлива –природного газа для производства электроэнергии и крайне малого использования твердых и жидких топлив для этой цели.

Удельные выбросы CO2, SO2, NOx в Правобережье Таблица 7

Удельные выбросы на единицу произведенной электроэнергии	Ед. изм	***1990***	1995	1996	1997	1998	1999
CO2	т/ГВт.ч		291,58	349,36	384,88	272,36	318,44
Nox	т/ГВт.ч		0,776	0,935	1,029	0,724	0,849
SO2	т/ГВт.ч		0,0055	0,0046	0,0044	0,0045	0,0053
Удельные выбросы на единицу сожженного топлива для производства электроэнергии							
CO2	кг/ т у.т.		1778,6	1751,789	1720,489	1726,262	1676,326
Nox	кг/ т у.т.		4,73	4,69	4,6	4,59	4,47
SO2	кг/ т у.т.*		0,145	0,124	0,145	0,198	0,435
*) на серосодержащее топливо-твердое и жидкое							

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Удельные выбросы на единицу произведенной электроэнергии	Ед. изм	2000	2001	2002
CO2	т/ГВт.ч	426,75	466,69	421,61
Nox	т/ГВт.ч	1,142	1,256	1,131
SO2	т/ГВт.ч	0,006	0,0048	0
Удельные выбросы на единицу сожженного топлива для производства электроэнергии				
CO2	кг/ т у.т.	1651,796	1654,162	1643,403
Nox	кг/ т у.т.	4,42	4,45	4,41
SO2	кг/ т у.т.*	1,079	0,62	0
*) на серосодержащее топливо-твердое и жидкое				

Сравнение полученных данных по Молдове с аналогичными данными по странам СНГ приведено ниже в таблицах 8-10.

Динамика удельных выбросов CO2,

т/ГВт*ч **кг/тут** Таблица 8

Страна	1990	1995	2000	2002		Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	897	906	840	749		Азербайджан	2055	2304	2198	2057
Армения	797	401	281	177		Армения	2098	1652	1627	1625
Беларусь	1005	946	803	817		Беларусь	1998	1881	1767	1767
Грузия	415	96	142	31		Грузия	2141	1809	1620	1620
Казахстан	1031	1168	1409	991		Казахстан	2546	2600	2625	2643
Киргизия	344	143	104	119		Киргизия	2059	2236	2135	2023
Молдова*	*822*	*291*	*426*	*421*		Молдова*	*2149*	*1778*	*1651*	*1643*
Россия	655	601	556	528		Россия	2028	2009	2008	1968
Таджикистан	97	16	20	5		Таджикистан	1714	1626	1620	1639
Туркмения	595					Туркмения	1630			
Узбекистан	704	597	627	596		Узбекистан	1843	1751	1747	1734
Украина	554	524	377	413		Украина	2112	2302	2229	2365
Всего в среднем	659,6	474,08	465,41	403,9		Всего в среднем	2031	1829	1768	1757

*)Для Правобережья дополнены для 1995-2002гг

Рис. 6 Величина удельных выбросов CO2 в среднем по СНГ,т/ГВт*ч

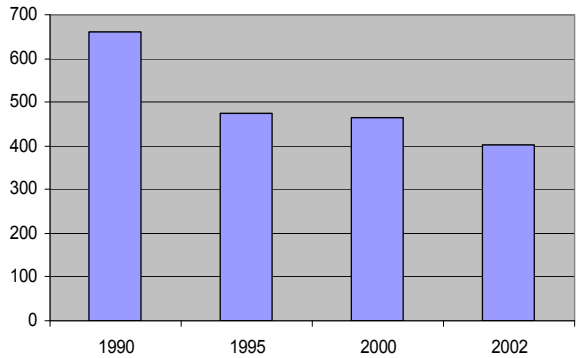
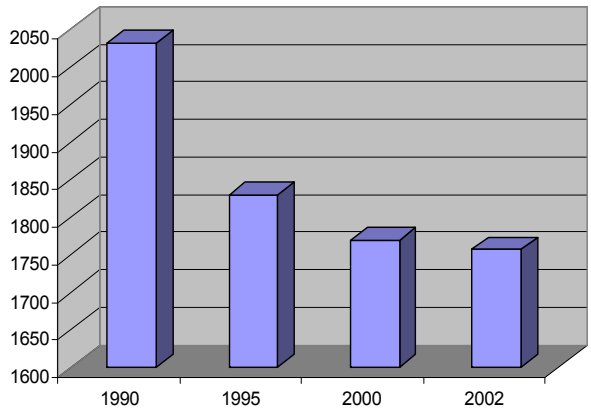
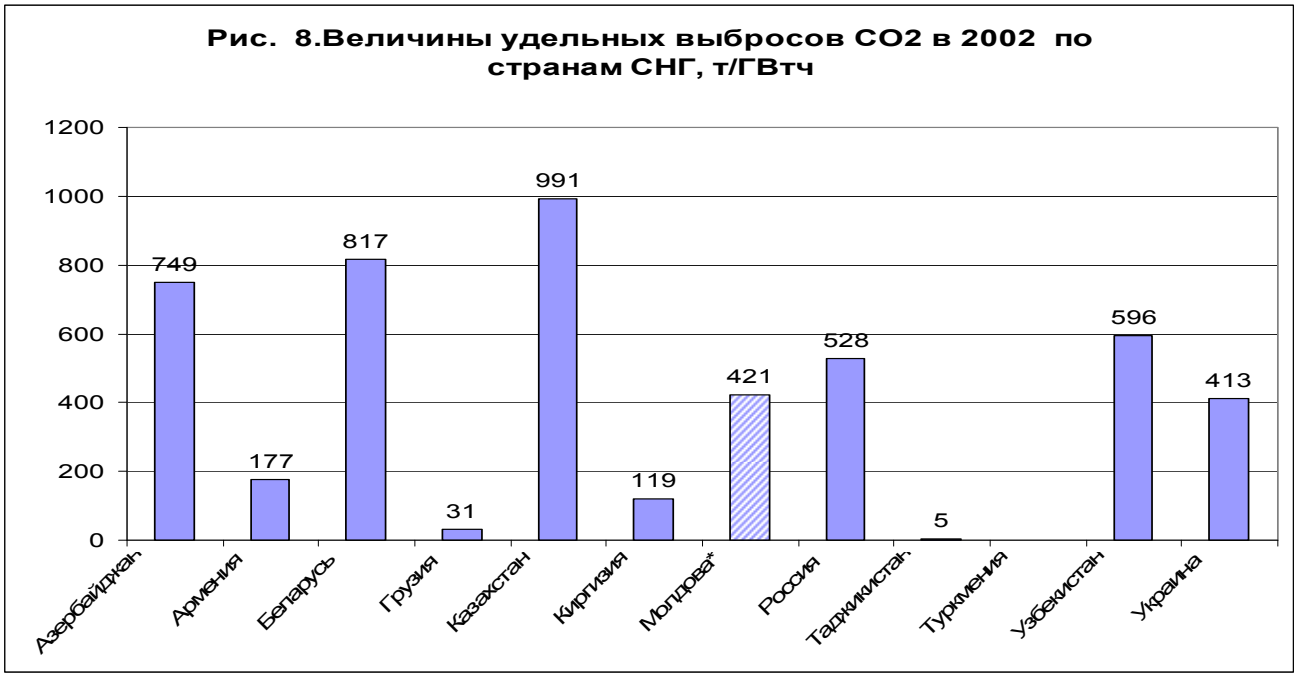


Рис. 7 Величина удельных выбросов CO2 в среднем по СНГ, кг/тут





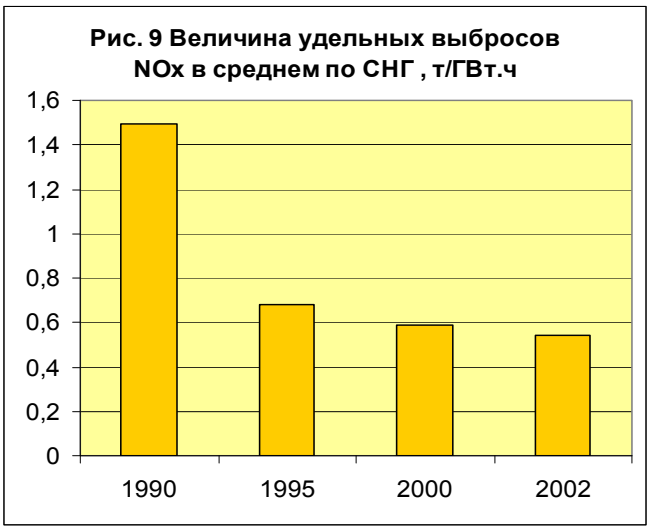
Сравнение удельных выбросов CO2 в т/ГВт.ч для Молдовы в 2002 г показывает среднюю величину (421 т/ГВт.ч) по сравнению с другими странами.

Динамика удельных выбросов Nox **,**

т/ГВт*ч **кг/тут** Таблица 9

Страна	1990	1995	2000	2002		Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	2,07	1,12	0,91	1,01		Азербайджан	4,74	2,84	2,38	2,78
Армения	1,77	0,86	0,6	0,36		Армения	4,66	3,53	3,48	3,34
Беларусь	1,73	1,46	1,16	1,18		Беларусь	3,45	2,90	2,56	2,55
Грузия	0,46					Грузия	2,36			
Казахстан	2,61					Казахстан	6,46			
Киргизия	0,63	0,19	0,15	0,2		Киргизия	3,80	2,92	3,17	3,44
Молдова*	1,96	*0,776*	*1,14*	*1,13*		Молдова*	5,13	*4,73*	*4,42*	*4,41*
Россия	1,5	1,36	1,07	1,03		Россия	4,64	4,55	3,87	3,85
Таджикистан	0,188	0,008	0,007	0,001		Таджикистан	3,32	0,8	0,6	0,37
Туркмения	2,05					Туркмения	5,61			
Узбекистан	1,55	1,2	1,12	0,86		Узбекистан	4,06	3,53	3,13	2,5
Украина	1,4	1,18	0,94	0,71		Украина	5,33	5,17	5,56	4,05
Всего в среднем	1,49	0,67	0,59	0,54		Всего в среднем	4,46	2,58	2,43	2,27

*)Для Правобережья

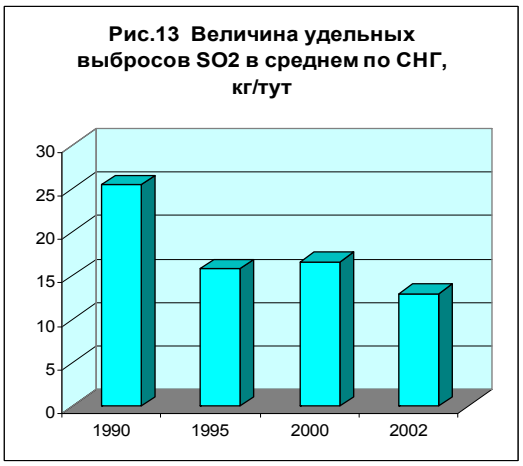


Динамика удельных выбросов ,

т/ГВт*ч **кг/тут** Таблица 10

Страна	1990	1995	2000	2002		Страна	1990	1995	2000	2002
Азербайджан	2,13	2,46	1,73	0,61		Азербайджан	12,92	7,37	5,86	4,8
Армения	6,12	0,21				Армения	22,24	19,54	27,03	
Беларусь	8,95	4,85	0,98	1,04		Беларусь	30,15	29,5	29,77	31,1
Грузия	2,62					Грузия	17,11			
Казахстан	7,52					Казахстан	21,6			
Киргизия	2,59	0,86	0,5	0,53		Киргизия	32,7	23,61	22,03	24,36
Молдова*	10,34	*0,0055*	*0,0066*	*0,0*		Молдова*	46,78	*0,145*	*1,079*	*0*
Россия	2,88	2,38	1,64	1,43		Россия	21,75	20,62	16,38	16,44
Таджикистан	0,094					Таджикистан	11,63			
Туркмения	0,03					Туркмения	5,06			
Узбекистан	3,97	2,91	3,2	2,54		Узбекистан	40,26	47,90	53,43	48,23
Украина	5,7	5,83	4,02	3,48		Украина	43,19	40,71	44,12	30,29
Всего в среднем	4,41	1,62	1,006	0,8		Всего в среднем	25,4	15,7	16,64	12,9

*)Для Правобережья- величины очень малы в связи с тем, что сжигался природный газ, жидкие и твердые виды топлива практически не использовались



Для Молдовы удельные выбросы SO2 т/ГВтч в 2002 г при производстве электроэнергии практически были равны нулю ввиду неиспользования серосодержащих твердых и жидких видов топлива для выработки электроэнергии

Заключение.

Проведенный анализ дает возможность оценить значения некоторых экологических индикаторов Молдовы с аналогичными индикаторами стран СНГ и сделать следующие выводы:

1. Суммарная установленная мощность источников стран СНГ составила в 2002 порядка 330 ГВт . На долю России приходится 2/3 всех генерирующих мощностей, Украины- 1/6 части, Казахстана-порядка 5%, Узбекистана- около 3%, доли остальных стран в совокупности составляют- около 11% , в том числе Молдова-0,9%.

Однако выработка на душу населения по странам СНГ, несмотря на разную территорию, географические условия (рельеф, реки и т.д.), численность населения и типы электростанций , в 80 годы была примерно на одинаковом уровне во всех странах.

2. Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 668 млн тонн **CO2** по сравнению с 1103 млн тонн в 1990 (снижение на 40%). Наибольшую долю выбросов (70%) вносит Россия. Доля Украины составляет-10%, Казахстана-8,5%,Узбекистана-7%, Молдовы-0,1%.

3. Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 1142 тыс тонн **NOx** по сравнению с 2572 тыс тонн в 1990 (снижение на 56%).Доля выбросов в России- 80%, Украины -10%, Узбекистана-3,6%, Молдовы-0,3%.

4. Суммарные выбросы по странам СНГ в 2002 составили 2053 тыс тонн **SO2** по сравнению с 6497 тыс тонн в 1990 (снижение на 70%). Наибольшую долю выбросов (80%) вносит Россия. Доля Украины составляет-30%, Узбекистана-6%, Молдовы-0% ввиду использования практически одного вида топлива –природного газа для производства электроэнергии и крайне малого использования твердых и жидких топлив для этой цели.

5. Сравнение удельных выбросов CO2 в при производстве электроэнергии в т/ГВт.ч для Молдовы в 2002 г показывает среднюю величину (421 т/ГВт.ч) по сравнению с другими странами.

Литература

1.Первое Национальное сообщение по изменению климата, 2000, Кишинев, 74 с.

2. Быкова Е.В. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Монография. Кишинев, Типография АН РМ, 2005, 158 с.

3. Постолатий В.М.,Гылка К.И. и др. Анализ состояния энергетического комплекса РМ и пути обеспечения энергетической безопасности. Кишинев, Монография,2001,156 с.

4. Ключевые вопросы охраны окружающей среды при объединении электроэнергетических рынков ЕС и СНГ. Union of the electricity Industry “Eurelectric”, Электроэнергетический Совет СНГ. Совместная рабочая группа ЭЭС СНГ – ЕВРЭЛЕКТРИК «Рынки», ноябрь 2005, 108 с.

5.М.Казачкова. Киотский протокол и его значение для российской экономики. Журнал «Электроинфо», Москва, №12, 2005, с.22-24.

6.Советский энциклопедический словарь, 1985г, 1600 с.

REGLATOR PARAMETRIC DE PUTERE CU DOUĂ NIVELE DE DIRIJARE LIBERĂ
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ УПРАВЛЕНИЯ
TUNED IPC WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

Kalinin L.P., Zaiţev D.A., Tîrşu M.Ş.

Referat

În articol este examinat principiul de funcţionare al reglatorului parametric de putere cu două nivele libere de dirijare, ce asigură o reglare independentă puterii active şi reactive la ieşire, sunt prezentate ecuaţiile de bază ce determină legătura dintre indicii regimului, de asemenea, şi legile de dirijare în unele din condiţiile stabilite.

Реферат

В статье рассмотрен принцип действия параметрического регулятора мощности с двумя степенями свободы управления, обеспечивающего независимое регулирование активной и реактивной мощности на выходе, приводятся основные уравнения, определяющие связь между показателями режима, а также законы управления при некоторых задаваемых условиях.

Abstract

This paper introduces a new family of IPC-UPFC combination for independent control of active and reactive output power, the control strategy is presented to maintain the required power characteristics.

Cuvinte cheie: Interconectare, transformator cu decalaj al unghiului de fază, conductivităţi reactive conjugate, reglator unificat a puterii.

Ключевые слова: Межсистемная связь, фазосдвигающий трансформатор, сопряженные реактивные проводимости, унифицированный регулятор мощности.

Keywords: Interconnection, Phase Shifting Transformer, Susceptances, Unified Power Flow Controller.

Tehnologia de dezvoltare a IPC* nu exclude posibilitatea îmbinării evidente a familiei de FACTS** - controlere cu alte soluţii tehnice. Unul din variantele de perspectivă a acestei îmbinări poate fi considerată combinarea compusă din IPC şi UPFC***, ce asigură extinderea zonei de reglare a puterii active şi la ieşire din instalaţie, de astfel şi o dirijare independentă pentru fiecare din aceşti parametri de regim. Justificarea acestei afirmaţii poate fi prezentată evident în baza IPC cu caracteristici decalate (Adapted IPC), particularităţile căruia sunt examinate în publicarea fundamentală [1].

Varianta combinată a reglatorului parametric (fig.1) este compusă din transformator cu decalaj de fază (ET) cu unghiul decalajului de fază stabilit (fixat), două conductibilităţi reactive conjugate $(B_1$ şi $B_2)$, instalaţia UPFC alcătuită din invertoarele Inv.1 şi Inv.2, şi transformatorul suplimentar BT, ce asigură o injectare transversal-longitudinală simetrică a tensiunilor de reglare în circuitele conductibilităţilor reactive.

Înfăşurările de tensiune înaltă $(W_1$ şi $W_2)$ a transformatorului cu decalaj de fază ET sunt conectate după schema de poligon. Unghiul fixat de $\psi = 30^\circ$ se stabileşte la $\frac{W_1}{W_2} = 0.366$. Înfăşurările de tensiune joasă W_3 a acestui transformator sunt destinate pentru alimentarea invertorului Inv.1.

---

* - Interphase Power Controllers

* * - Flexible Alternative Current Transmission Systems

* * * - Unified Power Flow Controllers

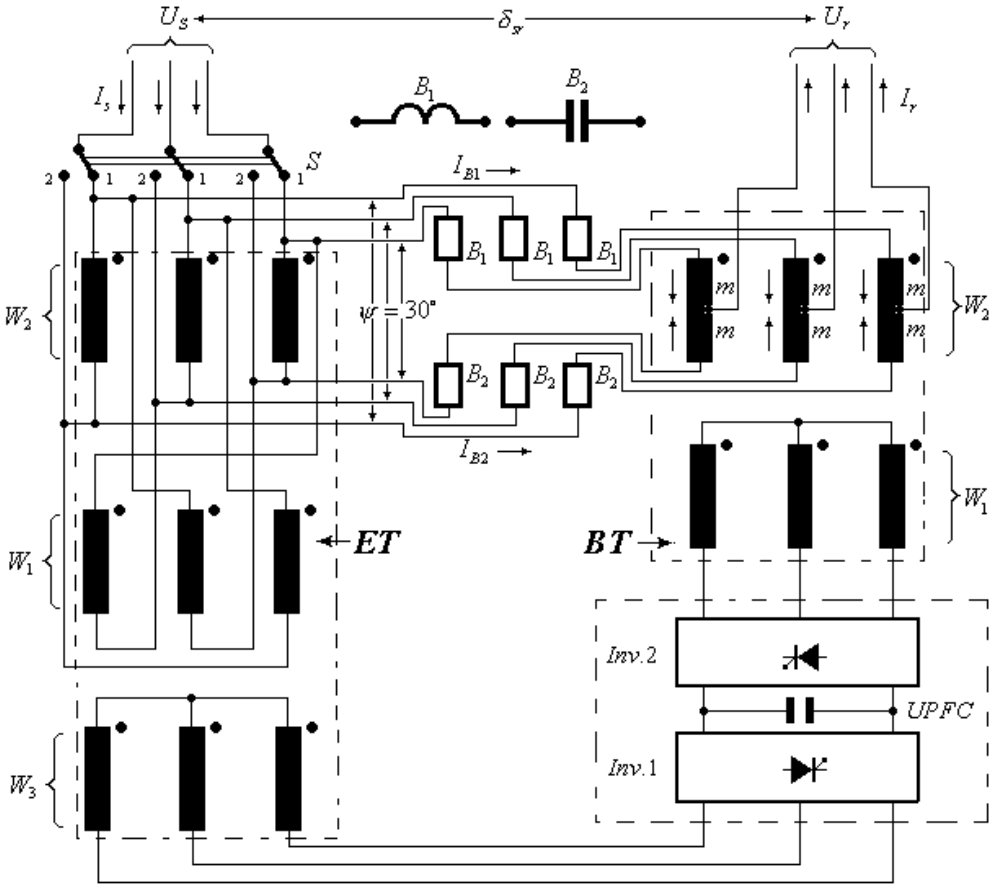


Fig.1

Transformatorul suplimentar BT conţine înfăşurări de tensiune joasă W_1 ce se alimentează de la invertorul Inv.2 şi înfăşurările de tensiune înaltă W_2 cu ramificări de la punctele medii, la care este racordat sistemul trifazat al tensiunilor de ieşire U_r. Capetele respective ale bobinelor W_2 sunt scoase la conductibilităţile reactive conjugate B_1 şi B_2, fapt ce permite reglarea tensiunii aplicate lor. Prezenţa ramificărilor de contact de la punctele medii ale înfăşurărilor W_2 a transformatorului suplimentar este o particularitate esenţială a soluţiei tehnice examinate în comparaţie cu configuraţia tradiţională a transformatorului consecvent UPFC.

Întrerupătorul S efectuează stabilizarea zonei de reglare în dependență de semnul unghiului δ_{sr} dintre tensiunile de intrare (U_s) şi ieşire (U_r) a instalației. Unghiul δ_{sr} se determină de regimul rețelei şi este o coordonată independentă de dirijare.

Poziția întrerupătorului S prezentată în fig.1 corespunde zonei pozitive a valorilor δ_{sr}. Toate caracteristicile de calcul ale instalației examinate în continuare, se vor stabili în această regiune. La trecerea δ_{sr} în zona negativă şi schimbarea poziției întrerupătorului S în altă poziție, aceste caracteristici sunt simetrice.

În procesul cercetării caracteristicilor de regim a combinației IPC-UPFC reieşim din condiția, că instalația UPFC asigură o reglare liberă a vectorului tensiunii suplimentare pe înfăşurarea de tensiune înaltă W_2 a acestui transformator, atât după modul (m), cât şi după unghiul (α). Capacitatea specifică acestei instalații de reglare suplimentară a puterii reactive [2] din contul modificării unghiurilor de aprindere a invertoarelor Inv.1 sau Inv.2 poate fi aplicată pentru reglarea independentă a tensiunilor: U_s - cu ajutorul invertorului Inv.1 şi U_r - cu ajutorul invertorului Inv.2. Convertorul UPFC funcționează în regim al sursei de tensiune.

Principiul de funcționare al instalației IPC-UPFC este explicat de diagrama vectorială a tensiunilor din fig.2.

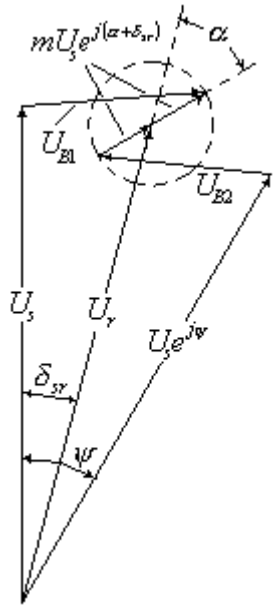


Fig.2

Tensiunea sistemului de transmitere U_s determină regimul de funcționare al transformatoarelor ET şi BT. Vectorul tensiunii de ieşire U_r, interacționând cu doi vectori ai transformatorului suplimentar $mU_s e^{j(\alpha+\delta_{sr})}$, aflați în contact strict între ei, cauzează regimul de funcționare al conductibilităților conjugate B_1 şi B_2. Menținerea regimului de tensiune la ieşire din instalație se exercită din partea nodului de primire al rețelei. Punctele de racordare a sistemului trifazat al tensiunii U_r la ramificațiile intermediare ale înfăşurărilor de tensiune înaltă (W_2) a transformatorului suplimentar BT este frontiera de divizare a interacțiunii nodurilor racordate (Decoupling Interconnection).

Lipsa aceste interacțiuni se evidențiază prin faptul ca instalația nedirijată IPC este „închisă" pentru transmiterea liberă a puterii de sincronizare la oscilarea dinamică a unghiului δ_{sr}. De aceea, utilizarea IPC trebuie determinată (condiționată) de prezența altor conexiuni de şuntare.

Din ecuațiile geometrice, stabilite de diagrama vectorială, reiese:

$$U_s + U_{B1} - mU_s e^{j(\alpha+\delta_{sr})} - U_r e^{j\delta sr} = 0,$$

$$U_s e^{j\psi} + U_{B2} + mU_s e^{j(\alpha+\delta_{sr})} - U_r e^{j\delta sr} = 0.$$

Atunci tensiunile aplicate conductibilităților pare se vor supune condițiilor:

$$U_{B1} = U_r e^{j\delta_{sr}} - U_s\left[1 - me^{j(\alpha+\delta_{sr})}\right],$$

$$U_{B2} = U_r e^{j\delta_{sr}} - U_s\left[e^{j\psi} + me^{j(\alpha+\delta_{sr})}\right].$$

Curenții conductibilităților pare:

$$I_{B1} = -jB_1 U_{B1},$$

$$I_{B2} = jB_2 U_{B2}.$$

Curentul sarcinii la ieşire din instalație prezintă suma curenților conductibilităților pare. La condiția $|-B_1| = |B_2| = B$ obținem:

$$I_r = I_{B1} + I_{B2} = jB\left(U_{B2} - U_{B1}\right) = 2BU_s\left[\sin\frac{\psi}{2}e^{j\frac{\psi}{2}} - jme^{j(\alpha+\delta_{sr})}\right].$$

Puterea deplină la ieşire:

$$S_r = I_r \overset{*}{U}_r = I_r U_r e^{-j\delta_{sr}} = 2BU_s U_r \sin\frac{\psi}{2}\left[e^{j\left(\frac{\psi}{2}-\delta_{sr}\right)} - j\frac{m}{\sin\frac{\psi}{2}}e^{j\alpha}\right].$$

Împărțind puterea deplină în componente active şi reactive, ajungem la rezultatul:

$$P_r = S_m\left[\cos\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) + \frac{m}{\sin\frac{\psi}{2}}\sin\alpha\right], \qquad Q_r = S_m\left[\sin\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) - \frac{m}{\sin\frac{\psi}{2}}\cos\alpha\right],$$

unde $S_m = 2BU_s U_r \sin\frac{\psi}{2}$.

Curentul sarcinii la intrare în instalație:

$$I_s = I_{B1} + I_{B2}e^{-j\psi}.$$

Factorul $e^{-j\psi}$ denotă aducerea curentului I_{B2} pe fază la tensiunea U_s a nodului de alimentare.

La această condiție curentul (I_s) la intrare în instalație se va determina în modul următor:

$$I_s = 2BU_r\left[\sin\frac{\psi}{2}e^{j\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}\right)} - jm\frac{U_s}{U_r}\cos\frac{\psi}{2}e^{j\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}+\alpha\right)}\right].$$

Puterea deplina la intrare, ținând cont de faptul că $\overset{*}{U}_s = U_s$, primeşte aspectul următor:

$$S_s = I_s U_s = 2BU_s U_r \sin\frac{\psi}{2}\left[e^{j\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}\right)} - j\frac{m}{tg\frac{\psi}{2}}\frac{U_s}{U_r}e^{j\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}+\alpha\right)}\right].$$

De aici reiese:

$$P_s = S_m\left[\cos\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}\right)+\frac{m}{tg\frac{\psi}{2}}\frac{U_s}{U_r}\sin\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}+\alpha\right)\right],$$

$$Q_s = S_m\left[\sin\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}\right)-\frac{m}{tg\frac{\psi}{2}}\frac{U_s}{U_r}\cos\left(\delta_{sr}-\frac{\psi}{2}+\alpha\right)\right].$$

În continuare vom considera, că problema dirijării se reduce la formarea indicilor necesari ai regimului la ieşire din instalația IPC-UPFC, iar indicii regimului la intrarea lui sunt consecința strategiei de reglare acceptate la ieşire. Dacă linia de transport electric, racordată între nodurile de transmitere şi primire a rețelei, corespunde noțiunii "Conexiune electrică slabă", atunci oscilarea puterii active şi reactive la intrare în instalație practice nu se va reflecta la nivelul tensiunii U_s. Totodată, aplicând capacitatea UPFC de a genera suplimentar putere reactivă de unul sau alt semn prin intermediul invertorului Inv.2, se poate asigura stabilitatea tensiunii U_r. În scopul simplificării următoarelor calcule, toate calculele în continuare vor corespunde condiției $|U_s| = |U_r| = 1$. Aceasta nu exclude posibilitatea evidenței valorii reale U_r (în lipsa reglării puterii reactive din contul invertorului Inv.2), fapt ce va necesita o anumită corectare a legii de dirijare.

Spre exemplu, există necesitatea menținerii nivelului stabil al puterii active transmise $P_r = 1$ la $Q_r = 0$ în condițiile modificării unghiului δ_{sr} în limitele de la $\delta_{sr} = 0^\circ$ şi până la $\delta_{sr} = 30^\circ$. Legea dirijării, realizarea căreia totodată se impune pe UPFC, rezultă din corelațiile de bază ale puterii active şi reactive la ieşire din instalație şi se formulează în modul următor:

$$\begin{cases} m = \dfrac{P_r\sin\left(\dfrac{\psi}{2}-\delta_{sr}\right)-Q_r\cos\left(\dfrac{\psi}{2}-\delta_{sr}\right)}{P_r\cos\alpha+Q_r\sin\alpha}\sin\dfrac{\psi}{2}, \\ \alpha = arctg\dfrac{P_r - S_m\cos\left(\dfrac{\psi}{2}-\delta_{sr}\right)}{S_m\sin\left(\dfrac{\psi}{2}-\delta_{sr}\right)-Q_r} \end{cases}$$

Întroducând aici P_r şi Q_r date, determinăm valoarea curentă a vectorului $\dot{m} = me^{j\alpha}$, caracterul modificării căruia (la $S_m = 1$) este prezentat pe suprafaţa complexă din fig.3.

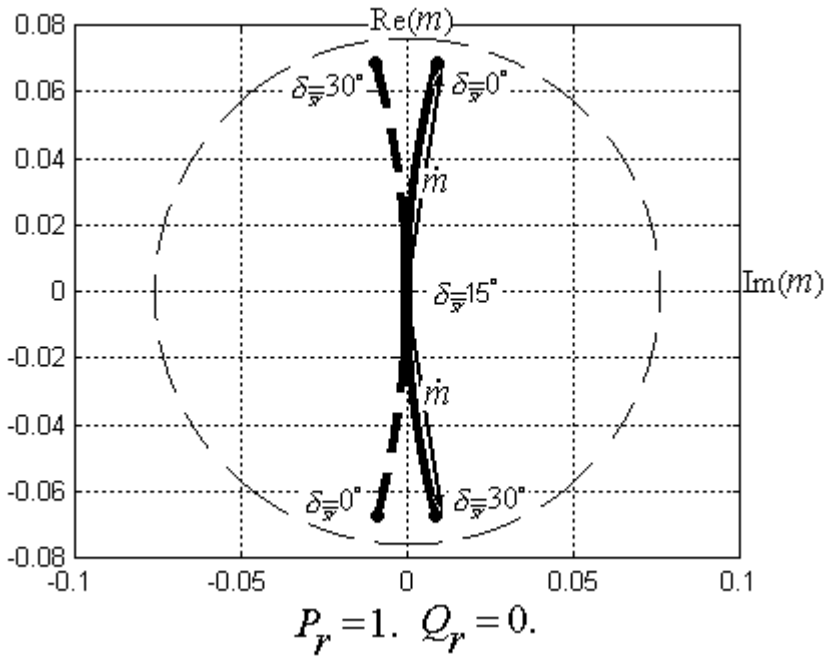


Fig.3

Linia continuă din figura prezentată determină locul geometric al punctelor capătului vectorului $\dot{m}$, legat de tensiunea U_{B1}, linia punctată (întreruptă) – locul geometric al punctelor începutului altui vector $\dot{m}$, legat de tensiunea U_{B2}.

Rezultatul acţiunii acestor doi vectori $\dot{m}$, în circuitele corespunzătoare ale schemei reflectă caracteristicile prezentate în fig.4a. Pentru comparaţie în fig.4b sunt prezentate aceleaşi caracteristice ale instalaţiei când $m = 0$, fapt ce corespunde IPC nereglabil. Comparaţia acestor caracteristici denotă faptul, că rezultatul stabilizării absolute a caracteristicii P_r este o oarecare reducere a proprietăţii de stabilizare a caracteristicii P_s. Referitor la puterile reactive Q_r şi Q_s, ele sunt strict legate între ele.

Modificarea Q_r este însoţită de modificarea în întâmpinare a Q_s cu aceiaşi valoare. Dacă sistemul de transmitere posedă o rezervă suficientă de putere (sau posedă cu mijloace de compensare transversală), creşterea Q_s în diferite părţi ale punctului $\delta_{sr} = 15^\circ$ nu se reflectă prin influenţă esenţială asupra regimului nodului dat.

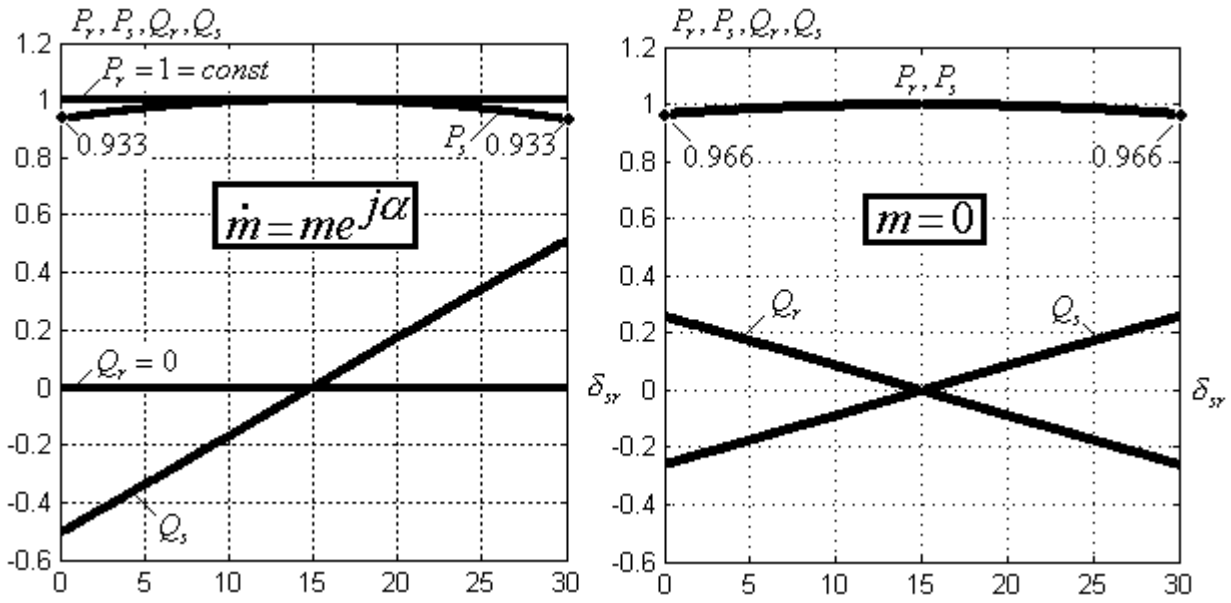


Fig.4

Principalele ecuații pentru puterea activă şi reactivă la ieşire din IPC-UPFC, de asemenea permit determinarea regiunii de reglare liberă a P_r la valoarea Q_r dată şi invers, regiunea reglării libere a Q_r la valoarea P_r dată:

$$P_r = S_m \left\{ \cos\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) \pm \sqrt{\cos^2\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) - \frac{Q_r}{S_m}\left[\frac{Q_r}{S_m} - 2\sin\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right)\right] - \left(1 - \frac{m^2}{\sin^2\frac{\psi}{2}}\right)} \right\},$$

$$Q_r = S_m \left\{ \sin\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) \pm \sqrt{\sin^2\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right) - \frac{P_r}{S_m}\left[\frac{P_r}{S_m} - 2\cos\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right)\right] - \left(1 - \frac{m^2}{\sin^2\frac{\psi}{2}}\right)} \right\}.$$

Caracteristicile regiunilor de reglare liberă a puterii active pentru două condiții diferite de transmitere a puterii reactive, sunt prezentate în fig.5. Figura ovală corespunde condiției $Q_r = 0$, iar liniile în arc limitează figura la $Q_r = S_m \sin\left(\frac{\psi}{2} - \delta_{sr}\right)$.

Rezultatele de calcul prezentate sunt obținute la $S_m = 1$ şi $m = 0.075$. În acest caz valoarea ΔP_r este egală cu ± 0.29, iar raportul ce determină adâncimea reglării puterii active constituie $\frac{P_{r\max}}{P_{r\min}} = \frac{1.29}{0.71} \approx 1.82$. Eficacitatea tehnică a combinației IPC-UPFC este evidentă.

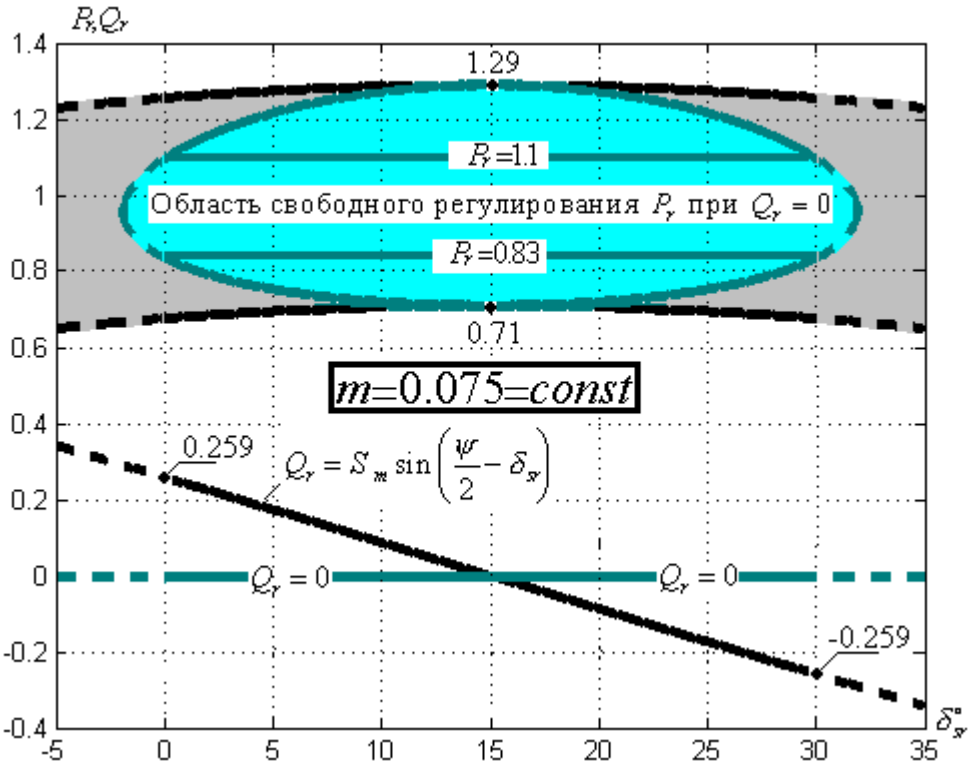


Fig.5

În limitele zonei reglării libere a P_r când $Q_r = 0$, în fig.5 sunt evidențiate două linii orizontale $(P_r = 0.83$ şi $P_r = 1.1)$, ce determină frontiera reglării neîntrerupte când $Q_r = 0$ în cadrul diapazonului deplin al modificării unghiului $\delta_{sr} = 0 \div 30^\circ$. Legea modificării vectorului de dirijare $\dot{m} = me^{j\alpha}$ pentru două nivele ale puterii active $(P_r = 0.83$ şi $P_r = 1.1)$ sunt prezentate în fig.6.

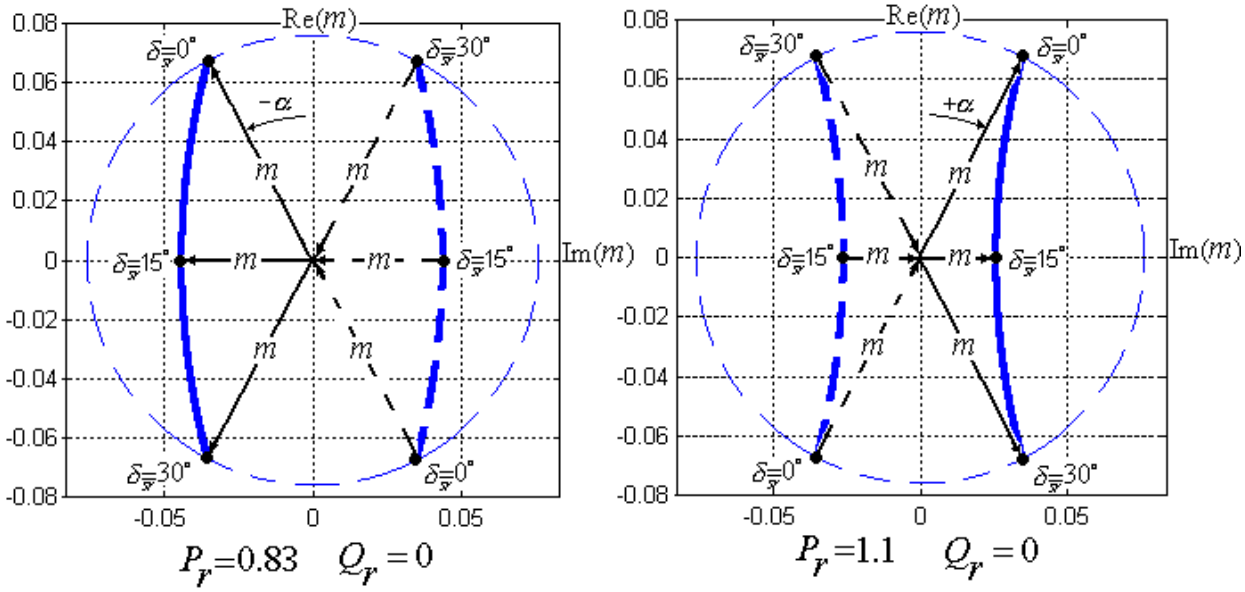


Fig.6

Caracterul modificării tensiunilor aplicate conductibilităților conjugate B_1 şi B_2, se determină prin corelațiile:

$$U_{B1} = U_s \sqrt{\left[\sin\delta_{sr} + m\sin\left(\alpha+\delta_{sr}\right)\right]^2 + \left[\cos\delta_{sr} + m\cos\left(\alpha+\delta_{sr}\right) - 1\right]^2},$$

$$U_{B2} = U_s \sqrt{\left[\sin\delta_{sr} - m\sin\left(\alpha+\delta_{sr}\right) - \sin\psi\right]^2 + \left[\cos\delta_{sr} - m\cos\left(\alpha+\delta_{sr}\right) - \cos\psi\right]^2}.$$

Graficele modificării acestor tensiuni sunt prezentate în fig.7.

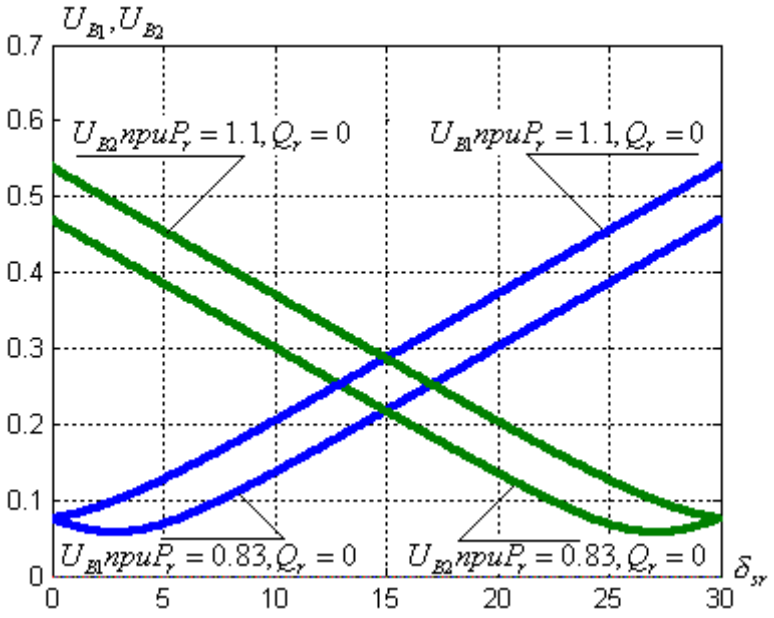


Fig.7

Frontierele calculate ale limitelor reglării libere a puterii reactive la două nivele ale puterii active date se reflectă în fig.8, de unde reiese că cu modificarea nivelului propus al puterii active, regiunea reglării libere a puterii reactive se schimbă neînsemnat.

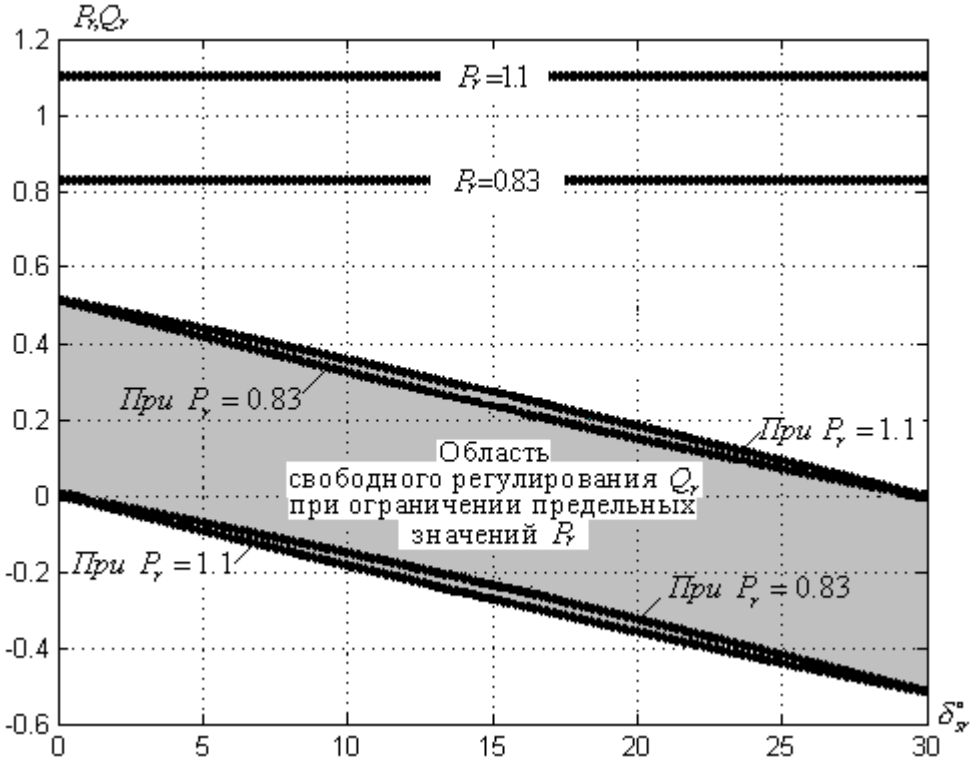


Fig.8

Astfel, combinația IPC-UPFC examinată constituie un reglator parametric cu două nivele de dirijare liberă şi asigură o reglare independentă a puterii active şi reactive la ieşire din instalație.

Dispunând de informației în volumul rezultatelor de calcul expuse, poate fi alcătuită strategia de dirijare cu regimul instalației combinate IPC-UPFC. Totodată, apare posibilitatea organizării schimbului dozat al puterii de sincronizare între noduri din contul modulării rapide ale fluxurilor de putere activă şi reactivă, transmise prin reglatorul parametric.

În încheiere menționăm, că acolo unde nu e necesitate în dirijare rapidă, instalația UPFC poate fi înlocuită cu aşa numitul Sen-transformator [3], care este un analog de contact al UPFC şi asigură o reglare directă (fără redresare şi invertare) a modulului şi fazei tensiunii suplimentare în limite extinse. Costul Sen-transformatorului este mult mai ieftin decât costul UPFC.

Concluzie

Reglatorul parametric de putere cu două nivele de dirijare liberă în principiul conectării combinate a IPC-UPFC posedă cu capacitatea reglării independente a puterii active şi reactive şi poate fi utilizat pentru dirijarea cu conexiunile electrice ce necesită un nivel înalt al preciziei de menținere a parametrilor propuşi (dați) ai regimului la ieşire din instalație.

Literatura

1. Interphase power controller adapted to the operating conditions of networks, J.Brochu, F.Beauregard, Et al., IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.2, April 1995.
2. Basic Control of Unified Power Flow Controller, I.Papic, D.Povh, Et al., IEEE Transactions on Power Systems, Vol.12, No.4, November 1997.
3. Comparison of the “Sen” transformer with the unified power flow controller, K.Sen, M.Sen, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No.4, October 2003.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ФАЗОРЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЕГО РАБОТЫ В СИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМЕ.

В. М. Суслов (Институт энергетики АНМ).

Аннотация.

В статье разработаны и обоснованы схемы замещения для симметричного режима важнейших элементов управляемой электропередачи – фазорегуляторов. Ввиду возможности использования этих схем замещения при расчете симметричных режимов на базе стандартного программного обеспечения, например программного комплекса РАСТР они предлагаются в варианте без использования взаимоиндуктивных элементов. Приводится аналитический материал по определению элементов разработанных схем замещения.

Ключевые слова: фазорегулятор, симметричный режим, схема замещения.

EQUIVALENT CIRCUIT OF THE PHASE-SHIFTER FOR ITS WORK IN A SYMMETRIC MODE.

V.M.Suslov (Institute of Power Engineering of ASM).

The summary.

In article equivalent circuits for a symmetric mode of the major elements of a controlled electricity transmission - phase-shifters are developed and proved. In view of an opportunity of use of these equivalent circuits at calculation of symmetric modes on the basis of the standard software, for example a program complex RASTR they are offered in variant without use of mutual-inductance elements. The analytical material by definition of elements of the developed equivalent circuits is resulted.

Key words: phase-shifter, symmetric mode, equivalent circuit.

SCHEMA DE SUBSTITUIRE A REGLATORULUI DE FAZĂ PENTRU FUNCȚIONAREA ÎN REGIM SIMETRIC.

V.M.Suslov (Institutul d e Energetică ASM).

Rezumat.

În articol sunt elaborate şi descrise schemele de substituire pentru regimurile simetrice ale elementelor cheie a liniilor electrice dirijate-regulatoare de fază. Ținînd cont de posilibitatea utilizării acestor scheme de substituire, la calculul regimilor simetrice în baza asigurarii programelor computerizate standarde, de exemlu, complexului computerizat RASTR acestea se prezinta în varianta fără utilizarea elementelor reciproc-inductive. Se prezinte materialul analitic de determinare a elemtntelor schemelor de substituire elaborate.

Cuvinte cheie: regulatoare de fază dirijate, regimuri simetrice, scheme de substituire.

Схема замещения любого фазорегулятора для его работы в симметричном режиме может быть представлена объединением некоторого идеального фазоповоротного устройства (поворачивающего одинаково как трехфазную систему напряжений, так и токов) подключенного к некоторой пассивной схеме, моделирующей в первом приближении пассивные параметры реального фазоповоротного устройства.

Как известно схема замещения обычного трансформатора с двумя системами напряжений имеет двухэлементную Г-образную схему замещения. Шунтовый элемент моделирует потери мощности в трансформаторе, связанные с приложенным к нему напряжением, а последовательный элемент – потери в обмотках трансформатора от протекающих по ним токов нагрузки.

Идя аналогичным путем можно предложить упрощенную схему замещения фазорегулятора в следующем виде.

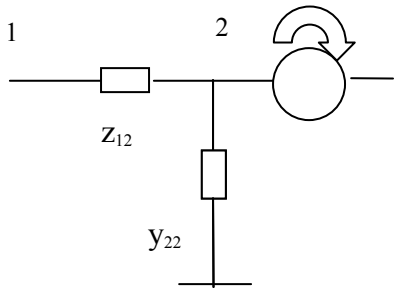


Рис.1. Упрощенная схема замещения фазорегулятора.

Сделаем некоторые пояснения к данной схеме. Кружок в правой части схемы с фигурной стрелке над ней отображает идеальный фазорегулятор. Зажимы 1 и 3 отображают вход и выход схемы, моделирующей реальный фазорегулятор. Зажимы 2 и 3 это зажимы идеального фазорегулятора. Элемент схемы y_{22} определяет потери на намагничивание, а z_{12} определяет потери в обмотках реального фазорегулятора.

Однако в связи с тем, что у рассматриваемого фазорегулятора предполагается глубокое регулирование фазы в пределах от 0 до некоторого максимального значения, его пассивные параметры также будут подвержены значительным изменениям в процессе регулирования. Поэтому необходимо предложить такую схему замещения, где ее эквивалентные пассивные параметры изменяли свою величину при изменении угла регулирования реального фазорегулятора необходимым образом. Обеспечить точную их зависимость от регулируемого угла в прелагаемой схеме замещения весьма проблематично, тем более эта зависимость будет различной при различных реализациях реальных фазорегуляторов. Поэтому ограничимся адекватностью моделирования параметров фазорегулятора при крайних углах регулирования, то есть при нулевом значения угла и максимального значения угла. Вместе с тем дополнительно потребуем выполнение требования отсутствия взаимоиндуктивных связей между отдельными элементами предлагаемой схемы замещения, моделирование которых в программе РАСТР невозможно.

Можно предложить две разновидности схем замещения, отвечающих поставленным выше требованиям. Ниже отображается первая из них на следующем рисунке. Эта разновидность отвечает условию симметрии относительно выводов фазорегулятора.

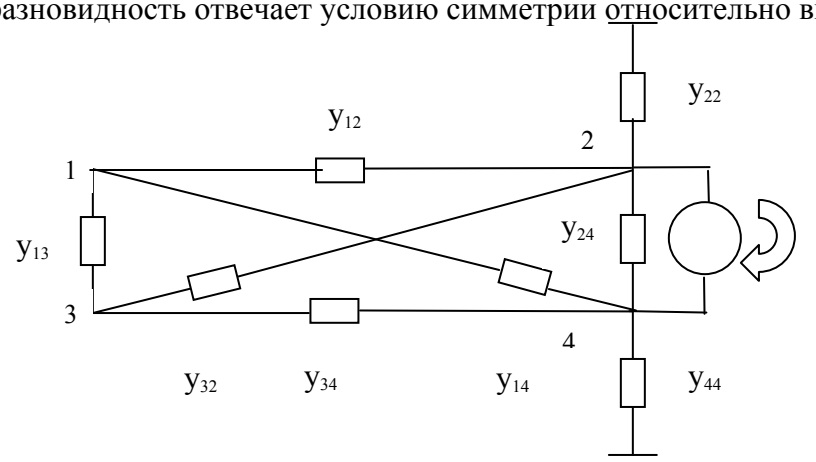


Рис.2. Схема замещения фазорегулятора (симметричная разновидность).

Сделаем некоторые пояснения к данной схеме. Кружок в правой части схемы с фигурной стрелкой справа от него отображает идеальный фазорегулятор. Зажимы 1 и 3 отображают вход и выход схемы, моделирующей реальный фазорегулятор. Зажимы 2 и 4 это зажимы идеального фазорегулятора. Ниже приведем аналитические выражения для определения численных значений элементов предложенной схемы замещения фазорегулятора.

Элементы y_{22} и y_{44} совместно определяют проводимость намагничивания фазорегулятора при нулевом угле регулирования.

$$y_{22} = y_{44} = \frac{1}{2} y_0, \qquad (1)$$

где y_0 – проводимость намагничивания фазорегулятора при нулевом угле регулирования.

Элемент y_{13} определяет дополнительную проводимость намагничивания фазорегулятора при ненулевым углах регулирования.

$$y_{13} = \frac{y_{\max} - y_0}{2 \cdot \sin \frac{\theta_{\max}}{2}}, \qquad (2)$$

где y_{max} - проводимость намагничивания фазорегулятора при иаксимальном угле регулирования,

θ_{max} – максимальный угол фазорегулятора.

Элементы y_{12} и y_{34} совместно определяют потери в обмотках фазорегулятора при максмиальном угле регулирования.

$$y_{12} = y_{34} = \frac{2}{z_{\max}}, \qquad (3)$$

где z_{max} – сопротивление обмоток фазорегулятора при максимальном угле регулирования.

Элементы y_{14} и y_{32} совместно определяют дополнительные потери в обмотках фазорегулятора при ненулевых углах регулирования.

$$y_{14} = y_{32} = \frac{2}{z_0} - \frac{2}{z_{\max}}, \qquad (4)$$

где z_0 – сопротивление обмоток фазорегулятора при нулевом угле регулирования.

Элемент схемы y_{24} ликвидирует шунтирование элементами y_{32} и y_{14} идеального фазорегулятора при угле регулирования, отличного от нулевого значения.

$$y_{24} = -2 \cdot \frac{z_{\max} - z_0}{z_{\max}^2}. \qquad (5)$$

Несимметричная разновидность схемы замещения фазорегулятора приводится на следующем рисунке.

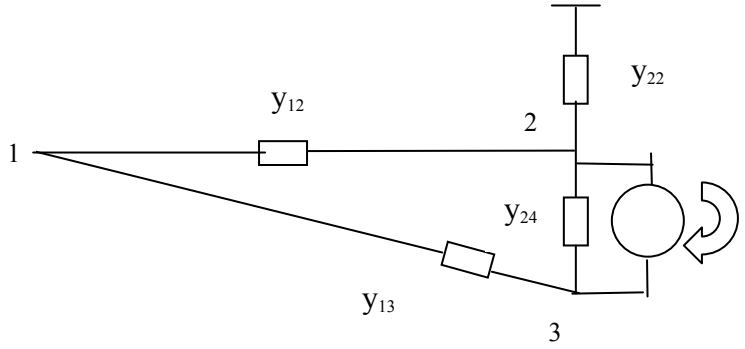


Рис.3. Схема замещения фазорегулятора (несимметричная разновидность).

Сделаем некоторые пояснения и к данной разновидности схемы. Кружок в правой части схемы с фигурной стрелкой справа от него отображает идеальный фазорегулятор. Зажимы 1 и 3 отображают вход и выход схемы, моделирующей реальный фазорегулятор. Зажимы 2 и 3 это зажимы идеального фазорегулятора.

Ниже приведем аналитические выражений для определения численных значений элементов предложенного несимметричного варианта схемы замещения фазорегулятора.

Элемент схемы y_{22} определяет потери на намагничивание при нулевом угле фазорегулятора.

$$y_{22} = y_0 , \qquad (6)$$

где y_0 – проводимость намагничивания фазорегулятора при нулевом угле регулирования.

Элемент y_{12} определяет потери в обмотках при максимальном угле фазорегулятора.

$$y_{12} = 1/z_{\max} , \qquad (7)$$

где z_{max} – сопротивление обмоток фазорегулятора при максимальном угле регулирования.

Элемент y_{13} определяет дополнительные потери в обмотках при ненулевых углах регулирования фазорегулятора.

$$y_{13} = 1/z_0 - 1/z_{\max} , \qquad (8)$$

z_0 – сопротивление обмоток фазорегулятора при нулевом угле регулирования.

При ненулевых углах регулирования элемент y_{23} одновременно: определяет дополнительную проводимость фазорегулятора и ликвидирует шунтирование фазорегулятора элементом y_{13}.

$$y_{23} = \frac{y_{\max} - y_0}{2 \cdot \sin\frac{\theta_{\max}}{2}} - 2\frac{z_{\max} - z_0}{z_{\max}^2} , \qquad (9)$$

где y_{max} - проводимость намагничивания фазорегулятора при максимальном угле регулирования,

θ_{max} – максимальный угол фазорегулятора.

Предложенные два варианта схем замещения предполагают монотонное изменение пассивных параметров фазорегулятора при изменении угла регулирования от нулевого до максимального значения. Реально это может быть не так. В этом случае фазорегулятор, в

принципе, может быть представлен в виде последовательно соединенных различных фазорегуляторов, со схемами замещения, обладающими различными значениями их пассивных параметров, которые в комплексе смогут адекватно моделировать реальный фазорегулятор. Подробно этот вопрос здесь не рассматривается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Для симметричного режима работы фазорегулятора выполнено:

- разработаны схемы замещения фазорегуляторов в двух вариантах симметричном и несимметричном.
- приведен аналитический материал по определению элементов разработанных схем замещения.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

- Предложенные схемы замещения фазорегуляторов для их симметричного режима работы могут быть применены при расчете режимов энергосистем с включенных в нее одного или нескольких фазорегуляторов, как элементов управляемых электропередач по программе РАСТР.
- Предложенные схемы замещения фазорегуляторов для их симметричного режима работы обладают следующим преимуществом, связанным с неизменностью значений элементов схемы замещения, что позволяет оперативно изменять только угол регулирования, оставляя значения этих элементов неизменными.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНОГО ЭКСПРЕС-АНАЛИЗА НЕКОТОРЫХ ОГРАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Анисимов В.К., Берзан В.П., Тыршу М.С., Постолатий В.М.
Институт Энергетики АНМ
Лупашку Т.Г.,
Институт Химии АНМ,
Жеру И.И., Гареева С.Н., Митина Т.Ф.
ЦАМ АНМ

Аннотация
Исследованы вольт- амперные характеристики различных водных растворов этилового спирта и многокомпонентных органических веществ- соков и вин. Выявлены три характерные зоны. Зона низких напряжений (0-3.5)В и малых токов затухающих во времени. Зона линейной зависимости тока от приложенного напряжения (4-14)В и зона нелинейной зависимости электропроводности при напряжениях больше 15 В для данной конструкции измерительной ячейки. Линейный участок характеристик может быть использован при разработке методик экспресс анализа объемного содержания этилового спирта в растворе при низких затратах энергии. Установлено, что кратковременное воздействие электрического поля не приводит к видимым изменениям первоначальных показателей продукта.
Ключевые слова: экспресс-анализ, вольт-амперные характеристики сков и вин.

POSIBILITĂȚI DE ANALIZĂ ENERGOECONOMICĂ RAPIDĂ A UNOR SUBSTANȚE ORGANICE

Rezumat
S-au studiat caracteristicile volt-amper a diferitor soluții apoase a alcoolului etilic şi a substanțelor organice complexe prezentate de sucuri naturale şi vinuri. S-au depistat trei zone a acestor caracteristici în domeniile de tensiune (0-3.5) V, (4-14) V şi la tensiunile pe celula de măsurare care depăşesc 15V. În domeniul valorilor de tensiuni (4-14)V aceste caracteristici sunt liniare şi se pot utiliza pentru realizarea metodelor de control expres al componentei de alcool în soluțiile lui apoase cu consumuri de energie foarte reduse. Acțiunile de scurtă durată a câmpului electric nu conduc la modificarea proprietăților acestor produse în comparație cu starea lor inițială.
Cuvinte cheie: caracteristicile volt-amper a soluții apoase a alcoolului etilic, control expres.

POSSIBILITY OF THE ENERGY SAVING SNAP OF SOME ORGANIC MATERIALS

Abstract
The volt - amperes characteristic of various water solutions of etil spirit and multicomponent organic substances of juices and wines were investigated. Three characteristic zones are revealed. A zone of low voltage (0-3.5)V and small currents fading in time. The zone of linear dependence of a current on the application voltage (4-14)V and a zone of nonlinear dependence of electrical conductivity at voltage more then 15 V for the given design of a measuring cell. The linear parts of characteristics can be used to develop the techniques for express train analysis of the volumetric contents of etil spirit in a solution at low expenses of energy. It is established that the short-term influence of an electric field does not result in seen changes of initial parameters of a product.
Key words: snap, volt-ampere characteristic of juices and wines.

1.Ведение

При определении содержания некоторых веществ в их водных растворах нередко используют энергоемкие методы, требующие значительных затрат расходных материалов. Например, для определения содержания спирта в водном растворе используют метод перегонки [1], причем требуется не менее 300г. исходного раствора и расхода значительного количества энергии. Снижение затрат энергии и повышении скорости получения требуемой информации представляется актуальной задачей, в частности при определении спиртосодержания в вине. В данной работе предпринята попытка обнаружить количественную связь между концентрацией некоторых веществ в дистиллированной воде и электрическими характеристиками их водных растворов.

2.Методика исследования.

Для измерения параметров растворов использовались измерительные ячейки с платиновыми электродами при их питании от регулируемого по напряжению источника постоянного тока. Корпус измерительной ячейки изготовлялся из электроизоляционного материала, допущенного для хранения пищевых продуктов существующими стандартами. Зона контакта платиновых электродов с проводниками внешней электрической цепи не имела непосредственного контакта с раствором и не смачивалась этим раствором. Объем раствора в ячейки составлял 50 – 100 $см^3$ и измерения параметров проводились при температуре $+16^0$C.

При исследовании растворов этилового спирта определялись вольт-амперные характеристики (ВАХ) при увеличении объемной концентрации спирта в растворе при добавлении заданных объемов спирта с объемной концентрацией 95% в первоначальный объем дистиллированной воды. Аналогичная процедура возможна и при разбавлении исходного раствора вещества порциями дистиллированной воды.

При исследовании проводимости водных растворов этилового спирта на первом шаге измерялась ВАХ дистиллированной воды в диапазоне изменения напряжения на электродах ячейки 2,5-15 В. На следующих шагах в ячейку добавлялись равные объемы этилового спирта (2 $см^3$ и/или 5 $см^3$) с объемной концентрацией 95% и для каждой добавки определяется ВАХ полученного раствора. При этом учитывалось изменение суммарного объема жидкости в ячейки на каждом шаге измерения. В качестве измеряемого информативного параметра использовалась величина тока через измерительную ячейку с раствором.

При исследовании проводимости веществ с кислотными свойствами (значение электрического тока) первоначальный объем разбавлялся равными объемными порциями дистиллированной воды. Этот подход использован при исследовании характеристик электропроводности растворов уксусной кислоты, соков, вина.

3. Результаты измерений

Измерялись ВАХ дистиллированной воды, растворов этилового спирта различной концентрации, уксусной кислоты, водки, пиво, красного и белого вина, соков (яблочного, виноградного, морковного, томатного). ВАХ водки фабричного изготовления определялась при температуре $T=18^0$C. Результаты измерений приведены на рис.1-4 и в табл.1-3.

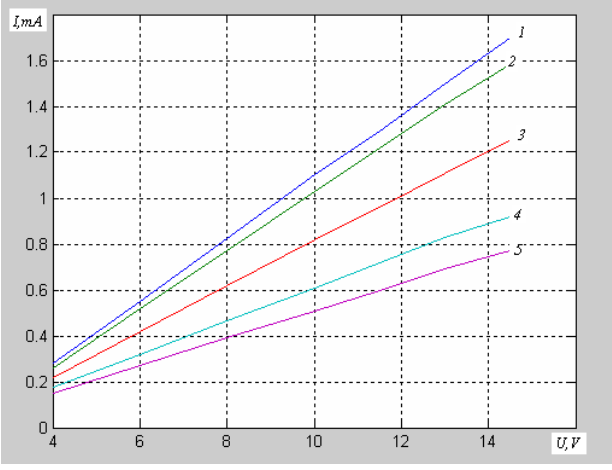


Рис.1. ВАХ растворов спирта в дистиллированной воде, где 1- дистиллированная вода; 2-раствор спирта 3,23%; 3- 11,8%; 4- 25,0%; 5- 36,84%

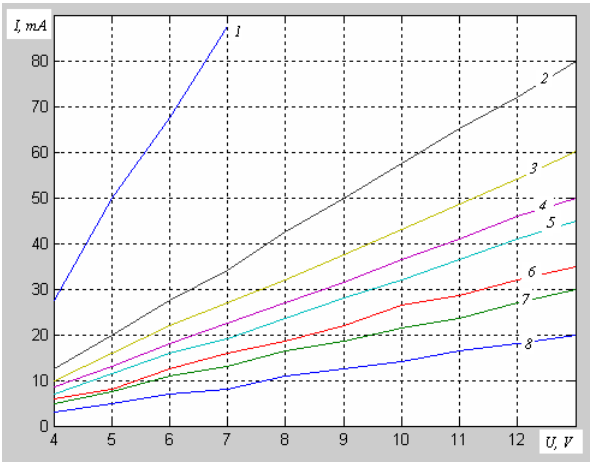


Рис.2.ВАХ многокомпонентных растворов: 1-морковный и томатный соки; 2-сухое красное вино; 3- яблочный сок; 4- сухое белое вино; 5-яблочно-виноградный сок; 6- пиво; 7- водка фабричного производства 40^0; 8-вода водопроводная

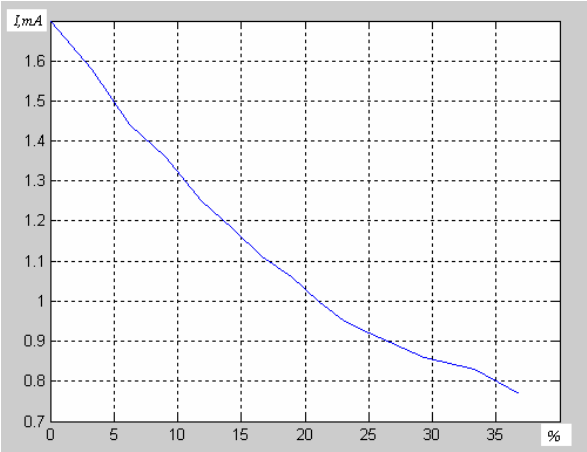


Рис.3. Характер изменения силы тока измерительной ячейки с раствором спирта в дистиллированной воде в зависимости от объемной концентрации при напряжении на электродах 14,5 В

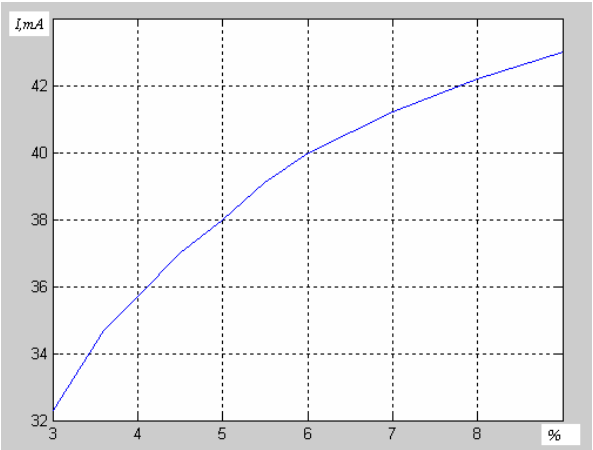


Рис.4. Характер изменения силы тока через раствор уксусной кислоты от объемной концентрации при ее разбавлении дистиллированной водой при напряжении на электродах 14,0 В

Измеренные значения силы тока через растворы спирта в дистиллированной воде и при разбавление уксусной кислоты дистиллированной водой при изменении их объемной концентрации приведены в таб. 1 и 2. Первоначальный объем 9% уксусной кислоты составлял 40 см^3, и пошаговое его разбавление осуществлялась порциями объемом в 20 см^3 дистиллированной воды. Измерение силы тока выполнялась при напряжении на ячейки равного 14,0 В и температуре раствора t= 16^{0}С.

Таблица 1

Изменение силы тока через раствор спирта в дистиллированной воде при U=14,5 В

Объем. конц., %	0	3,23	6,25	9,09	11,8	16,67	21,05	25	29,4	33,3	36,8
I, мА	1,7	1,58	1,44	1,36	1,25	1,11	1,00	0,92	0,86	0,83	0,77

Таблица 2

Изменение силы тока через раствор уксусной кислоты в дистиллированной воде при U=14,0 В

Объем конц., %	9	6	4,5	3,6
I , мА	43	40	37	34

Таблица 3

Электропроводность сложных растворов

Наименование раствора	Вода водопроводная	Водка 40^0	Пиво	Яблочно-виноградный. сок	Сухое белое вино	Яблочный сок	Сухое красное вино	Морковный сок	Томатный сок
V, В	13	13	13	13	13	13	13	5	5
I, мА	20	30	35	45	50	60	80	50	50

4. Анализ результатов измерений

Сравнение результатов измерений показывает, что с повышением содержания спирта в дистиллированной воде величина тока уменьшается, а для раствора уксусной кислоты наоборот – увеличивается. Значения силы тока для растворов уксусной кислоты в десятки раз больше чем у дистиллированной воды, и при разбавлении первоначального объема 9% уксусной кислоты дистиллированной водой электропроводность раствора в пределе приближаются к значению электропроводности дистиллированной воды.

Характер зависимостей силы тока от объемной концентрации растворов является нелинейной функцией, причем с ростом объемной концентрации растворов значения производной этих функций $\frac{dI}{dV_v}$ с ростом концентрации уменьшаются, где V_v - объемная концентрация раствора. При выполнении измерений ВАХ растворов были выявлены три характерные зоны: зона переходных токов при напряжениях на ячейки до 2,5- 3 В; зона в которой ВАХ являются линейными (напряжения от (3-4)В до примерно 14 В) и зона в которой эти характеристики становятся нелинейными (при напряжениях превышающие 15В при температуре раствора около 16^0С). Спадание тока во времени в первой зоне обусловлена очевидно формированием локального объемного заряда в близи электродов, как следствие того что при этих напряжениях не происходит восстановления ионов до атомов. Во второй зоне растворы ведут себя как электролиты и электропроводность обусловлена свободными ионами, которые под действием внешнего электрического поля осуществляют транспортировку зарядов через толщу раствора. В третьей зоне начинаются процессы электролиза с появлением газа на поверхности электродов, нелинейный рост тока и увеличение потребления электроэнергии ячейкой. Увеличение электропотребления сопровождается и повышением температуры раствора в процессе измерения электропроводности, что также содействует увеличении неопределенности толкования результатов измерений при их использовании в целях экспресс контроля объемной концентрации исследуемого раствора. На основе изложенного можно рекомендовать в качестве рабочего диапазона для экспресс контроля объемной концентрации растворов, диапазон рабочих напряжений измерительной ячейки U=(4-14)В.

Отметим также следующую особенность, касающиеся исследуемых растворов. Для изготовления водки используют не дистиллированную воду, а воду, содержащую различные примеси и эти примеси значительно увеличивают величину тока. Так, для водки 40^0 при t = 18^0С и напряжении 13,5 V на ячейки, ток равен I = 36 мА. Повышение температуры до 36^0С приводит к увеличению тока до 56 мА, что вообще свойственно растворам электролитов.

Вольт-амперные характеристики более сложных смесей- соков, вина, пива также имеют линейную зависимость, но их электропроводность выше, чем у раствора спирта в дистиллированной воде. По своим электрическим характеристикам спирт ближе к диэлектрикам. Сложные многокомпонентные растворы ближе по своим электрическим характеристикам к классическим электролитам.

Установленные зависимости электропроводности спиртосодержащих растворов могут использоваться для построения диагностических экспресс методик оценки качества этих веществ по данным измерения характеристик электропроводности (рис. 3 и рис.4).

Применение измерений электрических характеристик для исследования веществ удобно тем, что оно требует меньше времени и энергии. Например, время проведения измерений величины тока при заданном напряжении практически не более 1 мин., причем расход электроэнергии при этом является незначительным.

5.Анализ энергетических затрат при использовании экспресс метода контроля по уровню электропроводности вещества

Исходя из среднего времени проведения одного измерения равного 1 мин. при напряжении U = 14 V , и тока в цепи I = 100 мА поручаем расход энергии на одно измерение: *W = U I t = 14x0,1x60 = 84 Дж*

Полученная оценочная величина энергии характерна для соков, а для растворов спирта затраты энергии при определении объемной концентрации значительно ниже этого уровня. Так , для спиртовых растворов значение тока в измерительной ячейки не превышает 2 мА, а следовательно затраты электрической энергии на выполнение одного измерения при заданных параметрах источника питания не будут превышать значение: *W = 14*0,002*60 = =1,7 Дж.*

Сопоставление используемых методик измерения содержания спирта и предлагаемой позволяет оценить энергоэффективность электрического метода контроля объемного содержания спирта в его водных растворах. Так, например, время измерения содержания спирта по методике [1] составляет около 40 мин. На основе справочных данных приведенных в [2] , расход тепловой энергии при этом методе измерений будет иметь значение, содержащее несколько составляющих. Эти составляющие включают нагрев массы жидкости 300г от 20 до 80^0С, испарение спирта (например, при 10% объемном содержании спирта в сухом вине это составит по массе порядка 30 г спирта). В итоге, на нагрев спиртосодержащего вещества и испарение 30 г. спирта необходимо потратить более 100 кДж тепловой энергии, причем доля на нагрев равна $W_1 = 300 * 4,2(80 - 20) = 75,6$ кДж и на испарение $W_2 = 30 * 866 = 26$ кДж

Сопоставление энергозатрат рассмотренных методов показывает, что даже полагая, что электрическая энергия в 10 раз дороже тепловой, электрический метод определения объемного содержания этилового спирта требует в 120 раз меньше затрат на энергию и в 40 раз меньше времени для получения результата. Проблема заключается в получении градуировочных кривых для контролируемых продуктов, содержащих спиртовую составляющую, и составлении экспресс методик измерения этого показателя.

Известно, что при воздействии электрическим полем на электропроводящие растворы возможны процессы электролиза с изменением состава вещества. Вероятность протекания таких процессов проверена на красном ординарном вине. Оно подверглось обработке электрическим током при различном времени прохождения тока - от одной минуты до 10 минут. В итоге было установлено, что кратковременное прохождение тока (на уровне длительности измерения) не оказывает практически никакого влияния на параметры исследуемых растворов. Более длительная обработка электрическим током может привести к изменению некоторых показателей красного ординарного вина, используемого в качестве спиртосодержащего материала естественного происхождения при выполнении исследований. Электролиз сухого красного ординарного вина в течение времени 10 мин. привел к изменению вкуса и запаха этого первичного продукта.

С целью получения количественных данных об изменении состава вина были выполнены аналитические исследования двух образцов виноматериала - красного ординарного вина. В процессе анализа определялся состав и количество аминокислот в необработанном и обработанном в электрическим поле вине с помощью анализатора ААА-339Т. В табл. 4 приведены результаты аналитического анализа исследованных образцов.

Таблица 4

Состав аминокислот в образцах необработанного и обработанного в электрическом поле красного ординарного вина

Название аминокислоты	Содержание свободных аминокислот, мг/100мл	
	Необработанное вино	Обработанное вино
Глутаминовая кислота	0	0,0254
Глицин (г)	0	0,1446
Аланин (г)	0,0957	0,1031
Валин (г)	0,3146	0,3920
Цистин(с)	0,2763	0,4390
Тирозин (к)	0,0696	0,0696
Фенилаланин (к)	0,1048	0,0662
Лизин (к)	0	0,1160
Гистидин	0	0,4187
3-метилгистидин	0	0,2516
Триптофан (к)	0,7816	0,1612
Аргинин	0,0929	0,1346
Амиак	0,1383	0,3932

По результатам качественного и количественного анализа состава аминокислот можно сказать следующее:

Необработанный электрическим током образец содержит 7 аминокислот: аланин, валин, цистин, тирозин, фенилаланин, триптофпан, аргин. Обработанный образец содержит уже 12 аминокислот: глицин, аланин, валин, цистин, тирозин, фенилаланин, лизингистидин, 3-метилгистидин, триптофан, аргинин, глутамин. Обработанное вино содержит на 26,1% больше свободных аминокислот (мг/100мл) , чем необработанное. Содержание незаменимых кислот осталось неизменным после обработке и составило 1,29мг/100мл, но обработанное вино содержит больше цистина на 38,3%, аргинина на 31,2%, но при этом снизилось содержание триптофана в 4,5 раза и фениламина в 1,4 раз. Содержание аммика увеличилось почти в 3 раза в обработанном образце вина.

Полученные результаты могут быть основой дальнейших исследований с целью разработки методов не только экспресс анализа качества спиртосодержащих растворов и соков, но и для разработки энергоэффективных методов управления и регулирования качества виноматериалов в процессе их хранения.

6. Выводы

1. Вольт- амперные характеристики спиртосодержащих растворов зависят от объемного содержания спирта. Они могут быть использованы для экспресс анализа этих растворов, причем энергетические затраты на контроль по сравнению с используемыми методами оказываются значительно меньше.

2. Кратковременное воздействие электрическим полем на ординарное красное вино не привело к видимым изменениям его состава и свойства.

3. Более длительное воздействие электрического поля на ординарное красное вино приводит к увеличению доли аминокислот и аммиака в обработанном вине. Можно предположить, что посредством электрического воздействия можно изменять состав исходного продукта – вина, и таким образом улучшить его качество по некоторым показателям.

Литература

1. ГОСТ 13 191 – 73. Вина, виноматериалы, коньяки и коньячные спирты. Метод определения этилового спирта.
2. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. Издание девятое. М., Наука, Главная редакция физ-мат. литературы. 1982 г., 208 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНОГО ЭКСПРЕС-АНАЛИЗА НЕКОТОРЫХ ОГРАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Анисимов В.К., Берзан В.П., Тыршу М.С., Постолатий В.М.
Институт Энергетики АНМ
Лупашку Т.Г.,
Институт Химии АНМ,
Жеру И.И., Гареева С.Н., Митина Т.Ф.
ЦАМ АНМ

Аннотация
Исследованы вольт- амперные характеристики различных водных растворов этилового спирта и многокомпонентных органических веществ- соков и вин. Выявлены три характерные зоны. Зона низких напряжений (0-3.5)В и малых токов затухающих во времени. Зона линейной зависимости тока от приложенного напряжения (4-14)В и зона нелинейной зависимости электропроводности при напряжениях больше 15 В для данной конструкции измерительной ячейки. Линейный участок характеристик может быть использован при разработке методик экспресс анализа объемного содержания этилового спирта в растворе при низких затратах энергии. Установлено, что кратковременное воздействие электрического поля не приводит к видимым изменениям первоначальных показателей продукта.
Ключевые слова: экспресс-анализ, вольт-амперные характеристики сков и вин.

POSIBILITĂȚI DE ANALIZĂ ENERGOECONOMICĂ RAPIDĂ A UNOR SUBSTANȚE ORGANICE

Rezumat
S-au studiat caracteristicile volt-amper a diferitor soluții apoase a alcoolului etilic şi a substanțelor organice complexe prezentate de sucuri naturale şi vinuri. S-au depistat trei zone a acestor caracteristici în domeniile de tensiune (0-3.5) V, (4-14) V şi la tensiunile pe celula de măsurare care depăşesc 15V. În domeniul valorilor de tensiuni (4-14)V aceste caracteristici sunt liniare şi se pot utiliza pentru realizarea metodelor de control expres al componentei de alcool în soluțiile lui apoase cu consumuri de energie foarte reduse. Acțiunile de scurtă durată a câmpului electric nu conduc la modificarea proprietăților acestor produse în comparație cu starea lor inițială.
Cuvinte cheie: caracteristicile volt-amper a soluții apoase a alcoolului etilic, control expres.

POSSIBILITY OF THE ENERGY SAVING SNAP OF SOME ORGANIC MATERIALS

Abstract
The volt - amperes characteristic of various water solutions of etil spirit and multicomponent organic substances of juices and wines were investigated. Three characteristic zones are revealed. A zone of low voltage (0-3.5)V and small currents fading in time. The zone of linear dependence of a current on the application voltage (4-14)V and a zone of nonlinear dependence of electrical conductivity at voltage more then 15 V for the given design of a measuring cell. The linear parts of characteristics can be used to develop the techniques for express train analysis of the volumetric contents of etil spirit in a solution at low expenses of energy. It is established that the short-term influence of an electric field does not result in seen changes of initial parameters of a product.
Key words: snap, volt-ampere characteristic of juices and wines.

1.Ведение

При определении содержания некоторых веществ в их водных растворах нередко используют энергоемкие методы, требующие значительных затрат расходных материалов. Например, для определения содержания спирта в водном растворе используют метод перегонки [1], причем требуется не менее 300г. исходного раствора и расхода значительного количества энергии. Снижение затрат энергии и повышении скорости получения требуемой информации представляется актуальной задачей, в частности при определении спиртосодержания в вине. В данной работе предпринята попытка обнаружить количественную связь между концентрацией некоторых веществ в дистиллированной воде и электрическими характеристиками их водных растворов.

2.Методика исследования.

Для измерения параметров растворов использовались измерительные ячейки с платиновыми электродами при их питании от регулируемого по напряжению источника постоянного тока. Корпус измерительной ячейки изготовлялся из электроизоляционного материала, допущенного для хранения пищевых продуктов существующими стандартами. Зона контакта платиновых электродов с проводниками внешней электрической цепи не имела непосредственного контакта с раствором и не смачивалась этим раствором. Объем раствора в ячейки составлял 50 – 100 $см^3$ и измерения параметров проводились при температуре $+16^0$C.

При исследовании растворов этилового спирта определялись вольт-амперные характеристики (ВАХ) при увеличении объемной концентрации спирта в растворе при добавлении заданных объемов спирта с объемной концентрацией 95% в первоначальный объем дистиллированной воды. Аналогичная процедура возможна и при разбавлении исходного раствора вещества порциями дистиллированной воды.

При исследовании проводимости водных растворов этилового спирта на первом шаге измерялась ВАХ дистиллированной воды в диапазоне изменения напряжения на электродах ячейки 2,5-15 В. На следующих шагах в ячейку добавлялись равные объемы этилового спирта (2 $см^3$ и/или 5 $см^3$) с объемной концентрацией 95% и для каждой добавки определяется ВАХ полученного раствора. При этом учитывалось изменение суммарного объема жидкости в ячейки на каждом шаге измерения. В качестве измеряемого информативного параметра использовалась величина тока через измерительную ячейку с раствором.

При исследовании проводимости веществ с кислотными свойствами (значение электрического тока) первоначальный объем разбавлялся равными объемными порциями дистиллированной воды. Этот подход использован при исследовании характеристик электропроводности растворов уксусной кислоты, соков, вина.

3. Результаты измерений

Измерялись ВАХ дистиллированной воды, растворов этилового спирта различной концентрации, уксусной кислоты, водки, пиво, красного и белого вина, соков (яблочного, виноградного, морковного, томатного). ВАХ водки фабричного изготовления определялась при температуре $T=18^0$C. Результаты измерений приведены на рис.1-4 и в табл.1-3.

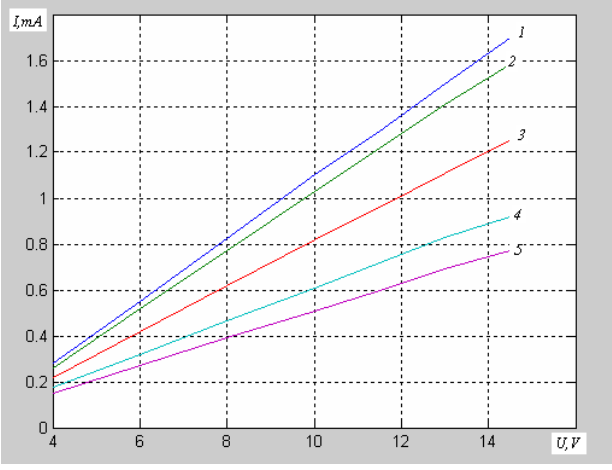


Рис.1. ВАХ растворов спирта в дистиллированной воде, где 1- дистиллированная вода; 2-раствор спирта 3,23%; 3- 11,8%; 4- 25,0%; 5- 36,84%

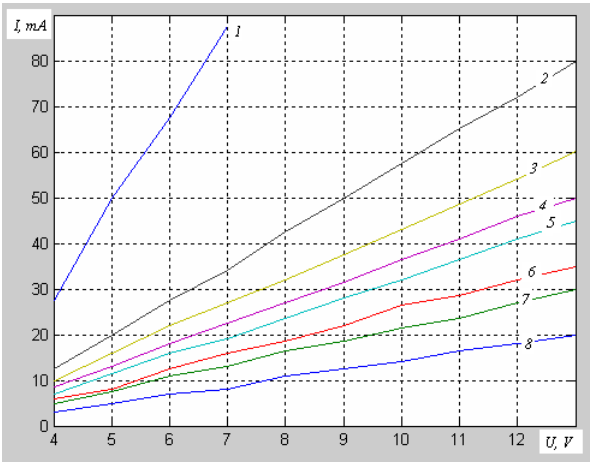


Рис.2.ВАХ многокомпонентных растворов: 1-морковный и томатный соки; 2-сухое красное вино; 3- яблочный сок; 4- сухое белое вино; 5-яблочно-виноградный сок; 6- пиво; 7- водка фабричного производства 40^0; 8-вода водопроводная

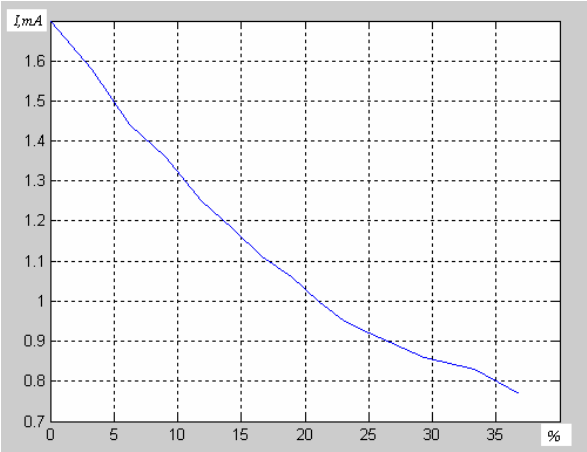


Рис.3. Характер изменения силы тока измерительной ячейки с раствором спирта в дистиллированной воде в зависимости от объемной концентрации при напряжении на электродах 14,5 В

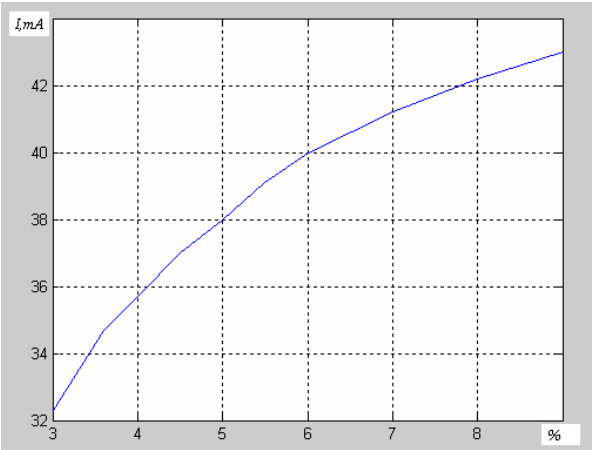


Рис.4. Характер изменения силы тока через раствор уксусной кислоты от объемной концентрации при ее разбавлении дистиллированной водой при напряжении на электродах 14,0 В

Измеренные значения силы тока через растворы спирта в дистиллированной воде и при разбавление уксусной кислоты дистиллированной водой при изменении их объемной концентрации приведены в таб. 1 и 2. Первоначальный объем 9% уксусной кислоты составлял 40 см^3, и пошаговое его разбавление осуществлялась порциями объемом в 20 см^3 дистиллированной воды. Измерение силы тока выполнялась при напряжении на ячейки равного 14,0 В и температуре раствора t= 16^{0}С.

Таблица 1

Изменение силы тока через раствор спирта в дистиллированной воде при U=14,5 В

Объем. конц., %	0	3,23	6,25	9,09	11,8	16,67	21,05	25	29,4	33,3	36,8
I, мА	1,7	1,58	1,44	1,36	1,25	1,11	1,00	0,92	0,86	0,83	0,77

Таблица 2

Изменение силы тока через раствор уксусной кислоты в дистиллированной воде при U=14,0 В

Объем конц., %	9	6	4,5	3,6
I , мА	43	40	37	34

Таблица 3

Электропроводность сложных растворов

Наименование раствора	Вода водопроводная	Водка 40^0	Пиво	Яблочно-виноградный. сок	Сухое белое вино	Яблочный сок	Сухое красное вино	Морковный сок	Томатный сок
V, В	13	13	13	13	13	13	13	5	5
I, мА	20	30	35	45	50	60	80	50	50

4. Анализ результатов измерений

Сравнение результатов измерений показывает, что с повышением содержания спирта в дистиллированной воде величина тока уменьшается, а для раствора уксусной кислоты наоборот – увеличивается. Значения силы тока для растворов уксусной кислоты в десятки раз больше чем у дистиллированной воды, и при разбавлении первоначального объема 9% уксусной кислоты дистиллированной водой электропроводность раствора в пределе приближаются к значению электропроводности дистиллированной воды.

Характер зависимостей силы тока от объемной концентрации растворов является нелинейной функцией, причем с ростом объемной концентрации растворов значения производной этих функций $\frac{dI}{dV_v}$ с ростом концентрации уменьшаются, где V_v - объемная концентрация раствора. При выполнении измерений ВАХ растворов были выявлены три характерные зоны: зона переходных токов при напряжениях на ячейки до 2,5- 3 В; зона в которой ВАХ являются линейными (напряжения от (3-4)В до примерно 14 В) и зона в которой эти характеристики становятся нелинейными (при напряжениях превышающие 15В при температуре раствора около 16^0С). Спадание тока во времени в первой зоне обусловлена очевидно формированием локального объемного заряда в близи электродов, как следствие того что при этих напряжениях не происходит восстановления ионов до атомов. Во второй зоне растворы ведут себя как электролиты и электропроводность обусловлена свободными ионами, которые под действием внешнего электрического поля осуществляют транспортировку зарядов через толщу раствора. В третьей зоне начинаются процессы электролиза с появлением газа на поверхности электродов, нелинейный рост тока и увеличение потребления электроэнергии ячейкой. Увеличение электропотребления сопровождается и повышением температуры раствора в процессе измерения электропроводности, что также содействует увеличении неопределенности толкования результатов измерений при их использовании в целях экспресс контроля объемной концентрации исследуемого раствора. На основе изложенного можно рекомендовать в качестве рабочего диапазона для экспресс контроля объемной концентрации растворов, диапазон рабочих напряжений измерительной ячейки U=(4-14)В.

Отметим также следующую особенность, касающиеся исследуемых растворов. Для изготовления водки используют не дистиллированную воду, а воду, содержащую различные примеси и эти примеси значительно увеличивают величину тока. Так, для водки 40^0 при t = 18^0С и напряжении 13,5 V на ячейки, ток равен I = 36 мА. Повышение температуры до 36^0С приводит к увеличению тока до 56 мА, что вообще свойственно растворам электролитов.

Вольт-амперные характеристики более сложных смесей- соков, вина, пива также имеют линейную зависимость, но их электропроводность выше, чем у раствора спирта в дистиллированной воде. По своим электрическим характеристикам спирт ближе к диэлектрикам. Сложные многокомпонентные растворы ближе по своим электрическим характеристикам к классическим электролитам.

Установленные зависимости электропроводности спиртосодержащих растворов могут использоваться для построения диагностических экспресс методик оценки качества этих веществ по данным измерения характеристик электропроводности (рис. 3 и рис.4).

Применение измерений электрических характеристик для исследования веществ удобно тем, что оно требует меньше времени и энергии. Например, время проведения измерений величины тока при заданном напряжении практически не более 1 мин., причем расход электроэнергии при этом является незначительным.

5.Анализ энергетических затрат при использовании экспресс метода контроля по уровню электропроводности вещества

Исходя из среднего времени проведения одного измерения равного 1 мин. при напряжении U = 14 V , и тока в цепи I = 100 мА поручаем расход энергии на одно измерение: *W = U I t = 14x0,1x60 = 84 Дж*

Полученная оценочная величина энергии характерна для соков, а для растворов спирта затраты энергии при определении объемной концентрации значительно ниже этого уровня. Так , для спиртовых растворов значение тока в измерительной ячейки не превышает 2 мА, а следовательно затраты электрической энергии на выполнение одного измерения при заданных параметрах источника питания не будут превышать значение: *W = 14*0,002*60 = =1,7 Дж.*

Сопоставление используемых методик измерения содержания спирта и предлагаемой позволяет оценить энергоэффективность электрического метода контроля объемного содержания спирта в его водных растворах. Так, например, время измерения содержания спирта по методике [1] составляет около 40 мин. На основе справочных данных приведенных в [2] , расход тепловой энергии при этом методе измерений будет иметь значение, содержащее несколько составляющих. Эти составляющие включают нагрев массы жидкости 300г от 20 до 80^0С, испарение спирта (например, при 10% объемном содержании спирта в сухом вине это составит по массе порядка 30 г спирта). В итоге, на нагрев спиртосодержащего вещества и испарение 30 г. спирта необходимо потратить более 100 кДж тепловой энергии, причем доля на нагрев равна $W_1 = 300 * 4,2(80 - 20) = 75,6$ кДж и на испарение $W_2 = 30 * 866 = 26$ кДж

Сопоставление энергозатрат рассмотренных методов показывает, что даже полагая, что электрическая энергия в 10 раз дороже тепловой, электрический метод определения объемного содержания этилового спирта требует в 120 раз меньше затрат на энергию и в 40 раз меньше времени для получения результата. Проблема заключается в получении градуировочных кривых для контролируемых продуктов, содержащих спиртовую составляющую, и составлении экспресс методик измерения этого показателя.

Известно, что при воздействии электрическим полем на электропроводящие растворы возможны процессы электролиза с изменением состава вещества. Вероятность протекания таких процессов проверена на красном ординарном вине. Оно подверглось обработке электрическим током при различном времени прохождения тока - от одной минуты до 10 минут. В итоге было установлено, что кратковременное прохождение тока (на уровне длительности измерения) не оказывает практически никакого влияния на параметры исследуемых растворов. Более длительная обработка электрическим током может привести к изменению некоторых показателей красного ординарного вина, используемого в качестве спиртосодержащего материала естественного происхождения при выполнении исследований. Электролиз сухого красного ординарного вина в течение времени 10 мин. привел к изменению вкуса и запаха этого первичного продукта.

С целью получения количественных данных об изменении состава вина были выполнены аналитические исследования двух образцов виноматериала - красного ординарного вина. В процессе анализа определялся состав и количество аминокислот в необработанном и обработанном в электрическим поле вине с помощью анализатора ААА-339Т. В табл. 4 приведены результаты аналитического анализа исследованных образцов.

Таблица 4

Состав аминокислот в образцах необработанного и обработанного в электрическом поле красного ординарного вина

Название аминокислоты	Содержание свободных аминокислот, мг/100мл	
	Необработанное вино	Обработанное вино
Глутаминовая кислота	0	0,0254
Глицин (г)	0	0,1446
Аланин (г)	0,0957	0,1031
Валин (г)	0,3146	0,3920
Цистин(с)	0,2763	0,4390
Тирозин (к)	0,0696	0,0696
Фенилаланин (к)	0,1048	0,0662
Лизин (к)	0	0,1160
Гистидин	0	0,4187
3-метилгистидин	0	0,2516
Триптофан (к)	0,7816	0,1612
Аргинин	0,0929	0,1346
Амиак	0,1383	0,3932

По результатам качественного и количественного анализа состава аминокислот можно сказать следующее:

Необработанный электрическим током образец содержит 7 аминокислот: аланин, валин, цистин, тирозин, фенилаланин, триптофпан, аргин. Обработанный образец содержит уже 12 аминокислот: глицин, аланин, валин, цистин, тирозин, фенилаланин, лизингистидин, 3-метилгистидин, триптофан, аргинин, глутамин. Обработанное вино содержит на 26,1% больше свободных аминокислот (мг/100мл) , чем необработанное. Содержание незаменимых кислот осталось неизменным после обработке и составило 1,29мг/100мл, но обработанное вино содержит больше цистина на 38,3%, аргинина на 31,2%, но при этом снизилось содержание триптофана в 4,5 раза и фениламина в 1,4 раз. Содержание аммика увеличилось почти в 3 раза в обработанном образце вина.

Полученные результаты могут быть основой дальнейших исследований с целью разработки методов не только экспресс анализа качества спиртосодержащих растворов и соков, но и для разработки энергоэффективных методов управления и регулирования качества виноматериалов в процессе их хранения.

6. Выводы

1. Вольт- амперные характеристики спиртосодержащих растворов зависят от объемного содержания спирта. Они могут быть использованы для экспресс анализа этих растворов, причем энергетические затраты на контроль по сравнению с используемыми методами оказываются значительно меньше.

2. Кратковременное воздействие электрическим полем на ординарное красное вино не привело к видимым изменениям его состава и свойства.

3. Более длительное воздействие электрического поля на ординарное красное вино приводит к увеличению доли аминокислот и аммиака в обработанном вине. Можно предположить, что посредством электрического воздействия можно изменять состав исходного продукта – вина, и таким образом улучшить его качество по некоторым показателям.

Литература

1. ГОСТ 13 191 – 73. Вина, виноматериалы, коньяки и коньячные спирты. Метод определения этилового спирта.
2. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. Издание девятое. М., Наука, Главная редакция физ-мат. литературы. 1982 г., 208 с.

BILANȚUL DE ENERGIE ŞI TENSIUNE LA MODIFICAREA ELECTROTEHNOLOGICĂ A PARAMETRILOR FIZICO-CHIMICI AI APEI

O. Gr. Stiopca

Rezumat: Lucrarea dată are ca scop studiul bilanțului de energie şi tensiune la modificarea electrotehnologică a parametrilor fizico-chimici ai apei. Se analizează legitățile conversiei energiei electrice în electrolizoare cu membrană inertă şi cationselectivă. În rezultat sunt prezentate dependențele şi concluziile utile la elaborarea unor instalații electrotehnologice de condiționare a apei pentru diferite procese tehnologice din agricultură şi energetică.
Cuvinte cheie: modificarea electrotehnologică, parametri fizico-chimicy ai apei.

БАЛАНС ЭНЕРГИИ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ

Аннотация: В работе исследован теоретически и экспериментально баланс энергии и напряжения установки для электротехнологического кондиционирования физико-химических параметров воды. Проводится анализ преобразования электрической энергии в таких установах, изготовленных на базе диафрагм и катионселективных мембран. Полученные зависимости и выводы могут быть использованы при разработке электротехнологических установок кондиционирования физико-химических параметров воды в сельском хозяйстве и энергетике.
Ключевые слова: кондиционирование воды.

BALANCE OF ENERGY AND COMPONENTS OF VOLTAGE DURING THE ELECTROTECHNICAL MODIFICATION OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER

Abstract: The paper is dealing with results of theoretical and experimental investigations related to the balance of energy and voltage distribution in units for electrochemical units for water treatment. The electrical energy conversion mechanism in electrochemical units equipped with ionic selective membrane is analyzed.
The obtained results could be used for design of electrochemical units for the water conditioning for diverse technological processes in agriculture and biotechnology.
Key words: Water conditioning.

Introducere

Tratarea electrică a apei este însoțită de decurgerea unor fenomene fizico-chimice complexe: disocierea moleculelor de apă; degajarea oxigenului, clorului şi hidrogenului, hidroliza sărurilor, şi alte fenomene de transport ce urmează legi specifice şi constituie cauza variației indicelui de hidrogen, pH, potențialului de oxido-reducere, Eh, concentrației de săruri, C, şi gaze pO_2, pCl_2, temperaturii apei, t [1, 2].

Realizarea acestui proces în instalații electrotehologice cu/fără membrană ionselectivă/inertă cu scopul modificării parametrilor fizico-chimici ai apei (pH, Eh, C, pO_2, pCl_2, t) în corespundere cu valorile lor optime în cadrul unor tehnologii concrete prin intermediul parametrilor electrici de regim (U, I, Q, D) constituie modificarea electrotehnologică a apei [3, 4].

Schema electrică echivalentă a unei instalații monopolare legate la o sursă de curent continuu pentru modificarea electrotehnologică a apei prezintă un circuit, cu următoarele componente (Fig. 1): R_a (χ_a), R_c (χ_c) – rezistența (conductivitatea), respectiv, din compartimentul anodic şi catodic; r_a, C_a; r_c, C_c – rezistența şi capacitatea interfeței anod-

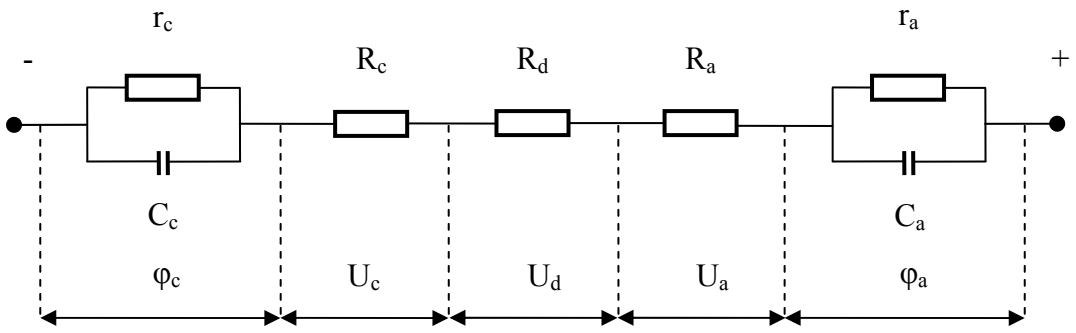


Fig. 1. Circuitul electric echivalent al instalației monopolare pentru modificarea electrotehnologică a apei

electrolit şi catod-electrolit; R_d – rezistența membranei;

U_a, U_c – căderea de tensiune, respectiv, în compartimentul anodic şi catodic .

Tensiunea aplicată la o instalație electrotehnologică monopolară pentru modificarea parametrilor fizico-chimici ai apei este determinată de următoarele componente:

$$U = E_t + \varphi_c + \varphi_a + I \cdot R \quad (1)$$

unde:

E_t – potențialul teoretic de disociere a apei, E_t = 1.23 V;

φ_c – supratensiunea de degajare a hidrogenului la catod, V;

φ_a – supratensiunea de degajare a oxigenului la anod, V;

$I \cdot R$ – căderea de tensiune în electrolit, V;

Pentru a realiza disocierea izotermică a unui mol de apă este necesară o cantitate de 68372 calorii produse de o energie electrică echivalentă, aceasta corespunzând unei tensiuni de 1.48 V aplicată la electrozi. În cazul când la electrozii unei instalații electrotehnologice este aplicată o tensiune U, ea va fi parcursă de un curent I. Astfel, puterea se va determina conform relației:

$$W = 0.86 \cdot U \cdot I, \text{ kcal/h} \quad (2)$$

O parte din ea va fi consumată pentru disocierea isotermică a apei şi poate fi calculată cu relația:

$$W_{ch} = 0.86 \cdot E_t \cdot I, \text{ kcal/h} \quad (3)$$

O altă parte a puterii utilizate va fi convertită în energie termică , iar valoarea ei va fi determinată de relația:

$$W_t = (\varphi_c + \varphi_a + I \cdot R) \cdot I, \text{ kcal/h} \quad (4)$$

Astfel bilanțul energetic al instalațiilor electrotehnologice de tratare electrică a mediilor lichide poate fi reprezentat prin expresia:

$$W = (W_{ch} + W_t), \text{ kcal/h} \quad (5)$$

Scopul cercetărilor teoretico-experimentale este studiul bilanțului de energie şi tensiune la modificarea electrotehnologică a unor parametrilor fizico-chimici ai apei în instalații de electroliză cu membrane ionselective sau inerte.

Metodele şi procedurile utilizate

Pentru studiul experimental al bilanțului de tensiune şi energie a fost utilizată o instalație monopolară pentru tratarea electrică a apei cu două compartimente, divizate de o membrană. Compartimentele au volume echivalente egale cu 75 ml. Electrozii cu suprafața activă de 25 cm^2 au fost amplasați vertical în compartimentele respective la distanța de 5 cm.

Pentru înregistrarea continuă a variației căderii de tensiune dintre electrozii instalației electrotehnologice s-a utilizat un înregistrator cu bandă de tip КСП.

Pentru experimente a fost utilizată apa de apeduct a or. Chişinău cu componența ionică corespunzătoare: mg/l: HCO_3^- = 195.2, Cl^- = 71.0, SO_3^{2-} = 123.4, Ca^{2+} = 123.4, Mg^{2+} = 31.6, $Na^+ + K^+$ = 75.2. Parametrii fizico – chimici inițiali ai apei au fost: pH = 6.8, χ_0 = 0.5 mS/cm, t = 20 ^{0}C. Pe durata experimentelor au fost măsurați următorii parametri: U - tensiunea aplicată la instalația electrotehnologică; U_a, U_c – căderea de tensiune respectiv în compartimentul anodic şi catodic al instalației electrotehnologice; I – curentul de electroliză, A; t_a, t_c – temperatura anolitului şi catolitului, ^{0}C; χ_0, χ_a, χ_c, - conductivitatea electrică inițială a apei, în compartimentul anodic şi în compartimentul catodic respectiv, mS/cm

Rezultate şi discuții

Datele experimentale obținute şi expuse în Tabelele 1, 2 ne indică că după 25 min. de tratare electrotehnologică a probei de apă la o tensiune de 100 V valorile parametrilor fizico - chimici au atins următoarele valori: χ_a, = 1.8 mS/cm; χ_c = 0.4…0.45 mS/cm; t_a = 65…70 ^{0}C; t_c = 74…78 ^{0}C.

Estimările teoretico-experimentale au relevat faptul că cea mai mare parte de energia electrică consumată de instalația electrotehnologică este convertită în căldură.

În cadrul experiențelor cu menținerea a tensiunii la valoare constantă de 100 V, energia electrică convertită în energie termică constituie aproximativ 98.5 % şi doar 1.48 % este consumată pentru disocierea electrochimică a apei (Tabelul 1). Acest raport nu s-a schimbat pe o durată electrolizei egală cu 25 min. Pe aceeaşi durată de timp puterea electrică utilizată de instalația electrotehnologică a crescut de la 14.2 W până la 31.5 W.

Tabelul 1

Bilanțul de energie în procesul de tratare electrotehnologică a apei (U = 100 V; I = 200 mA)

Tensiunea aplicată, U, V	Curent de electroliză, I, mA	Durata electrolizei, τ, min.	Energia totală aplicată, W, W·s	Energia electrochimică, W_{ch}		Energia termică, W_t	
				W·s	%	W·s	%
100	142	1	14.2	0.21	1.48	13.99	98.52
100	240	5	24.0	0.36	1.49	23.64	98.51
100	275	10	27.5	0.41	1.48	27.09	98.51
100	285	15	28.5	0.42	1.48	28.08	98.52
100	298	20	29.8	0.44	1.48	29.36	98.52
100	315	25	31.5	0.47	1.49	31.03	98.51
90	200	1	18.0	0.29	1.61	17.71	98.39
88	200	5	17.4	0.29	1.64	17.31	98.36
87	200	10	17.6	0.29	1.66	17.11	98.34
85	200	15	17.0	0.29	1.70	16.71	98.30
83	200	20	16.6	0.29	1.75	16.73	98.25
80	200	25	16.0	0.29	1.81	15.71	98.19

Tabelul 2

Evoluția curentului , raportului U_c/U_a, , temperaturii (t_a, t_c), conductivității (χ_a, χ_c) la modificarea electrotehnologică a apei

Durata electrolizei, min. / Condițiile experimentului		0	2	4	6	8	10	15	20	25
U = 100 V membrană inertă	I, mA	120	165	217	250	265	270	275	300	315
	U_c/U_a	1.0	2.0	2.3	2.8	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4
	t_a, ^{0}C	19.5	24.5	28.5	32.5	39.0	50.0	59.0	67.0	69.0
	t_c, ^{0}C	19.5	23.0	26.0	33.0	39.0	52.0	63.0	72.0	77.0
	χ_a, mS/cm	0.5	0.6	0.85	0.95	1.02	1.18	1.33	1.51	1.80
	χ_c, mS/cm	0.5	0.4	0.30	0.25	0.20	0.28	0.32	0.37	0.45

În cazul când valoarea curentului a fost menținută constantă pe durata electrolizei s-a înregistrat o uşoară creştere a cotei de energie convertită în căldură. Astfel la un curent de electroliză egal cu 200 mA, s-a constata că energia electrică consumată pentru promovarea reacțiilor electrochimice la începutul procesului de tratare electrică constituie 1.61 %, iar peste 25 min. atinge valoarea de 1.81%.

În cazul când valoarea tensiunii este menținută constant la 100 V, valoarea curentului de electroliză variază de la 120 mA până la 315 mA respectiv la începutul procesului de tratare electrică şi peste 25 minute de electroliză (Tabelul 2).

În aceleaşi condiții de experiență, temperatura atinge valori de 69 ^{0}C în compartimentul anodic şi 77 ^{0}C în compartimentul catodic al instalației electrotehnologice. Deci procesul de evoluție a temperaturii în compartimentul catodic este mai intensiv decât în compartimentul anodic.

Evoluția căderilor de tensiune în compartimentele instalației electrotehnologice a fost estimată ca raportul U_c/U_a. Astfel acest raport variază de la 1.0 până la 3.2 peste 8 minute de tratare electrică , iar peste 28 minute atinge cifra de 2.4.

Evoluția căderilor de tensiune în compartimentele instalației electrotehnologice monopolare dotate cu membrană inertă reprezintă o funcție de conductivitatea electrică în aceste compartimente. Astfel conform datelor experimentale obținute, valoarea conductivității electrice a catolitului s-a micşorat de la 0.5 mS/cm până la 0.28 mS/cm în primele 10 min. de

tratare electrică a apei la tensiunea de 100 V, după care se măreşte până la 0.45 mS/cm, însă rămâne mai mică de aproximativ 3 ori decât conductivitatea electrică a anolitului.

Tabelul 3

Evoluția conductivității electrice apei din compartimentul anodic şi catodic la tratare electrotehnologică (U = 100 V)

Durata electrolizei, min. / Conductivitatea electrică	0	5	10	15	20	25
χ_c mS/cm	0.5	0.30	0.28	0.32	0.37	0.45
χ_c / χ_0	1	0.60	0.56	0.64	0.74	0.90
χ_a mS/cm	0.5	0.85	1.18	1.33	1.51	1.80
χ_A / χ_0	1	1.70	2.36	2.66	3.02	3.60
χ_a / χ_c	1	2.83	4.21	3.02	4.08	4.00

Evoluția căderilor de tensiune în compartimentele instalației electrotehnologice monopolare se păstrează şi în cazul utilizării membranei cationselective. Astfel, au fost supuse tratării electrice probe de ape de la fântânele de alimentare ale FAS din s. Bumbăta, FAS Vadul lui Vodă şi apa de robinet din or. Chişinău.

Astfel la tratarea electrică a probelor de apă preluate din s. Bumbăta, tensiunea dintre electrozi, variază de la valoarea de 13 V până la valoarea maximă de 19 V (Fig.2). Această valoare este atinsă la trecerea unei cantități specifice de electricitate egală cu 2000 C/l. La trecerea unei cantități specifice de electricitate mai mare, valoarea tensiunii dintre electrozii instalației se micşorează fapt indicat de caracterul descendent al curbei de pe banda înregistratorului.

Aceiaşi formă a curbelor de evoluţie a tensiunii dintre electrozi s-a înregistrat şi la tratarea electrică a apelor de la fântâna de alimentare cu apă a FAS Vadul-lui-Vodă şi celei de apeduct din or. Chişinău. Astfel experimental s-a stabilit că pentru atingerea valorii maxime

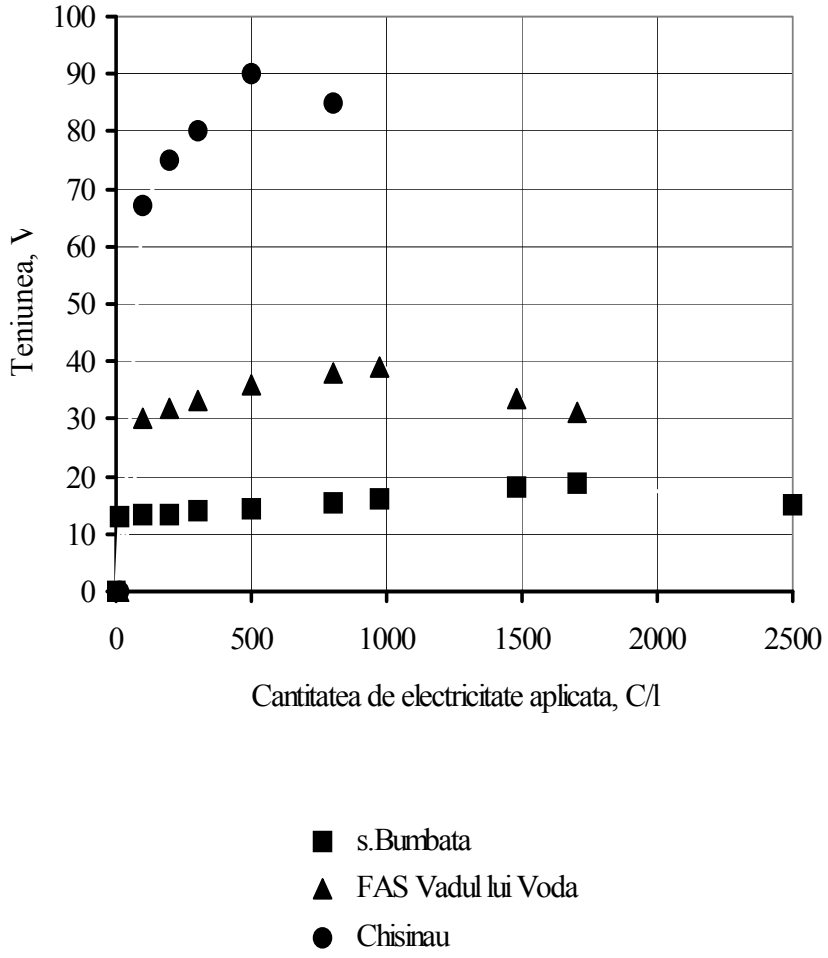


Fig. 2. Evoluţia tensiunii la bornele electrozilor instalaţiei monopolare dotate cu membrană cationselectivă la modificarea electrotehnologică a apei din diverse surse acvatice (I = 0.3 A)

de 39 V a tensiunii dintre electrozi la tratarea electrică a apei de la fântâna de alimentare a FAS Vadul lui Vodă este necesară o cantitate specifică de electricitate egală cu aproximativ 1000 C/l. Pentru atingerea valorii tensiunii maxime de 90 V la tratarea electrică a apei de apeduct din or. Chişinău sunt necesari circa 300…310 C/l.

Concluzii

1. Cea mai mare parte a energiei electrice consumate în procesul tratării electrotehnologice a apei este consumată pentru sporirea temperaturii apei şi doar o mică parte a ei este consumată pentru modificarea parametrilor fizico-chimici pH, Eh, C, pO_2, pCl_2. Astfel la elaborarea unor electrotehnologii de tratare a apei este necesar de a amplasa instalațiile de electroliză în interiorul incintelor în care este utilizată apa tratată pentru sporirea eficienței tehnologice.
2. O particularitate a procesului de tratare electrotehnologică a apei este faptul că temperatura apei în compartimentul catodic evaluează mai dinamic în comparație cu compartimentul anodic.
3. Căderea de tensiune în compartimentul catodic este mai mare decât în compartimentul anodic atât pentru instalațiile dotate cu membrană inertă, cât şi cationselectivă. De aceia se recomandă ca în instalațiile de acest fel electrozii să fie amplasați la distanță cât mai mică unul față de altul pentru micşorarea căderilor de tensiune.
4. Evoluția căderii de tensiune în compartimentul catodic înregistrează o valoare maximă după o durată anumită a electrolizei, direct proporțională cu nivelul de alkalinitate în probe de apă din diferite surse. Acest fapt poate fi utilizat pentru elaborarea unor metode electroanalitice pentru determinarea alkalinității apei.

Bibliografie

1. Кульский, Л. Электрохимия в процессах очистки воды. - Киев, 1987. с. 234.
2. Кульский, Л. Теоретические основы и технология кондиционирования воды - Киев, 1986, с. 234
3. Spînu, V.; Stiopca, O., Dinamica variației parametrilor apei electrochimice activate // Culegere de lucrări ştiințifice ale UASM, Vol.3, Chişinău, 1994, pag. 206-209
4. Spînu, V.; Stiopca O. Electrotehnologia condiționării apei // Culegerea de lucrări ale UASM, Vol. 6. - Chişinău, 1998, pag. 114 – 119.

DUAL INVERTER-FED DRIVES WITH THE SYNCHRONISED MULTILEVEL VOLTAGE WAVEFORMS

ACȚIONĂRI ELECTRICE PE BAZA INVERTOARELE DUBLATE CU TENSIUNE DE IEŞIRE SINCRONIZATĂ ŞI MAI MULTE TREPTE.

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СО СДВОЕННЫМИ ИНВЕРТОРАМИ И СИНХРОНИЗИРОВАННЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ.

V. Oleschuk, A. Sizov, A.M. Stankovic, E. Yaroshenko

RESUME

This paper presents results of investigation of dual inverter-fed open-end winding induction motor electric drive systems, controlled in accordance with the algorithms of novel methodology of synchronized vector modulation. Simulations give the behavior of the proposed techniques of synchronized modulation.

Keywords: open-end winding induction motor electric drives; dual voltage source inverters; synchronized vector modulation.

RESUMAT

Au fost cercetate sisteme de acționări electrice reglate în baza motorului electric asincron cu înfaşurări disjuncționate, ce se alimentează de la două invertoare cuplate, reglate în corespundere cu algoritmii modulației vectoriale sincrone. Sunt prezentate rezultatele modelării sistemelor cu deferite tipuri de modulări vectoriale.

Cuvinte cheie: acționări electrice în baza motoarelor asincrone cu înfaşurări disjuncționate; invertoare dublate de tensiune; modulare vectorială sincronă.

АННОТАЦИЯ

Исследованы системы регулируемого электропривода на базе асинхронного электродвигателя с разомкнутыми обмотками, питающиеся от двух спаренных инверторов, регулируемых в соответствии с алгоритмами синхронной векторной модуляцией. Приведены результаты моделирования систем с различными видами векторной модуляции.

Ключевые слова: электроприводы на базе двигателей с разомкнутыми обмотками, сдвоенные инверторы напряжения, синхронная векторная модуляция.

1. INTRODUCTION

Power electronic converters are now basic workhorses in various power generation and power conversion systems including very wide-spread adjustable speed electric drives. Adjustable speed motor drives are used widely for effective control of pumps, compressors, fans, etc.

During the last years, different non-standard structures of adjustable speed electric drives attract more and more attention of researchers. In particular, multiphase motor drives have been analyzed and investigated, which were based on dual induction machine having two sets of three-phase windings, allowing to smooth the electromagnetic torque pulsations and to improve the overall system reliability [1]-[3].

Other perspective topologies of drives are based on the open-end winding induction motor, fed by two standard three-phase inverters from both sides [4]-[6]. This topology with

two cascaded two-level converters is capable of producing voltages which are identical to those of three-level and four-level converters. The cascaded converters are simpler to construct and offer more non-redundant switching states per number of active semiconductor than standard multilevel converters [5].

At the same time novel methodology of synchronised pulsewidth modulation (PWM) for three-phase voltage source inverters has been recently proposed, allowing avoiding asynchronous character of standard schemes of voltage space-vector modulation [7]-[8]. Taking into account an importance of mutual synchronization of the operating of dual inverter-fed drive systems, the proposed methodology of synchronised PWM can be successfully disseminated to new topologies of cascaded converters. So, this paper presents results of analysis and comparison of different versions of synchronised pulsewidth modulation, applied to one of perspective structure of open-end winding motor drives.

2. BASIC STRUCTURE OF DUAL INVERTER-FED DRIVE

Fig. 1 shows one of the basic structures of the drive system with an open-end winding induction motor [6]. Inverter 1 and Inverter 2 are standard three-phase voltage source inverters here. Auxiliary switches Sw_1 to Sw_4 are bidirectional, inserted to block the triplen harmonic currents by creating an isolated switched neutral, and algorithm of control of auxiliary switches is described in [6].

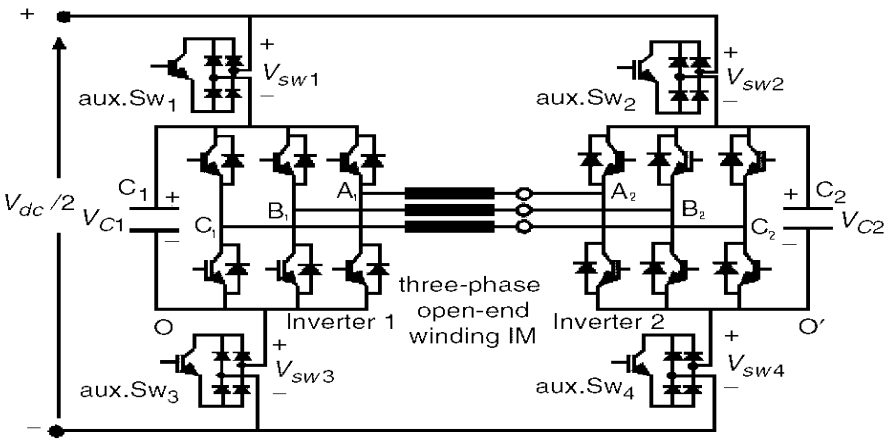


Fig. 1.

Different PWM techniques have been elaborated for control of drive systems with an open-end winding motor [5],[6]. In order to avoid asynchronism of conventional versions of voltage space-vector modulation, novel method (methodology) of direct synchronised PWM can be used for control of each inverter [7],[8].

3. PECULIARITIES OF THE METHODOLOGY OF SYNCHRONISED PWM

Table I presents basic properties of a new methodology of PWM, and it is also compared here with standard voltage space-vector modulation. Fig. 2 shows the typical switching state sequences of three-phase inverter inside a diapason 0^0-120^0. It illustrates schematically some basic continuous (CPWM, Fig. 2,a) and discontinuous (DPWM, Figs. 2,b – 2,d) versions of PWM, which are used typically in adjustable speed drive systems. In Fig. 2, the conventional designation for state sequences for the switches of the phases ***abc*** of the inverter is used: **1** – 100; **2** –110; **3**– 010; **4**– 011; **5** – 001; **6** – 101; **7** – 111; **0** – 000 ('1'-switch-on state, '0'– switch-off state) [7].

Table I. Basic Parameters of PWM Methods

Control (modulation) parameter	**Conventional schemes of vector PWM**	**Proposed method of modulation**	
Operating and max parameter	Operating & max voltage V and V_m	Operating & maximum fundamental frequency F and F_m	
Modulation index m	V / V_m	F / F_m	
Duration of sub-cycles	T	τ	
Center of the k-signal	α_k (angles/degr.)	$\tau(k-1)$ (sec)	
Switch-on durations	$T_{ak} = 1.1mT[\sin(60^0 - \alpha_k) + \sin\alpha_k]$ $t_{ak} = 1.1mT\sin\alpha_k$ $t_{bk} = 1.1mT \times \sin(60^0 - \alpha_k)$	Algebraic PWM $\beta_k = \beta_1[1 - A \times (k-1)\tau F K_{ov1}]$ $\gamma_k = \beta_{i-k+1}[0.5 - 6(i-k)\tau F]K_{ov2}$ $\beta_k - \gamma_k$	Trigonometric PWM $\beta_k = \beta_1 \times \cos[(k-1)\tau K_{ov1}]$ $\gamma_k = \beta_{i-k+1}[0.5 - 0.9tn(i-k)\tau]K_{ov2}$ $\beta_k - \gamma_k$
Switch-off states (zero voltage)	$t_{0k} = T - t_{ak} - t_{bk}$	$\lambda_k = \tau - \beta_k$	
Special parameters providing synchronization of the process of PWM		$\beta'' = \beta_1[1 - A \times (k-1)\tau F K_{ov1}]K_s$ $\lambda' = (\tau - \beta'') \times K_{ov1}K_s$	$\beta'' = \beta_1 \times \cos[(k-1)\tau K_{ov1}]K_s$ $\lambda' = (\tau - \beta'') \times K_{ov1}K_s$

Fig. 2a shows the switching state sequences for the most popular continuous version of voltage space-vector modulation (CPWM), and modulation principle is based here on continuous operation of all switches of the inverter during every switching period (sub-cycle).

The sequence of switchings is here: **-0-1-2-7-2-1-0-**. Fig. 3 shows more in details synchronous CPWM scheme for a quarter-period of the output voltage of inverter. The upper curve is here

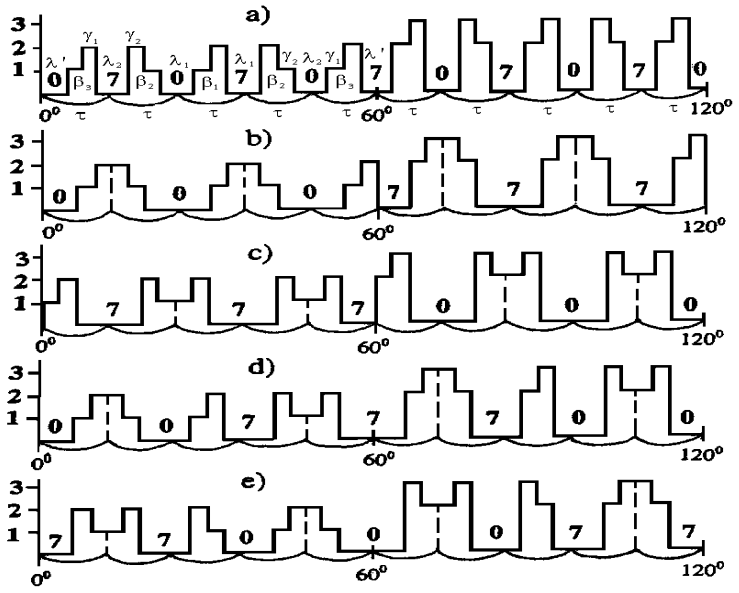


Fig. 2. Switching state sequences for typical PWM schemes:
a) CPWM; b) DPWM0; c) DPWM2; d) DPWM3; e) DPWM1 [7].

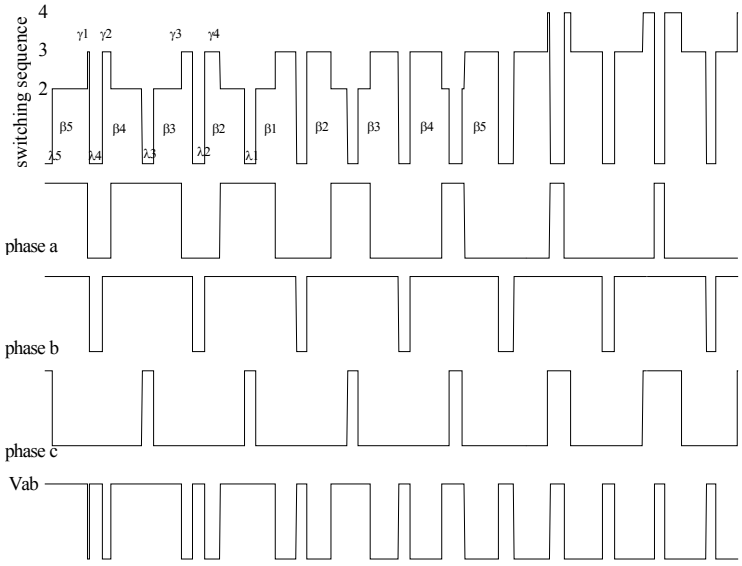


Fig. 3. Control and output signals for quarter-period of three-phase шnverter with continuous PWM (CPWM).

the switching state sequence, then - control signals for the cathode switches of the phases ***a***, ***b*** and ***c***. The lower curve in Fig. 3 shows the corresponding quarter-wave of the line output voltage of the inverter. Signals βj represent the total switch-on durations during the switching period τ, signals γ_k are generated on the boundaries of the corresponding β. Widths of notches λ_k represent the duration of zero sequences.

Special signals λ' (λ_5 in Fig. 3) with the neighboring β'' (β_5 in Fig. 3) are formed in the clock-points (0^0, 60^0, 120^0..) of the output curve of inverters with synchronised PWM. They are reduced simultaneously till close to zero value at the boundary frequencies F_i, providing a continuous adjustment of voltage with smooth pulses-ratio changing.

4. SIMULATION OF PROCESSES IN DUAL INVERTER-FED DRIVES WITH SYNCHRONISED PWM

4.1. Drive Systems with Continuous Synchronised PWM

Synchronous symmetrical control of the output voltage waveforms of each inverter in accordance with basic PWM algorithm provides synchronous symmetrical regulation of voltage in the induction machine phase windings. Rational phase shifting between output voltage waveforms of the inverters is equal in this case to one half of the switching interval (sub-cycle) τ (is equal to 0.5τ) [4].

Fig. 4 presents pole voltages of two inverters V_{a10} and V_{a20}, zero sequence (triplen harmonic components) voltage V_0, motor phase voltage V_{a1a2}, and motor phase voltage without triplen harmonic components (actual motor phase voltage) $V_{a1a2} - V_0$. Both inverters are here under control in accordance with the scheme of continuous synchronised pulsewidth modulation (see Figs. 2a and 3, [7]). Switching frequency F_s of each inverter is equal to *1 kHz*. Curves in Fig. 4 correspond to the fundamental frequency F equal to *20 Hz* (modulation index *m=0.4*).

Fig. 5 shows spectral composition of the voltage waveforms presented in Fig. 4. It presents normalized harmonic spectrum (relative (V_k/V_{dc}) magnitudes of the *k*-harmonics of the presented voltages). The undesirable triplen harmonics are in the spectra of pole voltages of inverters and of motor phase voltage V_{a1a2}, but actual motor phase voltage $V_{a1a2} - V_0$ does not contain it due to special algorithm of operation of auxiliary switches $Sw_1 - Sw_4$ of the system, creating an isolated switched neutral [6]. Actual motor phase voltage of the drive system with synchronised PWM has quarter-wave symmetry, and its spectrum does not include even harmonics and combined harmonics (sub-harmonics).

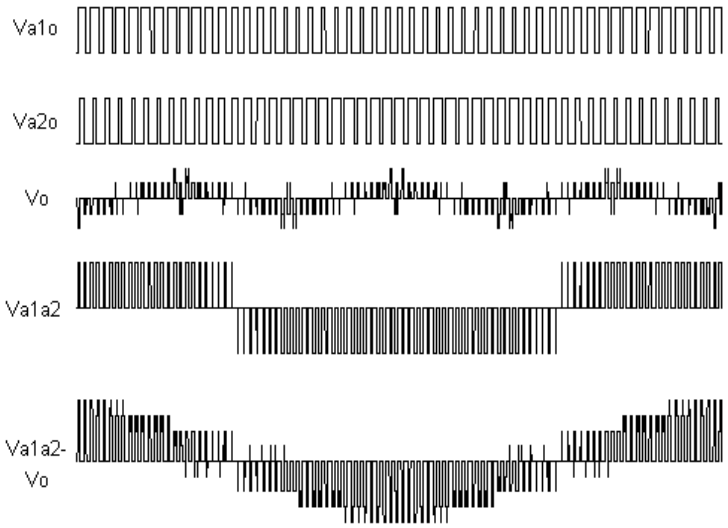
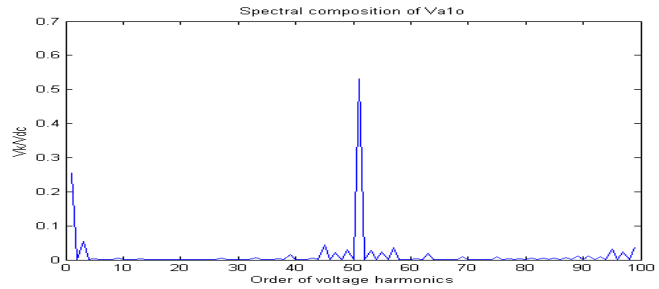
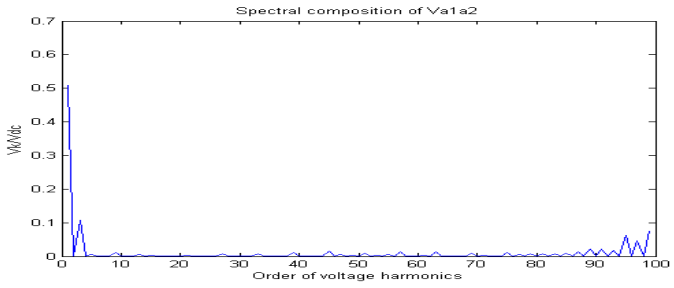


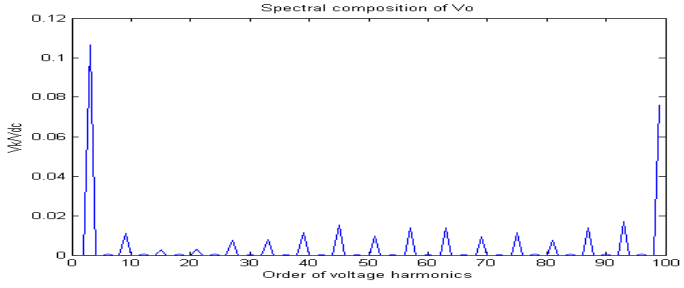
Fig. 4. Voltage waveforms of drive system with continuous synchronised PWM (*F=20Hz*).



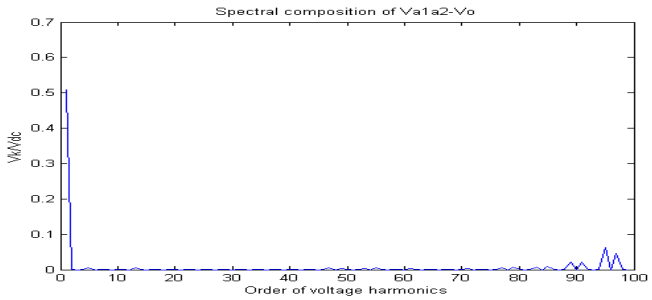
a)



b)



c)



d)

Fig. 5. Spectral composition of voltage waveforms for the drive system with continuous synchronised PWM at $F = 20\ Hz$: a) V_{a10}; b) V_{a1a2}; c) V_0; d) $V_{a1a2} - V_0$.

Fig. 6 presents basic voltage waveforms (period of the basic waveforms) of the dual inverter-fed drive system with continuous synchronized PWM operating at the fundamental frequency equal to *40 Hz* (modulation index $m=0.8$).

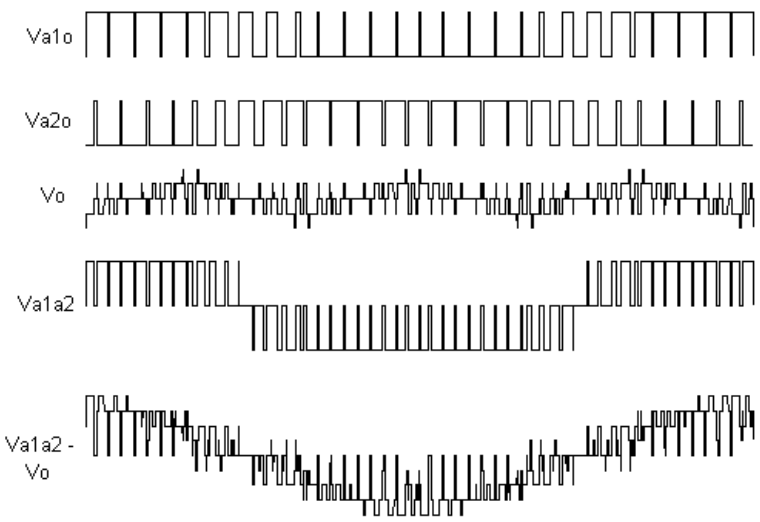
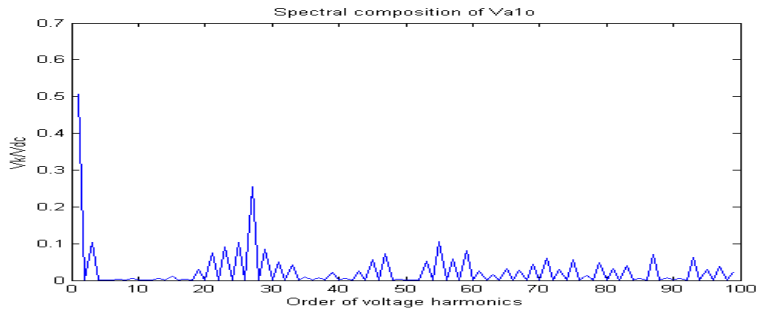
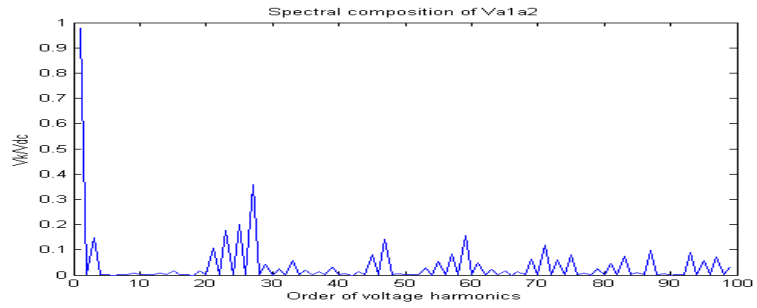


Fig. 6. Voltage waveforms of drive system with continuous synchronised PWM ($F = 40\ Hz$).

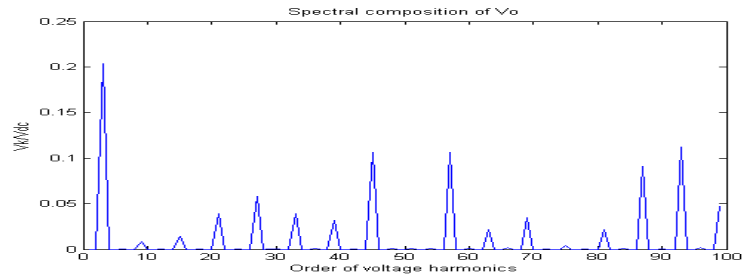
Fig. 7 shows the corresponding spectra of the presented voltage waveforms. In particular, curves in Fig. 7,d prove the fact that the spectrum of the actual motor phase voltage $V_{a1a2} - V_0$ of the drive system with synchronised PWM contains only odd harmonics (without triplen order harmonics) at any ratios (round or not round) between the switching frequency and fundamental frequency.



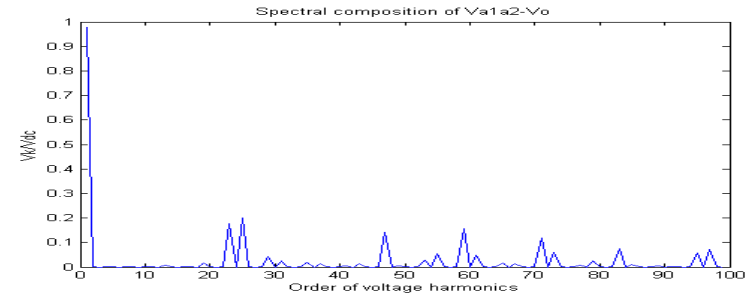
a)



b)



c)



d)

Fig. 7. Spectral composition of voltage waveforms for the drive system with continuous synchronised PWM at $F = 40$ *Hz*: a) V_{a10}; b) V_{a1a2}; c) V_0; d) $V_{a1a2} - V_0$.

4.2. Drive Systems with Discontinuous Synchronized PWM

Fig.8 presents basic voltages waveforms for the drive system with discontinuous synchronous PWM (DPWM3 scheme of discontinuous PWM in accordance with Fig. 2,d [7]). It includes pole voltages of two inverters V_{a10} and V_{a20} , zero sequence (triplen harmonic components) voltage V_0, motor phase voltage V_{a1a2}, and motor phase voltage without triplen harmonic components (actual motor phase voltage) $V_{a1a2} - V_0$. The fundamental frequency is

equal to *20 Hz* in this case, and switching frequency is equal to *1 kHz*.

Fig. 9 shows spectral composition of the voltage waveforms presented in Fig. 8.

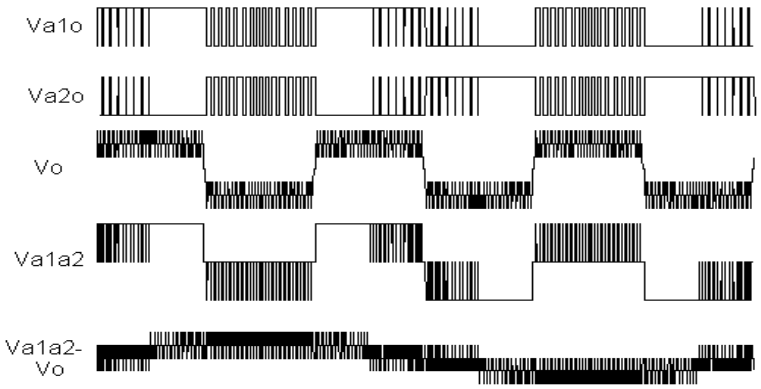
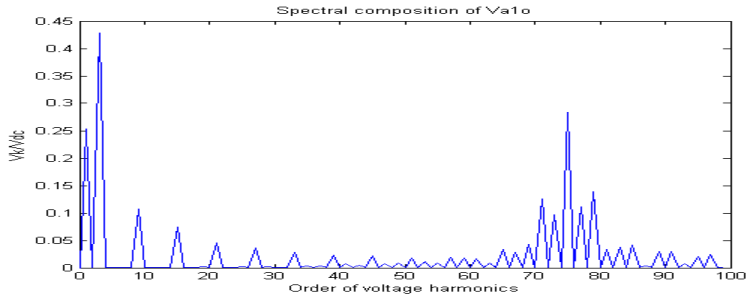
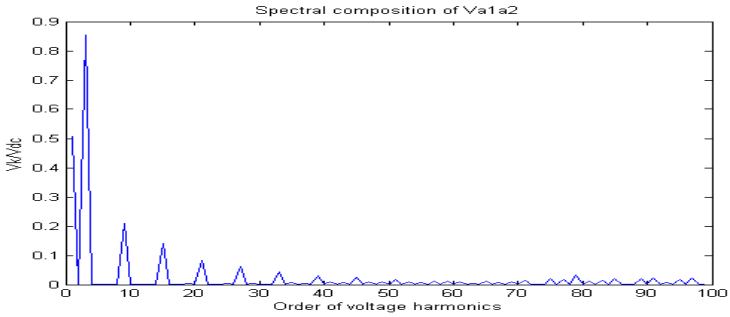


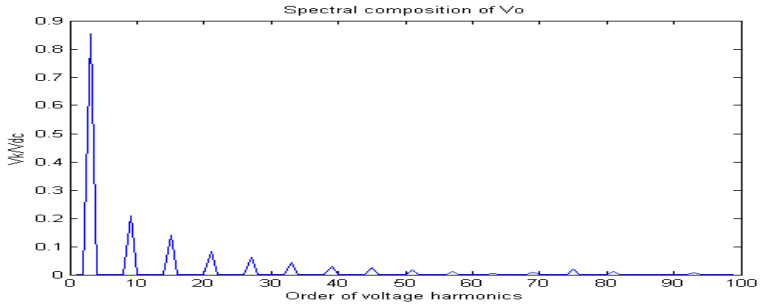
Fig. 8. Voltage waveforms of drive system with discontinuous synchronised PWM (*F=20Hz*).



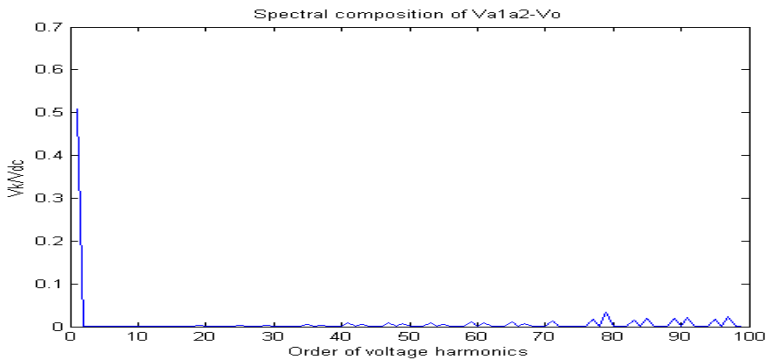
a)



b)



c)



d)

Fig. 9. Spectral composition of voltage waveforms for the drive system with discontinuous synchronised PWM at $F = 20\ Hz$: a) V_{a10}; b) V_{a1a2}; c) V_0; d) $V_{a1a2} - V_0$.

Fig. 10 presents basic voltage waveforms (period of the basic waveforms) of the dual inverter-fed drive system with discontinuous synchronized PWM operating at the fundamental frequency equal to *40 Hz* modulation index *m=0.8*).

Fig. 11 shows the corresponding spectra of the presented voltage waveforms.

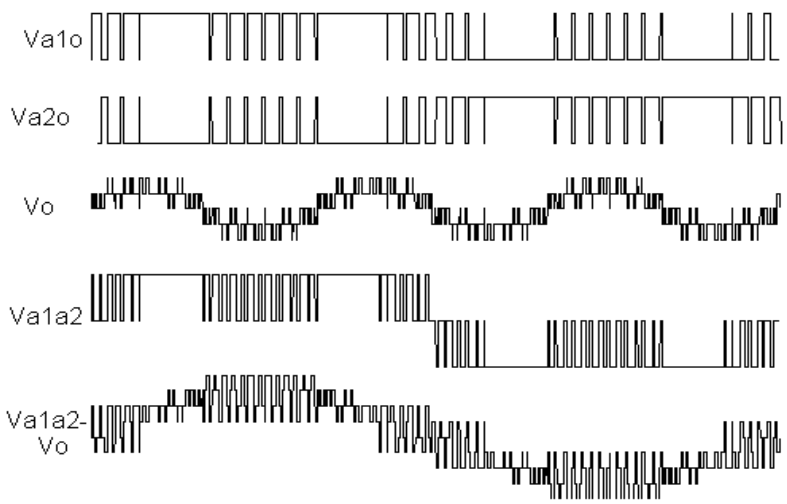
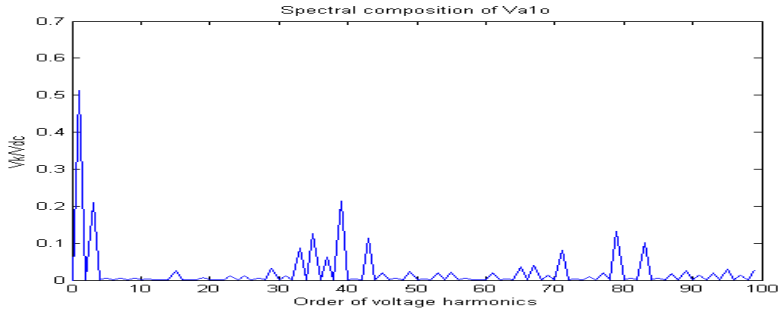
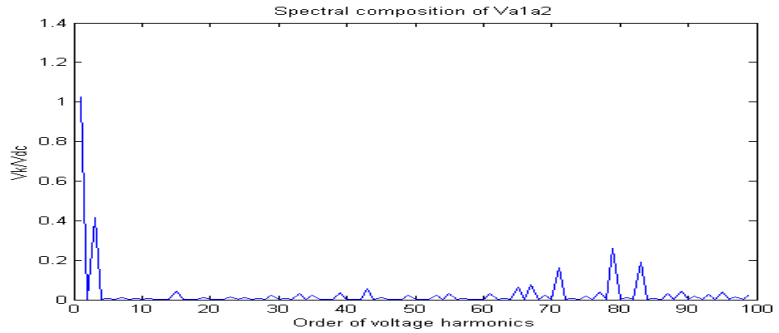


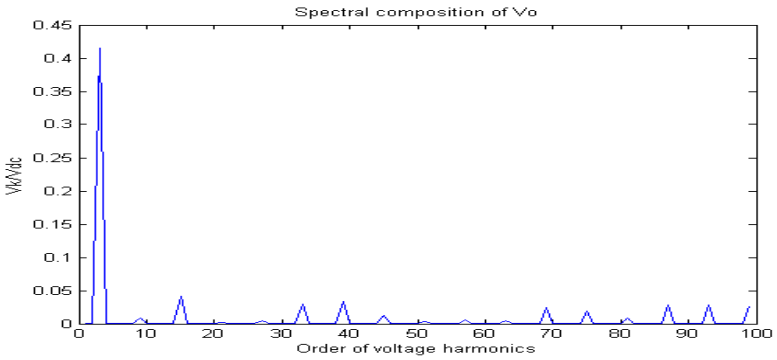
Fig. 10. Voltage waveforms of drive system with discontinuous synchronised PWM (*F=40Hz*).



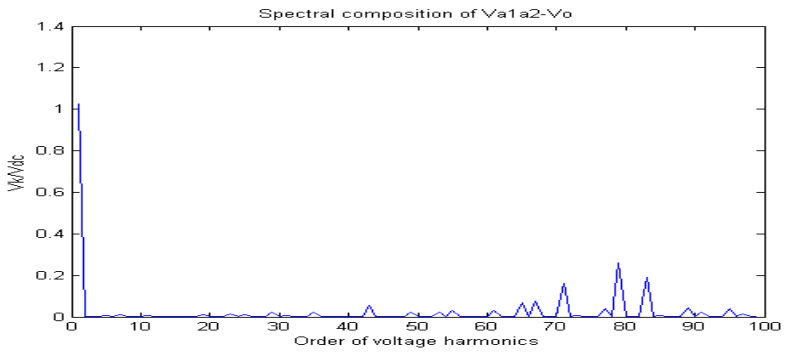
a)



b)



c)



d)

Fig. 11. Spectral composition of voltage waveforms for the drive system with discontinuous synchronised PWM at $F = 40\ Hz$: a) V_{a10}; b) V_{a1a2}; c) V_0; d) $V_{a1a2} - V_0$.

The presented in Fig, 9,d and Fig. 11,d results of analysis of voltage spectral composition show, that actual motor phase voltage of the drive system with synchronised discontinuous PWM has quarter-wave symmetry, and its spectrum does not include even harmonics and combined harmonics (sub-harmonics).

4.3. Spectral Assessment of the Voltage Waveforms

In order to compare the modulation schemes proposed for control of dual inverter-fed drive systems, a comparative analysis of the spectra of the actual motor phase voltage has been executed based on computer simulation. Weighted Total Harmonic Distortion factor

(*WTHD*)(1), reflecting the actual level of a harmonic distortion for a first order ac filter, is well suited for using in adjustable speed drive and is used for determination of its quality [7]:

$$WTHD = (1/V_1)\sqrt{\sum_{i=2}^{n}(V_i / i)^2} \,. \qquad (1)$$

Fig. 12 presents averaged results of calculation of *WTHD* for actual motor phase voltage ($V_{a1a2} - V_o$) of the drive system for the analyzed continuous (CPWM) and discontinuous (DPWM) versions of synchronised modulation during standard scalar *V/F* control until the zone of overmodulation (modulation index $m = 0.3–0.9$). Average switching frequency of each inverter is equal to *700 Hz* for both versions of PWM. Dotted lines in Fig. 12 show results of calculation of *WTHD* factor for the line-to-line output voltage of each inverter ($V_{a1b1} = V_{a2b2}$) for both mentioned above schemes of synchronised PWM.

Fig. 13 shows *WTHD* versus modulation index for actual motor phase voltage of the drive system with average switching frequency of each inverter is equal to *1 kHz*.

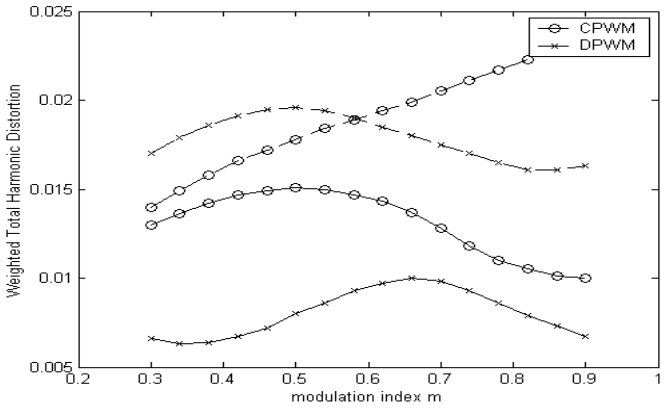


Fig. 12. *WTHD* of actual motor phase voltage (——), and of the line-to-line output voltage of each inverter (- - -) ($F_s = 700$ *Hz*).

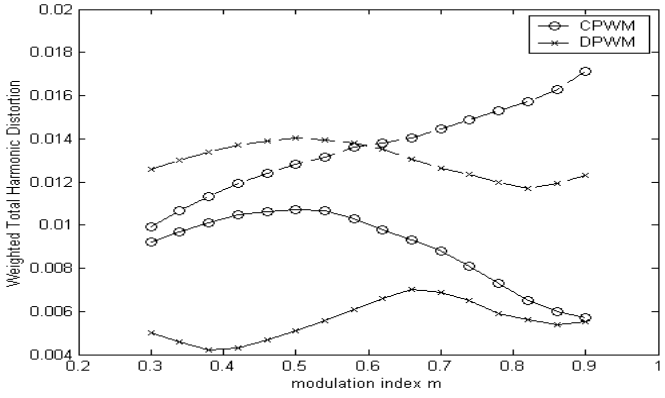


Fig. 13. *WTHD* of actual motor phase voltage (——), and of the line-to-line output voltage of each inverter (- - -) ($F_s = 1$ *kHz*).

Presented in Fig. 12 and Fig. 13 results of analysis of spectral composition of actual motor phase voltage for dual inverter-fed open-end winding motor drive show that Weighted Total Harmonic Distortion factor is much better for drive system with discontinuous (DPWM) version of synchronised PWM during all undermodulation control region.

CONCLUSION

Dissemination of the methodology of synchronised pulsewidth modulation to dual inverter-fed drive systems with open-end winding induction motors allows to provide quarter-wave symmetry of actual motor phase voltage during the whole control range including the zone of overmodulation.

The spectra of actual motor phase voltage do not include even harmonics and combined harmonics (sub-harmonics), which is especially important for the systems with low switching frequencies and increased power rate.

In dual inverter-fed drive systems algorithms of discontinuous synchronised PWM provide better spectral composition of actual motor phase voltage in comparison with continuous PWM schemes during the whole control range.

ACKNOWLEDGMENT

The presented research has been supported in part by the Award MOE2-2612-CH-04 of the US Civilian Research and Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (CRDF).

REFERENCES

[1] F. Profumo, A. Tenconi, V. Ravello and G. Brusaglino, “Electric and Hybrid Vehicles Technology: Ideas for Short and Long Term Diffusion in Europe“, in *Proc. of the IEEE IPEC’2000*, pp.1953-1959.

[2] R. Bojoi, A. Tenconi, F. Profumo, G. Griva and D. Martinello, “Complete Analysis and Comparative Study of Digital Modulation Techniques for Dual Three-Phase AC Motor Drives”, in *Proc. of the IEEE PESC’2002*, pp.851-857.

[3] R. Bojoi, M. Lazzari, F. Profumo and A. Tenconi, “Digital Field-Oriented Control for Dual Three-Phase Induction Motor Driver”, *IEEE Trans. on Industry Appl.*, vol.39, no.3, 2003, pp.752-760.

[4] H. Stemmler and P. Guggenbach, “Configurations of high power voltage source inverter drives”, in *Proc. of the EPE’93 Conf.*, pp.7-12.

[5] K.A. Corzine, S.D. Sudhoff and C.A. Whitcomb, “Performance characteristics of a cascaded two-level converter”, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol.14, no.3, pp.433-439, 1999.

[6] V.T. Somasekhar, K. Gopakumar, A. Pitted and V.T. Ranganathan, “PWM inverter switching strategy for a dual two-level inverter fed open-end winding induction motor

drive with a switched neutral", *IEE Proc. – Electr. Power Appl.*, vol.149, no.2, pp.152-160, 2002.
[7] V. Oleschuk and F. Blaabjerg, "Direct synchronized PWM techniques with linear control functions for adjustable speed drives", in *Proc. of the IEEE APEC'2002*, pp.76-82.
[8] V. Oleschuk, F. Blaabjerg and B.K. Bose, "Triphase cascaded converters with direct synchronous pulsewidth modulation", *Automatika*, vol.44, no.1-2, pp.27-33, 2003.

Valentin Oleschuk, D.Sc., is Director of the Laboratory of Automated Electric Drives of Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author and co-author of two books and more than 150 publications in the field of Power Electronics and Electric Drives, including 30 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.

Alexandr Sizov is Scientific Collaborator of the Laboratory of Automated Electric Drives of Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author and co-author of about 40 publications and 10 authors certificates in the field of Power Electronics and Electric Drives. His research interests include elaboration, modelling and simulation of control algorithms and control systems for power electronic converters and drive systems.

Alexandar M. Stankovic (Fellow, IEEE), is Professor of the Electrical and Computer Department of Northeastern University (Boston, USA). He is author and co-author of more than 140 prestigious publications (mainly in the IEEE transactions and proceedings) on Energy Systems, Power Electronics and Electric Drives. His research interests include different aspects of control theory with its applications for energy processing systems, including generation, transmission and energy conversion.

Evgeni Yaroshenko holds position of Scientific Secretary of Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova, and also works partly as Scientific Collaborator of the Laboratory of the Automated Electric Drives of the Institute He is author and co-author of more than 40 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.

УДК 676.019

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

С.А.Рожков, Д.А.Бражник, А.В.Серов

Аннотация. В статье проведен анализ существующих систем контроля качества стеклянных изделий применительно к задачам автоматизации контроля качества готовой продукции. Приведены результаты экспериментальных исследований макета системы контроля качества с оптическим датчиком.

SOME PROBLEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF DEFECTS OF GLASSWORKS

Rozhkov S.A., Brazhnik D.A., Serov A.V.

Abstract It is performed analysis of existing systems for checking a quality of glass products with reference to problems of automation of checking of quality of finished products. There are brought results of experimental studies of the model of the system for quality control with the optical sensor.

PROBLEMELE CONTROLULUI AUTOMATIZAT DEFECTELOR ARTICOLELOR DIN STICLĂ

Rojkov S.A., Brajnik D.A., Serov A.V.

Rezumat În acest lucrul este petrtcut analiza sistemelor de control al calității articolelor din sticlă în legătură cu sarcinile de automatizarea de control al produsului final. Sunt adusă rezultatele ale cercetărilor experimentale ale mostrei a sistemei cu senzor optic.

Введение. Причиной плохого качества стеклоизделий чаще всего являются отклонения от технологического процесса, такие, например, как изменение температуры стекломассы в питателе, нарушения режима охлаждения форм и машин, неопытность оператора и др. Автоматизация таких процессов, благодаря стабилизации режимов формирования стеклоизделия, позволяет повысить качество и производительность, значительно облегчает работу операторов. При этом они значительно меньше времени будут находиться в рабочей зоне рядом с машинами, рабочие поверхности форм которых нагреты до высокой температуры, а атмосфера сильно загазована.

Постановка проблемы. Высококачественное формирование изделий из стекла возможно при оснащении питателей стекломассы и машин, которые формируют изделие, автоматической аппаратурой регулирования и контроля [1]. При этом задачи автоматизации процесса формирования стеклоизделий можно условно разбить на две группы:

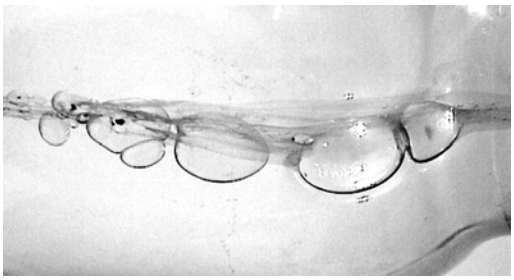
- автоматическое поддержание отдельных параметров режимов формирования: температуры и массы расплава стекла, подаваемого в формы; температуры поверхности рабочих органов или стекла на отдельных стадиях формирования; давления воздуха, временной последовательности стадий формирования;
- автоматическое управление процессом формирования с коррекцией по результатам контроля качественных показателей изделий на выходе.

Для решения этих задач необходимо использовать большую группу контрольно-измерительных приборов, включая приборы контроля температуры стекла и поверхности рабочих органов машины (в том числе подвижных), вязкости расплава, массы, размеров и качества поверхности изделий и др. Поддержка режимных параметров формирования стеклоизделия выполняется с помощью локальных регуляторов, а качество регулирования во многом зависит от эффективности влияния регулировочных органов на технологический процесс. Так, например, нагревательные элементы в питателе должны обеспечить не только необходимую

температуру стекла на выходе, но и равномерность температуры во всем объеме капли стекла, подаваемой в форму машины.

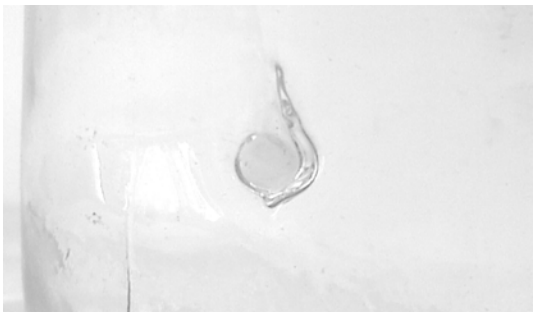
Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что деформация (для стекла), это дефект стеклянной тары, которая представляет собой изменение ее формы в результате нарушения режимов формирования и (или) термической обработки. На рис.1 показаны некоторые дефекты стекла, обусловленные плохим качеством стекломассы и нарушениями техпроцесса.

.

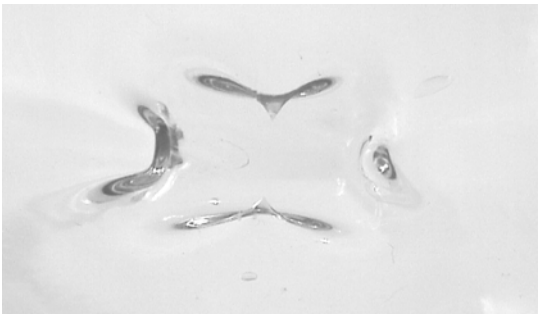


а) Пузырь в стекле

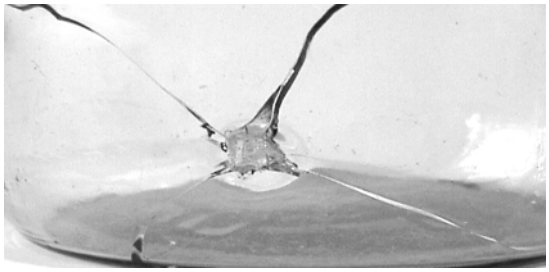
б) Свиль



в) Шлир



г) Складка (стекло)



д) Сквозная посечка, скол

Рис.1 Основные дефекты стекла

Методы повышения качества продукции. Качество стеклоизделий закладывается уже в процессе варки стекла и определяется дальнейшими условиями подготовки стекломассы и формирования изделий. Возникновение пороков связано в основном с нарушениями технологических переходов во время формирования стеклоизделия. Пороки (дефекты), которые появляются на изделиях в процессе их формирования, можно разделить на три основные группы:

- дефекты, связанные с работой питателя;
- дефекты, связанные с работой разных механизмов стеклоформующих машин;
- дефекты, связанные с режимами формового комплекта.

Качество изделий во многом зависит от работы питателя, а определить, откуда поступает на формирование дефектная стекломасса, из печи или из питателя, можно по пробе стекла, взятой из рабочего отделения печи. Дефекты, связанные с работой питателя, можно разделить на: посторонние включения, дефекты термические и механические. Посторонние включения связаны с качеством стекломассы. Они могут поступать в питатель из печи или получаться в нем. К этому виду дефектов относятся пузыри «мошка», твердые включения (непровар), продукты кристаллизации стекла, разрушения огнеупора.

Термические дефекты — наиболее характерные дефекты капли, которые возникают из-за термической негомогенности массы капли. Из капли с неравномерной температурой нельзя получить изделие с правильным распределением стекла. Обычный брак изделий в таком случае - продутость и большой залив дна. Сюда же нужно отнести излишне холодную или излишне горячую каплю.

Механические дефекты капли - дефекты формы, массы, качества поверхности капли и ритма подачи капли в форму. Что касается формы и массы, то, как известно, питатели имеют много разнообразных возможностей для довольно широкого выбора формы и массы капель. Сюда относятся разная настройка хода плунжера, его высотное расположение над дверным глазком, диаметр плунжера и форма его рабочего конца, диаметр дверного глазка, расположения бушинга по высоте (глубина погружения), расположения ножниц, координация в времени моментов подъема плунжера и отреза ножниц. Большое влияние на форму и массу капли делает тепловой режим питателя, который тоже можно использовать, но только к известной степени и строго в рамках оптимального рабочего интервала температур.

Возникновение пороков при неудовлетворительной работе механизмов стеклоформующего автомата можно устранить путем регулирования и настройки отдельных узлов всего автомата в целом. При квалифицированном и своевременном его обслуживании дефекты данного вида могут быть исключены.

Значительно влияют на качество изделий и режимы формовых комплектов: тепловой режим, режимы оборудования, смазывания, замены и очищения форм. При отклонении температуры форм в сторону перегрева на изделиях возникают характерные дефекты «горячего хода» машины (налипания стекла к формам, разрывы, слипания, деформация изделий и т.д.)

При отклонении температуры форм в сторону «холодного хода» машины возникают другие специфические дефекты (посечки, кованость, складки, недооформления и т.д.). Рабочий интервал нагревания форм лежит между этими двумя противоположными вредными отклонениями и зависит от разных факторов: конфигурации и типа изделий, распределения стекла в изделии (толщина стенок и дна), массы изделий, химического состава стекла (короткое, длинное), его теплопрозрачности (обесцвеченное, выкрашенное), скорости работы автомата и его конструкции, и от самих форм (их материала, площади, характера теплоотдающей поверхности и др.). Основные методы стабилизации режима формирования приведены в [2].

Технические средства контроля качества стеклоизделий. В данное время на стеклянных заводах широко применяют контроль изделий с целью их разбраковывания. Изделия контролируются после печи путем выборочного определения партии или непрерывно в поточной линии.

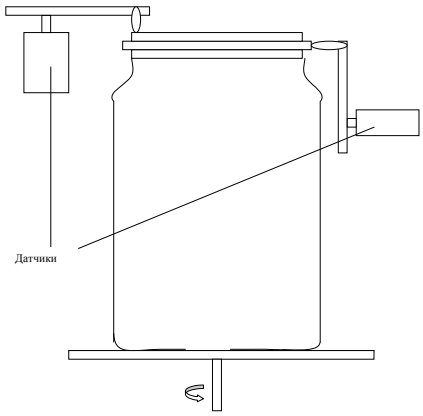
Автоматическая сортировка по результатам контроля изделий после печи отжига решает лишь задачу снабжения потребителя изделиями, причем разбраковывание изделий идет в ущерб экономическим интересам завода-изготовителя. Задачу автоматического контроля необходимо решать не только с позиции разбраковывания

изделий, но, прежде всего с позиции управления технологическим процессом формирования стеклоизделия путем введения в систему управления обратной связи по качеству изделий [1].

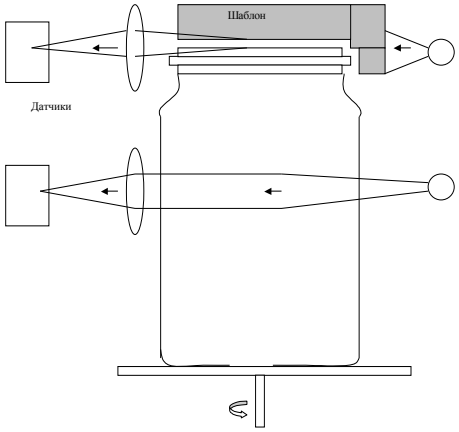
Качество изделий характеризуется в первую очередь точностью геометрических размеров, которые определяют работу, например, машин (механизмов) в линиях розлива продуктов и укупорки стеклотары, и состоянием поверхности стекла, которое оказывает влияние на прочность изделия.

В стеклянной промышленности используются контактные и бесконтактные методы контроля линейных размеров изделий. Соответственно, требованиями Государственных стандартов контролируются следующие основные геометрические размеры: максимальный и минимальный внутренний и внешний диаметры горла, овальность горла, диаметр корпуса, высота изделия, соосность (отклонение центра горла от оси корпуса).

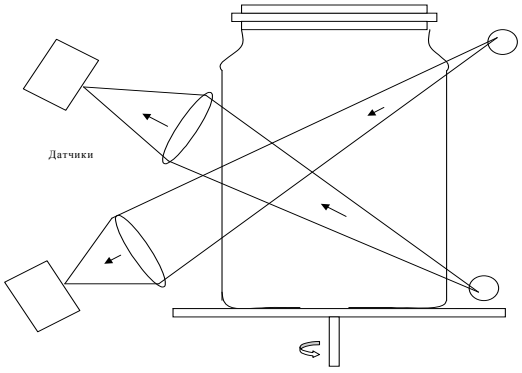
Из контактных методов контроля наибольшее распространение получили механические методы с применением измерительных калибров или датчиков, которые преобразуют линейные перемещения, вызванные отклонением геометрических размеров, в электрический сигнал (рис.2, а).



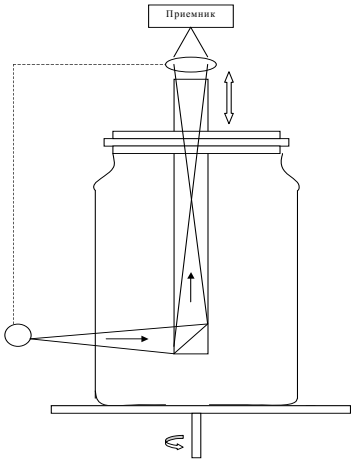
а) Механический контроль



б) Фотоэлектрический контроль



в) Фотоэлектрический контроль



г) Электромеханическое сканирование

Рис.2 Использования механических датчиков

С помощью калибров контролируются размеры горла и внешний диаметр корпуса. Для контроля внутреннего диаметра горла применяется калибр-пробка, при этом используется цилиндрический калибр ступенчатой формы для минимально и максимально допустимого диаметра. Внешние диаметры горла и корпуса контролируются с помощью калибра-кольца или скобы. Допустимые отклонения размеров внутреннего диаметра горла 0.6 мм, внешнего – 0.1 мм.

В датчиках контроля геометрических размеров стеклотары чувствительным элементом является подвижный рычаг, один конец которого контактирует с измеряемым изделием, а другой преобразует перемещения в электрический сигнал. Простейший из них это электроконтактный датчик, в котором изменение размеров вызывает замыкание электрического контакта и срабатывание реле. Для повышения точности и надежности контроля применяют индуктивные, емкостные датчики. Так, с использованием индуктивных датчиков, Одесский филиал научно-исследовательского и проектно-конструкторского института стеклянного машиностроения разработал многомерное приспособление для выборочного контроля геометрических параметров бутылок: внешнего диаметра корпуса, диаметра венчика, внутреннего диаметра горла, отклонения центра горла от оси корпуса, высоты.

Определение геометрических параметров бутылки на многомерном приспособлении выполняется таким образом. Контролируемые изделия устанавливают в приспособление и фиксируют в нем. Одновременно внутрь изделия вводится нутромер, а мерительные скобы охватывают соответственно венчик и корпус. При повороте изделия вокруг осы рычажные системы измерителей диаметра и высоты передают отклонения контролируемых размеров на сердечники индуктивных датчиков, катушки которых включенные в мостовые измерительные схемы. Выход какого-либо параметра за пределы допуска регистрируется и сигнализируется. Точность измерения составляет 10-15% от допуска.

Метод контактных измерений привлекает своей простотой, экономичностью, не требует высокой квалификации от обслуживающего персонала. Однако этот метод обладает достаточно низкой надежностью и его сложно использовать при контроле объекта, который перемещается. Поэтому при создании устройств автоматического контроля геометрических размеров стеклотары отдают предпочтение бесконтактным методам измерения (рис.2, б).

Наиболее распространенным бесконтактным методом контроля является фотоэлектрический метод. Фотоэлектрические устройства контроля геометрических размеров изделий содержат источник света, оптическую систему и приемник излучения (фотоэлемент). Принцип работы устройства основан на зависимости величины потока излучения, который попадает на фотоэлемент, от размеров изделия, помещенного на пути потока излучения. О величине контролируемого размера судят по фототоку приемника излучения. С помощью фотодатчиков контролируют внешние размеры: высоту, диаметр, форму горла.

Одним из перспективных фотоэлектрических методов контроля геометрических размеров объектов, которые перемещаются, является фотоимпульсный метод. Сущность его состоит в преобразовании теневого изображения тела, которое двигается, в световые импульсы, продолжительность которых пропорциональная измеренной величине. По данному методу построенные измерители геометрических размеров разнообразных изделий: проката, провода, труб и др., в том числе изделий из стекла.

Для контроля поверхностных дефектов стеклотары существует ряд неразрушающих методов дефектоскопии материалов. К их числу относятся: гамма-дефектоскопия, оптическая и ІК-дефектоскопия, СВЧ, ультразвуковая и акустическая дефектоскопия. Для контроля качества поверхности стеклотары наибольшее

распространение получили оптические методы с использованием разных фотоэлектрических устройств. При этом используется свойство дефекта изменять интенсивность светового потока, который проходит через него, или отражать его под тем или другим углом (рис.2, в). На оптическом принципе контроля дефектов известен ряд устройств [3,4].

Автоматический контроль качества поверхности бутылки может выполняется сканированием зеркала, введенного через горло изделия, вдоль стенки и передачи через него потока света от источника к фотоэлементам (рис.2,г). Изделие на контрольной позиции оборачивается так, что просматривается вся поверхность бутылки от дна к горлу. При изменении интенсивности отраженного света срабатывает выходное устройство и производится разбраковывание изделий.

Для контроля посечек, трещин, пузырей используют эффект преломления лучей света дефектным участком. Контроль ведется по углу отклонения луча или изменению интенсивности светового потока отклоненного луча. Обычно контрольная головка содержит источник излучения и фотодетектор. Сфокусированный и диафрагмированный световой поток от источника направляется на контролируемую зону стеклоизделия. В случае появления дефекта (посечки) на пути прохождения светового луча последний отражается от ее поверхности. Отраженный световой луч попадает на фотодетектор, например, фоторезистор, который превращает световой сигнал в электрический. Сканирование зондирующим лучом всей контролируемой поверхности стеклоизделия осуществляется обращением последнего вокруг своей оси. Для повышения чувствительности и автоматического анализа характера и вида дефекта перспективно использование лазерных сканирующих устройств и световодов, которые передают отраженные под разными углами лучи к соответствующим фотоэлементам.

Управление процессом формирования стеклоизделий по качеству. Существующие методы и устройства контроля стеклотары после печи отжига не отвечают требованиям, предлагаемым к современным системам управления технологическими процессами производства в первую очередь из-за большого времени запаздывания между моментами появления дефекта и его выявления. Так, время от появления дефекта к его выявлению после печи отжига составляет 1-2 ч.

Для управления процессом формирования стеклоизделий необходимо контролировать качество изделий на выходе стеклоформирующей машины. Такой контроль проводит оператор визуально, причем без систематизации дефектов, и потому не может быть эффективно использован для управления стеклоформирующей машиной.

Контроль качества стеклоизделий, которые поступают из машины и имеют высокую температуру, должен быть бесконтактным. Наиболее приемлемая оптическая и инфракрасная дефектоскопия. При этом использование этих методов для контроля горячих стеклоизделий необходимо учитывать влияние их собственного излучения.

Методы инфракрасной дефектоскопии, которые приобретают в последнее время все большее распространение, основаны на тепловом контрасте дефектной зоны объекта контроля и близлежащих областей. Нестационарные тепловые поля, которые возникают из-за дефектов, регистрируются бесконтактными электромагнитными преобразователями. Контроль дефектов материалов с помощью ИК- дефектоскопии может осуществляться с подсвечиванием объекта и с использованием собственного теплоизлучения. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при организации контроля качества поверхности горячих стеклоизделий.

При выборе метода дефектоскопии необходимо учитывать задачи не только выявления дефектов на горячем стеклоизделии, но и задачи классификации дефектов по внешнему виду (посечка, пузырь, складка и др.) и геометрическим размерам.

При разработке систем управления формированием по качеству стеклоизделий на выходе стеклоформирующей машины необходимо решить следующие задачи:

- контроль дефектов горячих изделий на выходе стеклоформирующей машины;
- классификацию дефектов;
- установления связей между дефектами и параметрами технологических процессов производства стеклотары, нарушения которых приводит к дефектам.

Одной из сложных проблем при создании системы управления формирования качества стеклоизделий является выделение дефектов, связанных с технологией формирования и установлением связей между дефектом и параметрами технологического процесса.

Постановка задачи. Большое значение приобретает создание системы автоматического управления процессом формирования с использованием вычислительного устройства, которое связывает результаты контроля технологических параметров формирования и показателей качества изделий на выходе машины. Оценка качества изделий обычно оценивается с помощью систем автоматического контроля, которые выполнены в виде отдельных устройств и автоматов, установленных в конце линии изготовления. Для автоматизации процесса формирования стеклоизделий целесообразна установка системы контроля качества изделий на выходе стеклоформующих машин.

Предложено использовать систему управления формированием стеклоизделий по качеству на выходе стеклоформующей машины (рис.3).

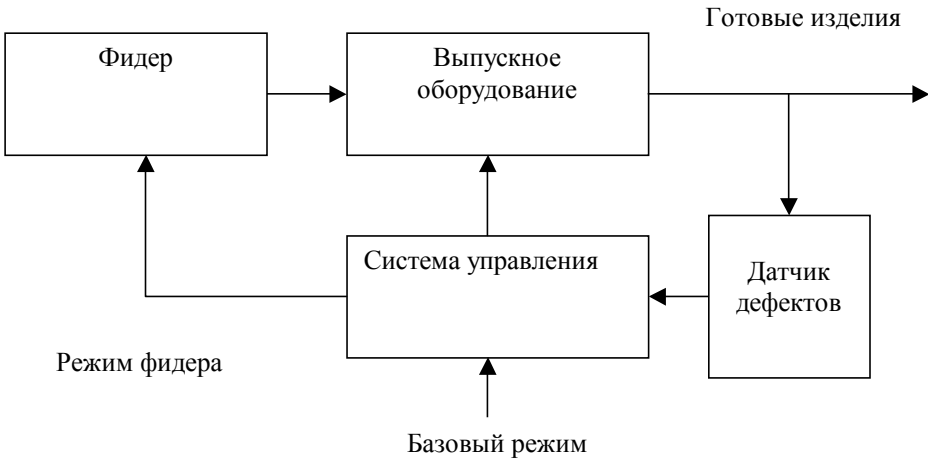


Рис.3 Управление по качеству изделий

Решение задачи можно значительно упростить, если вести контроль качества стеклоизделий не по всем дефектам, а только по основным дефектам, которые определяют пригодность стеклотары для разлива в них продуктов, и только по тем из них, которые являются следствием процесса формирования. Это, прежде всего, глубокие посечки, трещины и отклонения геометрических размеров.

Однако сложность технологического процесса требует для формирования управления контроля всего спектра дефектов. Анализ потока дефектов разрешает разделить дефекты, которые возникают на стадии формирования, от дефектов связанных с температурным режимом фидера.

Формирование управляющего корректирующего воздействия на систему с исключением сигналов от дефектов, которые возникают вследствие неисправностей формовых комплектов, значительно повысит эффективность регулирования процесса формирования.

Таким образом, дефекты стеклоизделий можно разделить на группы по признакам:

- периодические дефекты – дефекты формирования,
- не периодические дефекты – дефекты, связанные с режимом фидера.

Конструкция устройства для выявления дефектов стеклотары. Для реализации системы контроля качества стеклотары разработан датчик, который показан на рис.4.

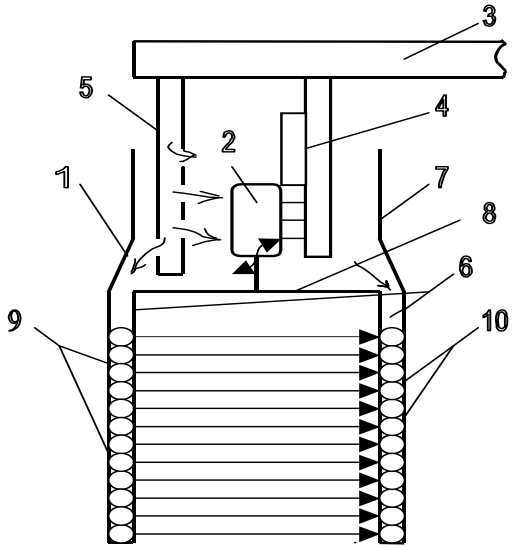


Рис.4 Датчик системы контроля

В состав датчика входят наборы оптопар 9, 10, установленные на вращающейся рамке 8. Для охлаждения датчика применяется обдув по каналу 5, 6, 7. Рамка приводится в движение приводом 2, установленным на кронштейне 3. Передача измерительных сигналов от оптопар, которые сканируют, к системе обработки сигнала осуществляется устройством связи 4.

Разработанный датчик позволяет контролировать изделия на ленточном конвейере (рис.5).

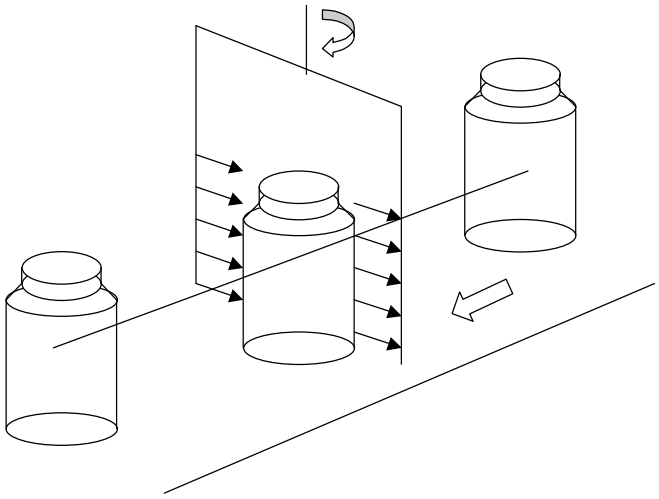


Рис.5 Контроль изделий на конвейере

Достоинством рассмотренного метода является устранение влияния кривизны изделия, простота использования в условиях цеха и возможность работы в условиях повышенной температуры. При этом возникает необходимость разработки

специальных решений для электронной части системы, так как нужна незначительная инерционность подвижной части датчика и, естественно, необходима экспериментальная проверка работоспособности устройства [5].

С целью изучения возможности реализации системы проведено макетирование датчика. Структурная схема макета системы приведена на рисунке 6.

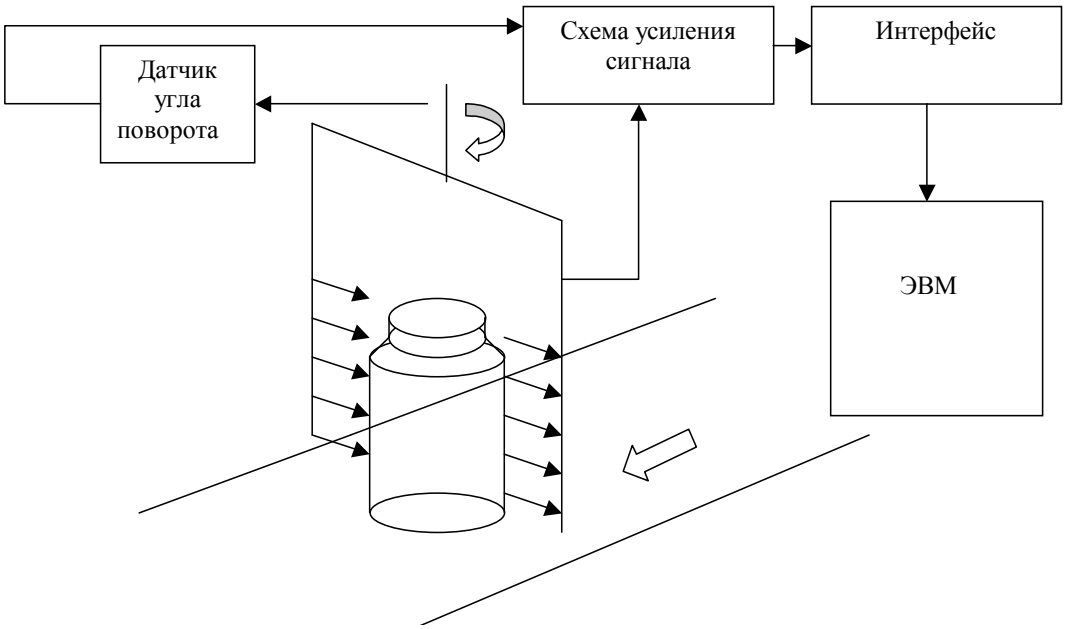
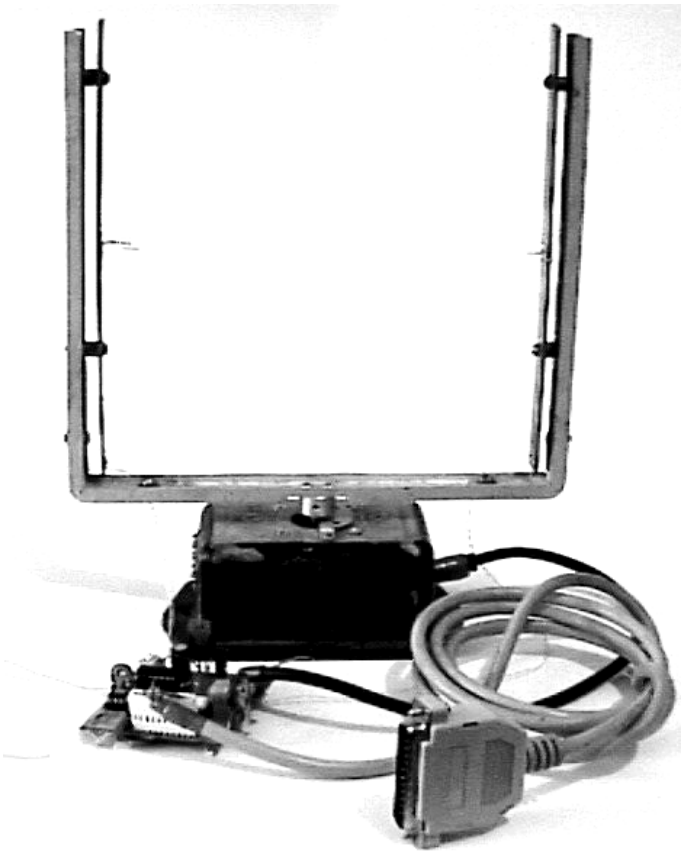
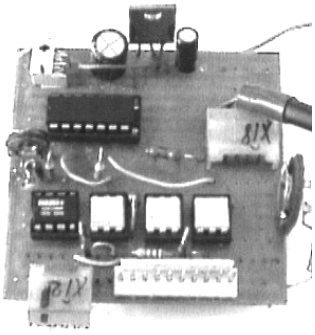


Рис.6 Структурная схема макета системы для контроля стеклоизделий

На рис.7 а, 7б показан внешний вид макета датчика и платы интерфейса.





а) внешний вид макета датчика б) плата интерфейса

Рис.7 Конструкция макета датчика

Угол поворота датчика контролируется с помощью сигналов управления шаговым двигателем привода. Сигналы сканирования выбираются для фиксированных углов и после квантования по уровню передаются через интерфейсную плату в ЭВМ.

Для практического применения устройство разработано на основе 12-разрядного АЦП MAX1241. Можно использовать и 10-разрядный АЦП MAX1243, который также имеет характеристики, достаточные для реализации системы управления. При этом возможно использовать одни и те же элементы и одинаковое их размещение на печатной плате устройства. Выполненный макет датчика позволил провести экспериментальное исследование сигналов для основных дефектов стеклотары.

Результаты эксперимента. В ходе эксперимента выполнялось сканирование образца стеклоизделия и обработанные сигналы этого контроля регистрировались в ЭВМ.

Сканирование образцов с реальными дефектами стеклотары проводилось при повороте датчика на 180°. Приведенные реализации охватывают угол 90°, так как в диапазоне 90-180 ° сигнал повторяется.

С цель определения степени влияния неидеальности формы изделия и погрешностей сканера проведены эксперименты с бездефектными изделиями.

На рис.8 показан один пример типовой реализации сигналов сканирования, полученный в ходе проведенных экспериментов.

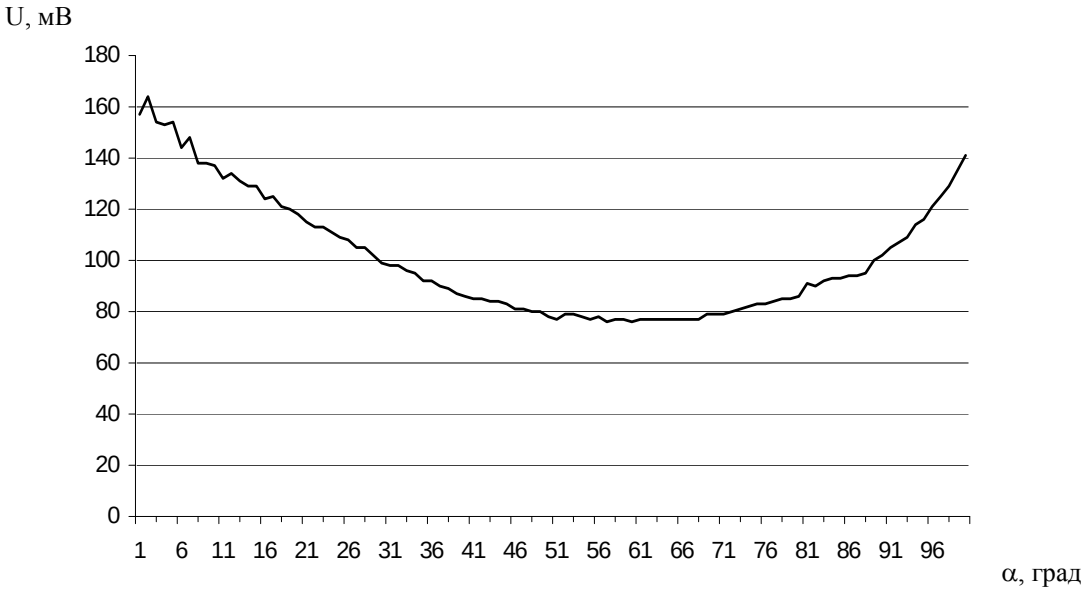


Рис.8 Сигнал сканирования бездефектного изделия

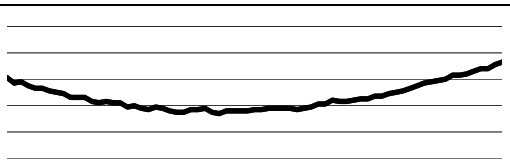
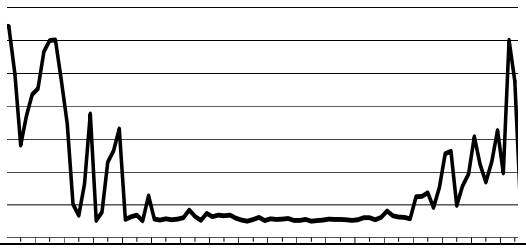
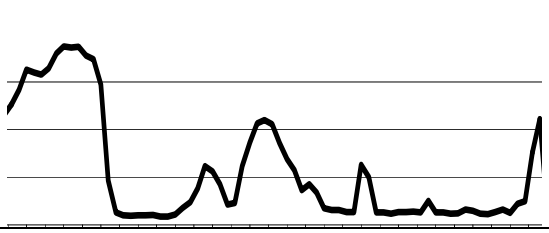
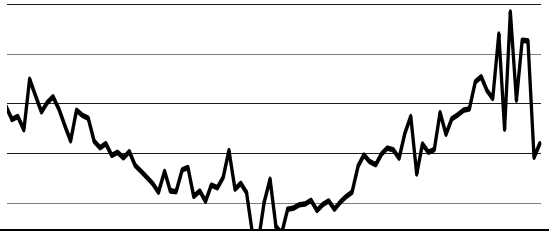
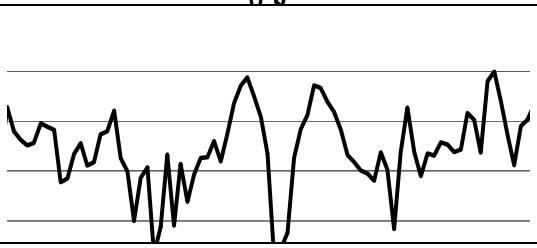
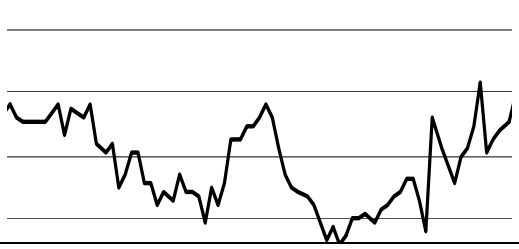
Как видно (рис.8), фоновый сигнал имеет достаточно большую амплитуду, но характер сигнала постоянен и возможно устранение его влияния за счет центрирования.

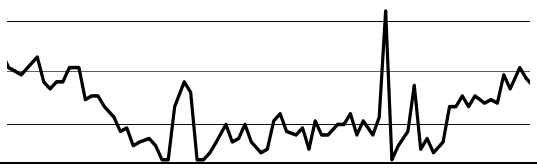
При повышенной температуре стекломассы повышается пластичность и нарушаются условия формования изделия. При этом наблюдается неравномерность толщины стенок изделия. Данное явление возникает не только при неточном регулировании температуры, но и при изменении характеристик стекломассы.

В табл. 1 представлены типовые сигналы дефектов стеклянных изделий и соответствующие им реакции системы коррекции температурных режимов системы.

Сигналы дефектов и реакции системы

Таблица 1

№ пп	Наименование дефекта	Сигнал сканирования	Реакция системы
1	Сигнал сканирования изделия без дефекта – фоновый сигнал неравномерности вызванный неидеальностью формы изделия..		Реакция системы отсутствует
2	Разнотолщинность – неравномерность толщины стекла из-за повышенной температуры капли.		Снижение температуры капли
3	Деформация изделия – резкое изменение толщины стенок, потеря формы изделия.		Снижение температуры капли
4	Волнистость стекла – местные неравномерности стекла из-за низкой температуры.		Повышение температуры форм.
5	Сквозные трещины – недостаточна пластичность из-за низкой температуры.		Повышение температуры форм.
6	Капля – местное утолщение стекла стенок из-за повышенной текучести.		Снижение температуры капли

7	Шов и стеклянная нить – дефект формы и недостаточна температура формы.		Повышение температуры форм

Как видно из результатов экспериментов (табл.2), для исследованных дефектов можно реализовать систему классификации и формирования управления для экстремального температурного режима фидера по качеству стеклоизделия.

Выводы. Исходя из проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Причины возникновения дефектов стеклоизделий связаны с тремя основными факторами – низкое качество исходного сырья, нарушение режима варочной части печи и неоптимальностью технологических режимов выпускной части.
2. Основываясь на анализе потока дефектов стеклоизделий возможно формировать управления режимами работы стеклоплавильной печи.
3. Оптимизация режимов выпускной части печи требует наименьших затрат энергии, а следовательно, является наиболее эффективной, так как на данном участке чувствительность к управлению максимальна.
4. Для контроля качества стеклоизделий необходимо использовать специальные оптические датчики.
5. Разработанный датчик обеспечивает достаточное качество сигналов контроля. Реализация датчика не вызывает значительных технических сложностей и позволяет контролировать дефекты стеклотары.
6. Сигналы дефектов стеклотары позволяют сформировать управляющее воздействие для оптимизации теплового режима выпускной части печи.
7. Рассмотренный технологический процесс позволяет решить задачу минимизации затрат на управление за счет распределения ресурса управления на участок с максимальной чувствительностью.
8. Использование метода распределения управляющего воздействия в задачах оптимального управления по критерию минимума энергозатрат возможно реализовать не только при управлении процессом изготовления стеклоизделий, но и в ряде других производств, где реализация управления по качественным показателям продукции позволяет сформировать управления на участках с высокими энергозатратами и высокой чувствительностью к управлению. Примером такого производства может служить текстильная отрасль, где незначительные коррекции технологических процессов позволяют устранять значительные затраты на повторную обработку материалов и снижают брак.

Литература

1 Гущин С.Н., Лисиненко В.Г., Кутьин В.Б. Моделирование и управление тепловой работой стекловаренных печей. - Екатеринбург: УГТУ, 1997. - 398 с.

2. Виды брака в производстве стекла. /Х.Бах, Ф.Г.К.Баукке, Р.Брюкнер и др.; Под ред. Г.Иебсена-Марведеля и Р.Брюкнера. Сокращенный перевод с немецкого Л.Г.Байбурт и др.; Под ред.Н.Н.Рохлина./ – М.: Стройиздат, 1986. – 648 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратурное и математическое обеспечение)/А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К.

Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. –424 с.
4. Катыс Г.П. Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой. – М.: Машиностроение, 1986.- 416 с.
5. Пустынский И.Н. и др. Адаптивные фотоэлектрические преобразователи с микропроцессорами/И.Н.Пустынский, В.С.Титов, Т.А. Ширабакина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. –80 с.

THE MATHEMATICAL MODEL REALIZATION ALGORITHM OF HIGH VOLTAGE CABLE

M.Tirshu
Power Engineering Institute of Academy of Sciences of Moldova, mtirsu@cc.acad.md

Abstract. *At mathematical model realization algorithm is very important to know the account order of necessary relations and how it presents. Depending of loads or signal sources connection in selected points of mathematical model its very important to know as to make the equations in this point that it was possible to determine all unknown variables in this point. The number of equations which describe this point must to coincide with number of unknown variables, and matrix which describes factors at unknown variables should be square and have dimension equal to number of unknown variables. This article shows procedure and the order of programming of this mathematical model.*

Key words: mathematical model, high voltage cable, propagation process, current and voltage wave.

ALGORITMUL DE REALIZARE A MODELULUI MATEMATIC AL CABLULUI DE TENSIUNE ÎNALTĂ

Tîrşu M.
Institutul de Energetică al Academiei de Ştiinţe a Moldovei mtirsu@cc.acad.md

Referatul: În realizarea algoritmului modelului matematic este foarte important de a cunoaşte ordinea de calcul a relaţiilor necesare şi modul de prezentare a lor. În funcţie de conectarea sarcinilor sau surselor de semnal în anumite puncte ale modelului, este foarte important de a cunoaşte modul de realizare a ecuaţiilor în acest punct, pentru a putea determina toate necunoscutele. Numărul de ecuaţii care descriu acest punct trebuie să coincidă cu numărul de necunoscute, iar matricea care descrie coeficienţii de pe lângă necunoscute trebuie să fie pătrată şi de mărimea necunoscutelor. În această lucrare se prezintă modul şi ordinea de programare a acestui model matematic.

Cuvinte cheie: model matematic, cablu de tensiune înaltă, procese de propagare, undă de tensiune şi curent.

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ

Тыршу М.С. Институт энергетики АН Молдовы mtirsu@cc.acad.md

Реферат: При реализации алгоритма математической модели очень важно знать порядок расчета необходимых выражений и их вид представления. В зависимости от подключенных нагрузок или источников сигнала в определенных точках модели очень важно знать, как составить уравнения в этой точке для того, чтобы можно было определить все неизвестные. Количество уравнений, которые описывают эту точку, должно совпадать с количеством неизвестных, а матрица, описывающая коэффициенты при неизвестных, должна быть квадратная и иметь размерность, равную количеству неизвестных. В данной работе описывается метод и последовательность программирования рассматриваемой математической модели.

Ключевые слова: математическое моделирование, высоковольтный кабель, процессы распространения волн тока и напряжения

Introduction

Simultaneously with growth of the power systems unification tendency in parallel grows also requirements to increase of power safety. In result, it will lead to requirements growth of functioning reliability of all power system components. The high voltage cables constitute one the most important components of power electric distribution system. Therefore, predictive maintenance or cable defects localization in short time will conduct to power safety increase. But, in order to do predictive maintenance it's necessary to make different measurements at workings high voltage cables. At present, is well known that partial discharges are source of information concerning current technical state of high voltage cable (or other high voltage equipment). The

partial discharges really are short-time voltage pulses (ns or μs), which measurement is very difficult. But, due to the technical progress, today, practically, there no problems to make so kind of measurements. The problem consists in analysis of measured data and formulation of adequate conclusion about really technical state of analyzed object. This problem is caused by reflection, refraction and energy dissipation phenomena, because high voltage cable can be represented as a long line with distributed parameters, which include unhomogeneities. Just from these unhomogeneities take place pulses reflection produced by partial discharges. As result, at the measurement points (usually cable ends) we have received pulses parameters of which are very different from original parameters. In order to have possibility to research propagation phenomena of short-time pulses in high voltage cable was elaborated mathematical model which describe adequate it physical structure. This mathematical model give possibility to simulate different really situation (different kind of defects placed in arbitrary points of cable). The purpose of these researches is to establish in future some propagation particularities of these pulses and increase correctness of conclusions about current technical state of cable. But, is very important to be able to program this mathematical model and do needed changes. In this paper will be described the model realization algorithm in any programming system.

1. The high voltage cable mathematical model base relations

As is known from the literature distribution of waves in cable is described with the help of the equations so-called cable equations:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L\frac{di}{dt} + Ri; \qquad -\frac{\partial i}{\partial t} = C\frac{du}{dt} + Gu. \tag{1}$$

The cable equations, which describe wave propagation processes in cable, produced by partial discharges (PD) in insulation are differential equations of hyperbolic type. The solution of this hyperbolic equations system is useful to find with characteristics method [1, 2, 3].

Calculations according to this method are made with the help of a characteristic grid which is generated constantly during calculation (fig.1).

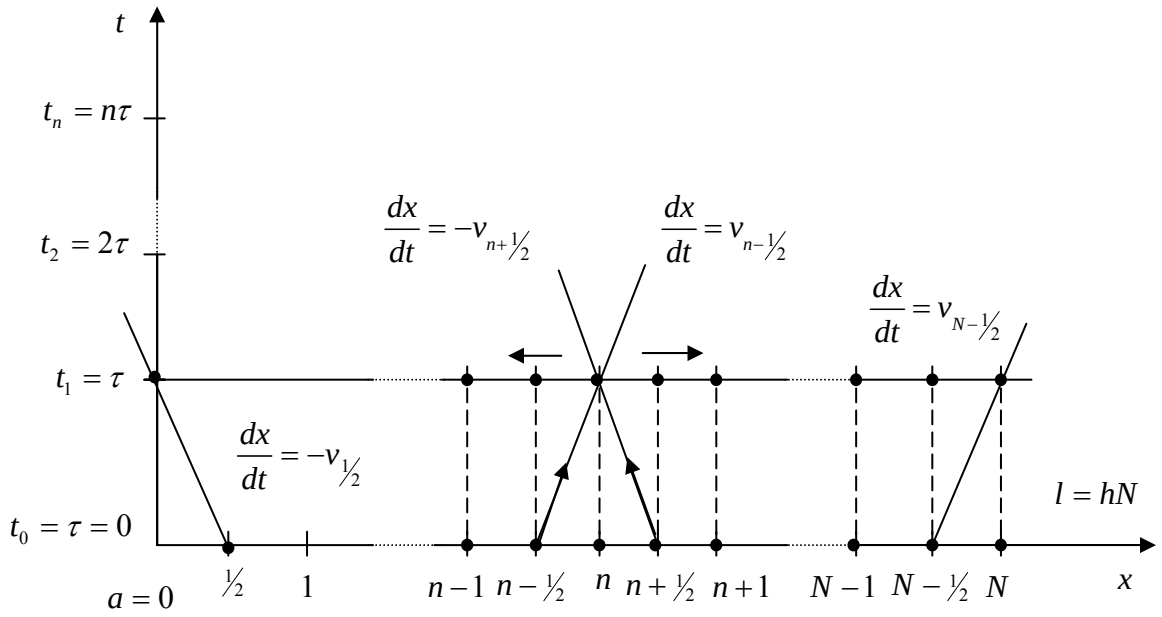


Fig.1. The conventional graphical scheme in two layers using for numerical solving of equations system with partial derivatives.

In order to received numerical solution let introduce a non-uniform grid on segment of discontinuous change of argument $x \in [0, l]$ with value of a step h_n, $n = 1,2,...,N$. The voltage and current unknown functions will be determined in semi-nodes $x_{n-1/2} = (x_{n-1} + x_n)/2$. The division is made so that for any n the condition $h_n/v_{n-1/2} = \tau = const$ satisfied, and on boundary division of line parts with distributed parameter which differ both values and boundary conditions must coincided with points $x = x_n$.

The calculation is made by consecutive steps on time. Knowing the function values i and u on the previous time interval $t = t_0$ (for examples, initial conditions), we can determine unknown function values on next time interval $t_1 = t_0 + \tau$, were τ - time variation step. For approximation of the central differences first derivatives the system equation (1) is replaced with the analogue in the form of final differences, receiving so the equations:

$$\begin{aligned} -\frac{u^n - u^{n-1}}{h_n} &= L_{n-1/2}\frac{i^{n-1/2} - i_{n-1/2}}{\tau} + R_{n-1/2}\frac{i^{n-1/2} + i_{n-1/2}}{2}; \\ -\frac{i^n - i^{n-1}}{h_n} &= C_{n-1/2}\frac{u^{n-1/2} - u_{n-1/2}}{\tau} + G_{n-1/2}\frac{u^{n-1/2} + u_{n-1/2}}{2}, \end{aligned} \tag{2}$$

or in another mode:

$$\begin{aligned} i^{n-1/2} &= \left(L_{n-1/2} + \frac{\tau}{2}R_{n-1/2}\right)^{-1}\left(\frac{\tau}{h_n}(u^{n-1} - u^n) + (L_{n-1/2} - \frac{\tau}{2}R_{n-1/2})i_{n-1/2}\right), \\ u^{n-1/2} &= \left(C_{n-1/2} + \frac{\tau}{2}G_{n-1/2}\right)^{-1}\left(\frac{\tau}{h_n}(i^{n-1} - i^n) + (C_{n-1/2} - \frac{\tau}{2}G_{n-1/2})u_{n-1/2}\right). \end{aligned} \tag{3}$$

Indexes in top correspond to time interval t_1 "top". The additional values i^n, u^n determined in points x_n are calculated from relation:

$$\begin{aligned} i^n + v_{n-1/2}C_{n-1/2}u^n &= i_{n-1/2} + v_{n-1/2}C_{n-1/2}u_{n-1/2}; \\ i^n - v_{n+1/2}C_{n+1/2}u^n &= i_{n+1/2} - v_{n+1/2}C_{n+1/2}u_{n+1/2}, \end{aligned}$$

from were we determine:

$$u^n = \left(v_{n-1/2}C_{n-1/2} + v_{n+1/2}C_{n+1/2}\right)^{-1}\left(i_{n-1/2} - i_{n+1/2} + v_{n-1/2}C_{n-1/2}u_{n-1/2} + v_{n+1/2}C_{n+1/2}u_{n+1/2}\right);$$
$$i^n = i_{n-1/2} + v_{n-1/2}C_{n-1/2}\left(u_{n-1/2} - u^n\right). \tag{4}$$

For *i* and *u* values computation in $x_0 = 0$ and $x_N = l$ points the boundary conditions and corresponding relations on characteristics are used:

$$\begin{aligned}
&\alpha_0 i_0 + \beta_0 u_0 = f_0;\\
&i_0 - v_{1/2}C_{1/2}u_0 = i_{1/2} - v_{1/2}C_{1/2}u_{1/2};\\
&\alpha_l i_N + \beta_l u_N = f_l;\\
&i_N + v_{N-1/2}C_{N-1/2}u_N = i_{N-1/2} + v_{N-1/2}C_{N-1/2}u_{N-1/2}.
\end{aligned} \tag{5}$$

If the condition (6) satisfies:

$$\begin{vmatrix} \alpha_0 & \beta_0 \\ 1 & -v_0C_0 \end{vmatrix} \neq 0, \quad \begin{vmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ 1 & v_1C_1 \end{vmatrix} \neq 0, \tag{6}$$

then equation system (5) have one solution only.

The necessary and sufficient stability condition of numerical computation method is obtained with a priory estimation method of energy balance from relation [2, 3]:

$$\tau \leq h_n / v_{n-1/2}. \tag{6}$$

2. Mathematical model studying cable

On the fig.2 is presented high voltage equivalent scheme, which have connected a voltage source on input, a RLC circuit in each odd point connected at ground and a RLC circuit in each even point connected in series. These RLC circuits will allow to modeling any type defect. For this scheme will describe the mode of computation algorithm realization.

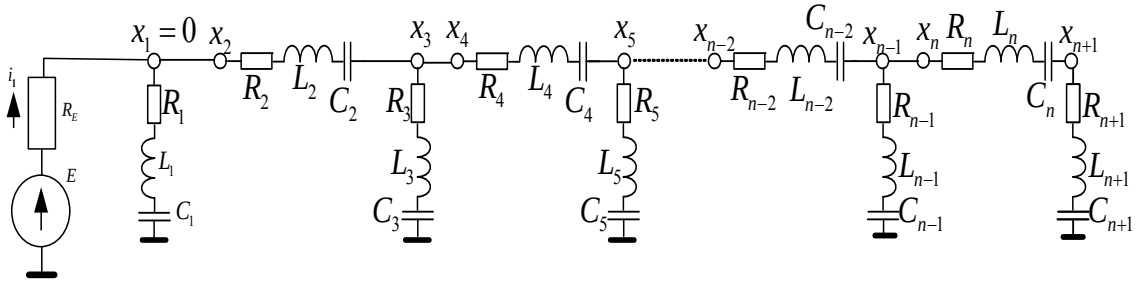


Fig.2 The equivalent high voltage cable scheme with input connected to voltage source and RLC circuits connected in parallel in all odd points and in series in all even points.

So, we have *N+1* particular points, were must to determine parameters. We will start with first point (x_1).

Here we have 4 unknown variables: i_1, i_2, i_3, u_1, were i_1 - left-side current, i_2 - current in RLC circuit, i_3 - right –side current, u_1 - voltage in this point. We will paste these unknown variables in vector of unknown parameters in follow mode: $Z1 = (i_3, u_1, i_1, i_2)^T$. As we have 4 unknown variables, we must have 4 equations and write its in follow mode:

According to the previous description the first will be the characteristic equation:

$$\left(i_3(t) - vCu_1(t)\right)^0 = \left(i_3(t-\tau) - vCu_1(t-\tau)\right)_{1/2};$$

$$i_2 + i_3 - i_1 = 0;\ -i_1 R_E - E - u_1 = 0;$$

$$R_1 i_3 + L_1 \frac{di_3}{dt} + \frac{1}{C_1}\int_0^t i_3 dt - u_1 = 0.$$

From these equations we obtained $Y1$ values, which are known:

$$Y_1 = \left(i_3(t-\tau) - vCu_1(t-\tau)\right)_{1/2};$$

$$Y_2 = 0;\ Y_3 = -E;\ \ Y_4 = \frac{L_1}{\tau} i_2 - \frac{\tau}{C_1}\sum_{k=0}^{n} i_{3,n-k}\ .$$

The matrix *B* of factors at unknown variables will be:

$$B1 = \begin{vmatrix} 1 & -vC & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & -R_E & 0 \\ 0 & -1 & 0 & b_{44} \end{vmatrix};\qquad b_{44} = R_1 + L_1/\tau + \tau/C_1;$$

As result, we can determine the values of unknown variables: $Z1 = B1^{-1}Y1$.

The unknown variables in odd digitization points we will determine in follow mode: Let's note unknown functions: i_i^-, i_i^+, i_i, u_i, were i_i^- - the current in point *i* from left side, i_i^+ - the current in point *i* from right side, i_i - the current in *RLC* circuit from point *i*, u_i - voltage in point *i*, were $i = 3,5,7,\ldots$. We will paste these unknown variables in vector of unknown parameters as follow: $Z_i = \left(i_i^-, i_i^+, i_i, u_i\right)^T$. As we have 4 unknown variables, we must have 4 equations:

$$\begin{aligned}
&\left(i_i^-(t) + vCu_i(t)\right)^n = \left(i_i^-(t-\tau) + vCu_i(t-\tau)\right)_{n-1/2};\\
&\left(i_i^+(t) - vCu_i(t)\right)^n = \left(i_i^+(t-\tau) - vCu_i(t-\tau)\right)_{n+1/2}\\
&i_i + i_i^+ - i_i^- = 0;\\
&R_i i + L_i \frac{di_i}{dt} + \frac{1}{C_i}\int_0^t i_i dt - u_i = 0.
\end{aligned}$$

From these equations we determine known values *Yi*:

$$\begin{aligned}
&Y_1^i = \left(i_i^-(t-\tau) + vCu_i(t-\tau)\right)_{n-1/2};\\
&Y_2^i = \left(i_i^+(t-\tau) - vCu_i(t-\tau)\right)_{n+1/2}\\
&Y_3^i = 0;\ Y_4^i = \frac{L_i}{\tau} i_i - \frac{\tau}{C_i}\sum_{k=0}^{n} i_i^k.
\end{aligned}$$

The matrix *Bi* of factors at unknown variables will be:

$$Bi = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & vC \\ 0 & 1 & 0 & -vC \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & b_{43} & -1 \end{vmatrix}; \qquad b_{43} = R_i + L_i/\tau + \tau/C_i;$$

As result, we can determine the values of unknown variables: $Zi = Bi^{-1}Yi$.

The unknown variables in even digitization points we will determine in follow mode: Let's note unknown functions: i_p, u_p^-, u_p^+, u_p, were u_p^- - the voltage in point *p* from the left, u_p^+ - the voltage from the right side after the *RLC* circuit from point *p*, u_p - the voltage on the *RLC* circuit from point *p*, i_p - the current in point *p*, were $p = 2,4,6,\ldots$. We will paste these unknown variables in vector of unknown parameters as follow: $Z_p = \left(i_p, u_p^-, u_p^+, u_p\right)^T$. As we have 4 unknown variables, we must have 4 equations:

$$\begin{aligned}
&\left(i_p(t) + vCu_p^-(t)\right)^n = \left(i_p(t-\tau) + vCu_p^-(t-\tau)\right)_{n-1/2};\\
&\left(i_p(t) - vCu_p^+(t)\right)^n = \left(i_p(t-\tau) - vCu_p^+(t-\tau)\right)_{n+1/2}\\
&u_p^- - u_p^+ - u_p = 0;\\
&R_p i_p + L_p \frac{di_p}{dt} + \frac{1}{C_p}\int_0^t i_p dt - u_p = 0.
\end{aligned}$$

From these equations we determine known values Yp :

$$\begin{aligned} Y_1^p &= \left(i_p(t-\tau) + vCu_p^-(t-\tau)\right)_{n-1/2}; \\ Y_2^p &= \left(i_p(t-\tau) - vCu_p^+(t-\tau)\right)_{n+1/2} \\ Y_3^p &= 0\ ;\ Y_4^p = \frac{L_p}{\tau} i_p - \frac{\tau}{C_p} \sum_{m=0}^{n} i_p^m\ . \end{aligned}$$

The matrix Bp of factors at unknown variables will be:

$$Bp = \begin{vmatrix} 1 & vC & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -vC & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 \\ b_{41} & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}; \qquad b_{41} = R_p + L_p / \tau + \tau / C_p\ ;$$

As result, we can determine the values of unknown variables: $Zp = Bp^{-1}Yp$.

The unknown variables at the end of cable (point *N*) we will determine in follow mode: Here we have 2 unknown variables only: i_N, u_N . We will paste these unknown variables in vector of unknown parameters as follow: $ZN = \left(i_N, u_N\right)^T$. As we have 2 unknown variables, we must have 2 equations:

$$\begin{aligned} &\left(i_N(t) + vCu_N(t)\right)^N = \left(i_N(t-\tau) + vCu_N(t-\tau)\right)_{N-1/2}; \\ &R_N i_N + L_N \frac{di_N}{dt} + \frac{1}{C_N} \int_0^t i_N dt - u_N = 0\ . \end{aligned}$$

From these equations we determine known values YN :

$$\begin{aligned} Y_1^N &= \left(i_N(t-\tau) + vCu_N(t-\tau)\right)_{N-1/2}; \\ Y_2^N &= \frac{L_N}{\tau} i_N - \frac{\tau}{C_N} \sum_{k=0}^{n} i_N^k\ . \end{aligned}$$

The matrix BN of factors at unknown variables will be:

$$BN = \begin{vmatrix} 1 & vC \\ b_{21} & -1 \end{vmatrix}; \qquad b_{21} = R_N + L_N / \tau + \tau / C_N\ .$$

As result, we can determine the values of unknown variables: $ZN = BN^{-1}YN$.

From this moment we can do the computation program. The functioning scheme is submitted below.

3. The programming algorithm of mathematical model

For programming procedure simplification of mathematical model we will introduce some modifications:

D – current in semi-nodes; U - voltage in semi-nodes; Dx – current in nodes; Ux – voltage in nodes.

$$A1 = L - \frac{\tau}{2}R\ ;\ A2 = \left(L + \frac{\tau}{2}R\right)^{-1}\ ;\ B1 = C - \frac{\tau}{2}G\ ;\ B2 = \left(C + \frac{\tau}{2}G\right)^{-1}.$$

To exclude Gibbs oscillations at cable with lose we will change the values of R and G as follow:

$R = R + \frac{GL}{C}$ for $A2$, $R = R - \frac{GL}{C}$ for $A1$, $G = G - \frac{RC}{L}$ for $B1$ and $G = G + \frac{RC}{L}$ for $B2$. So, we received:

$$A1 = L - \frac{\tau}{2}\left(R - \frac{GL}{C}\right),\ A2 = \left(L + \frac{\tau}{2}\left(R + \frac{GL}{C}\right)\right)^{-1},\ B1 = C - \frac{\tau}{2}\left(G - \frac{RC}{L}\right),\ B2 = \left(C + \frac{\tau}{2}\left(G + \frac{RC}{L}\right)\right)^{-1}.$$

As result equations (3) can be writing in follow mode:

$$D(I,t) = A2\left(\frac{\tau}{h}\left(Ux(I-1,t) - Ux(I,t)\right) + A1D(I,t-\tau)\right),$$
$$U(I,t) = B2\left(\frac{\tau}{h}\left(Dx(I-1,t) - Dx(I,t)\right) + B1U(I,t-\tau)\right).$$

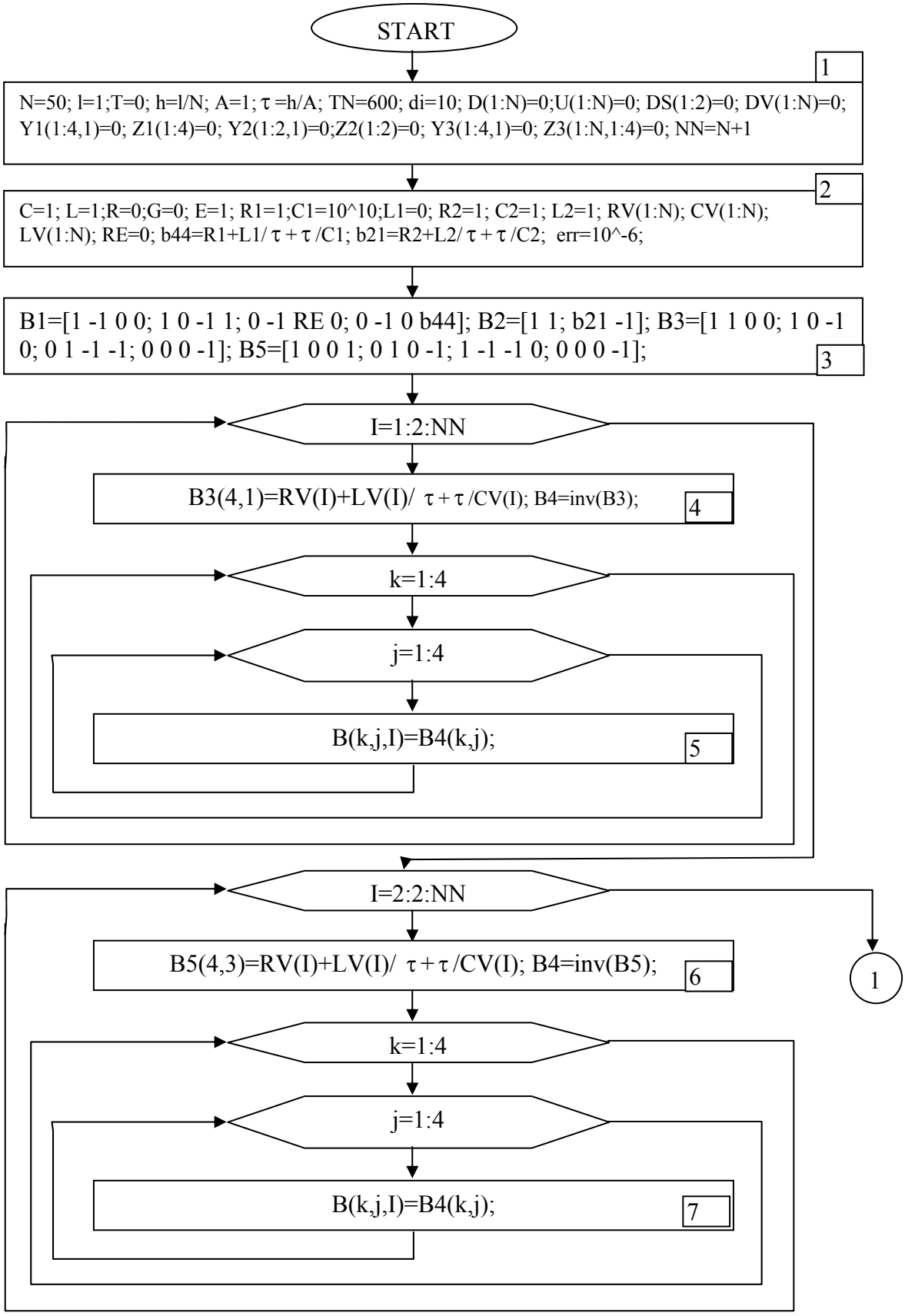
The equations for current and voltage in hole node will look as follow:

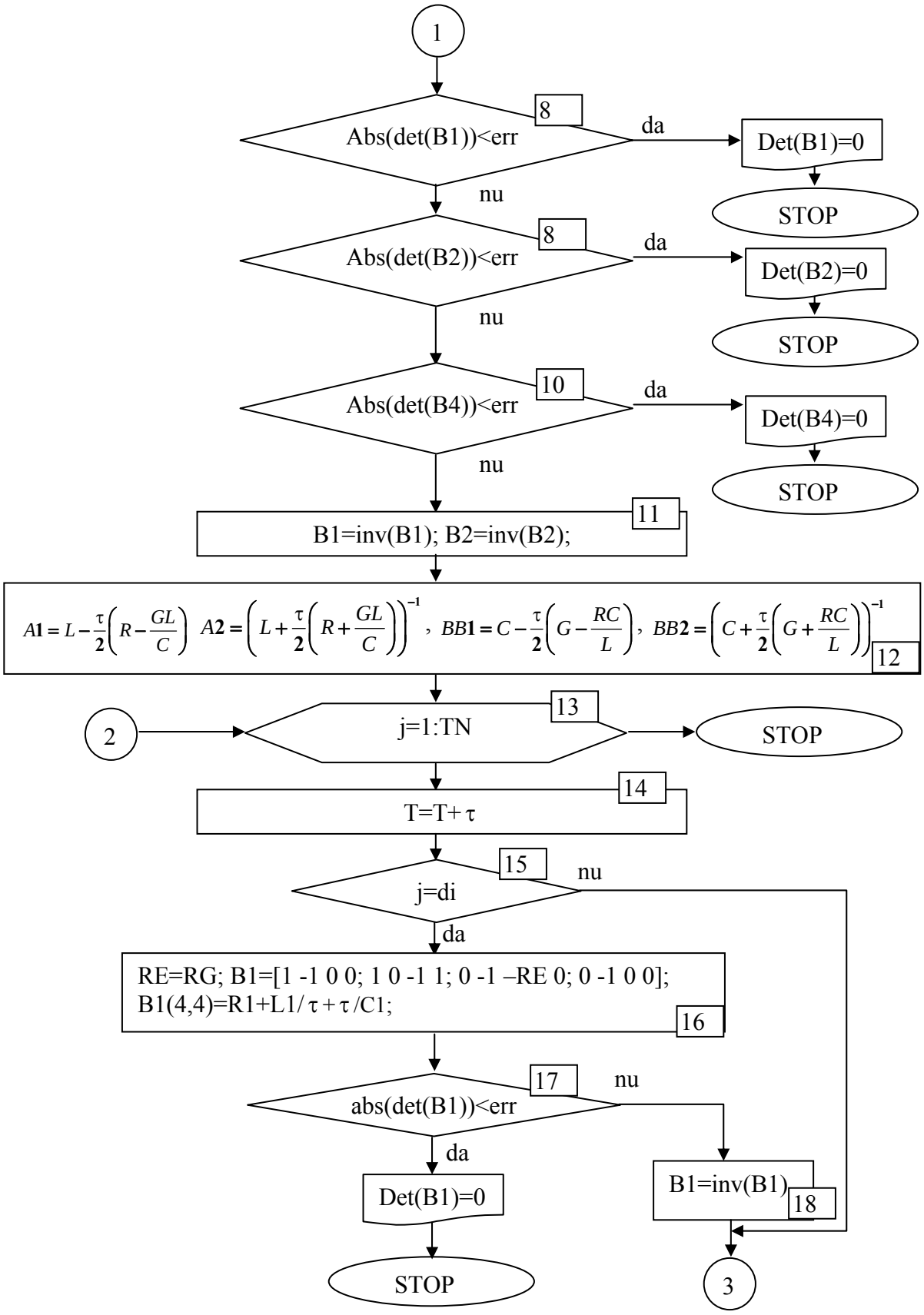
$$Ux(I,t) = \frac{\left(D(I-1,t) - D(I,t) + vC\left(U(I-1,t) + U(I,t)\right)\right)}{2vC},$$
$$Dx(I,t) = D(I,t) + vC\left(U(I,t) - Ux(I,t)\right).$$

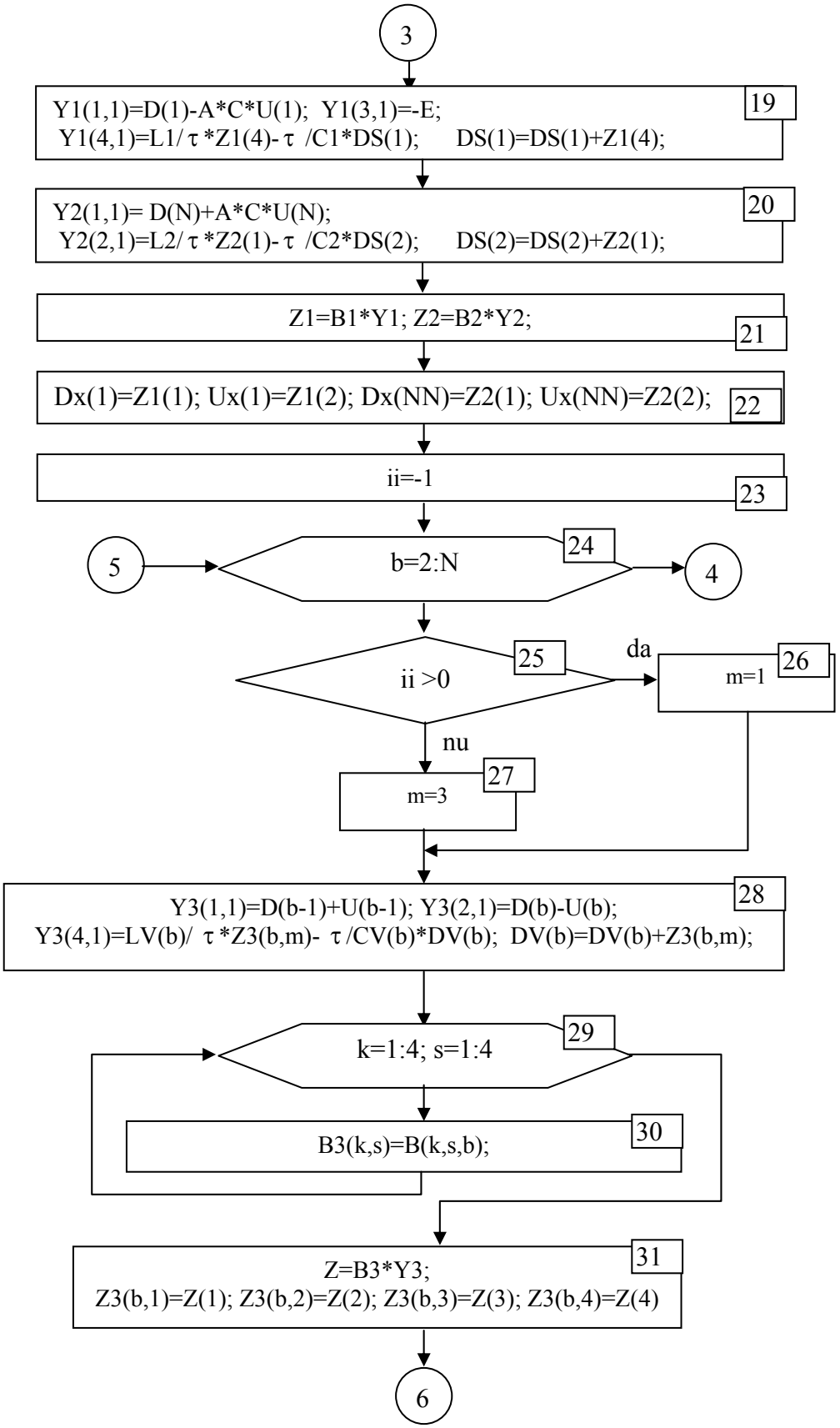
Or in another form:

$$Ux(I,t) = \frac{vL\left(D(I-1,t) - D(I,t)\right) + U(I-1,t) + U(I,t)}{2},$$
$$Dx(I,t) = \frac{vC\left(U(I-1,t) - U(I,t)\right) + D(I-1,t) + D(I,t)}{2}.$$

Now, we can present the functional diagram of mathematical model computation from fig.2, which represent a part of high voltage cable with distributed parameters and RLC circuits with concentrated parameters connected at the ends of cable and in odd points in parallel, but in even points in series. Also, at the input of cable we have connected a voltage source for given period of time.


START
1
N=50; l=1;T=0; h=l/N; A=1; τ =h/A; TN=600; di=10; D(1:N)=0;U(1:N)=0; DS(1:2)=0; DV(1:N)=0; Y1(1:4,1)=0; Z1(1:4)=0; Y2(1:2,1)=0;Z2(1:2)=0; Y3(1:4,1)=0; Z3(1:N,1:4)=0; NN=N+1
2
C=1; L=1;R=0;G=0; E=1; R1=1;C1=10^10;L1=0; R2=1; C2=1; L2=1; RV(1:N); CV(1:N); LV(1:N); RE=0; b44=R1+L1/ τ + τ /C1; b21=R2+L2/ τ + τ /C2; err=10^-6;
B1=[1 -1 0 0; 1 0 -1 1; 0 -1 RE 0; 0 -1 0 b44]; B2=[1 1; b21 -1]; B3=[1 1 0 0; 1 0 -1 0; 0 1 -1 -1; 0 0 0 -1]; B5=[1 0 0 1; 0 1 0 -1; 1 -1 -1 0; 0 0 0 -1];
3
I=1:2:NN
B3(4,1)=RV(I)+LV(I)/ τ + τ /CV(I); B4=inv(B3);
4
k=1:4
j=1:4
B(k,j,I)=B4(k,j);
5
I=2:2:NN
B5(4,3)=RV(I)+LV(I)/ τ + τ /CV(I); B4=inv(B5);
6
1
k=1:4
j=1:4
B(k,j,I)=B4(k,j);
7


1
8
Abs(det(B1))<err
da
Det(B1)=0
STOP
nu
8
Abs(det(B2))<err
da
Det(B2)=0
STOP
nu
10
Abs(det(B4))<err
da
Det(B4)=0
STOP
nu
11
B1=inv(B1); B2=inv(B2);
$A1 = L - \frac{\tau}{2}\left(R - \frac{GL}{C}\right)$ $A2 = \left(L + \frac{\tau}{2}\left(R + \frac{GL}{C}\right)\right)^{-1}$, $BB1 = C - \frac{\tau}{2}\left(G - \frac{RC}{L}\right)$, $BB2 = \left(C + \frac{\tau}{2}\left(G + \frac{RC}{L}\right)\right)^{-1}$
12
2
13
j=1:TN
STOP
14
T=T+τ
15
j=di
nu
da
RE=RG; B1=[1 -1 0 0; 1 0 -1 1; 0 -1 –RE 0; 0 -1 0 0];
B1(4,4)=R1+L1/τ+τ/C1;
16
17
abs(det(B1))<err
nu
da
Det(B1)=0
STOP
B1=inv(B1)
18
3


3
Y1(1,1)=D(1)-A*C*U(1); Y1(3,1)=-E;
Y1(4,1)=L1/τ*Z1(4)-τ /C1*DS(1); DS(1)=DS(1)+Z1(4);
19
Y2(1,1)= D(N)+A*C*U(N);
Y2(2,1)=L2/τ*Z2(1)-τ /C2*DS(2); DS(2)=DS(2)+Z2(1);
20
Z1=B1*Y1; Z2=B2*Y2;
21
Dx(1)=Z1(1); Ux(1)=Z1(2); Dx(NN)=Z2(1); Ux(NN)=Z2(2);
22
ii=-1
23
5
b=2:N
24
4
ii >0
25
da
m=1
26
nu
m=3
27
Y3(1,1)=D(b-1)+U(b-1); Y3(2,1)=D(b)-U(b);
Y3(4,1)=LV(b)/ τ*Z3(b,m)- τ/CV(b)*DV(b); DV(b)=DV(b)+Z3(b,m);
28
k=1:4; s=1:4
29
B3(k,s)=B(k,s,b);
30
Z=B3*Y3;
Z3(b,1)=Z(1); Z3(b,2)=Z(2); Z3(b,3)=Z(3); Z3(b,4)=Z(4)
31
6

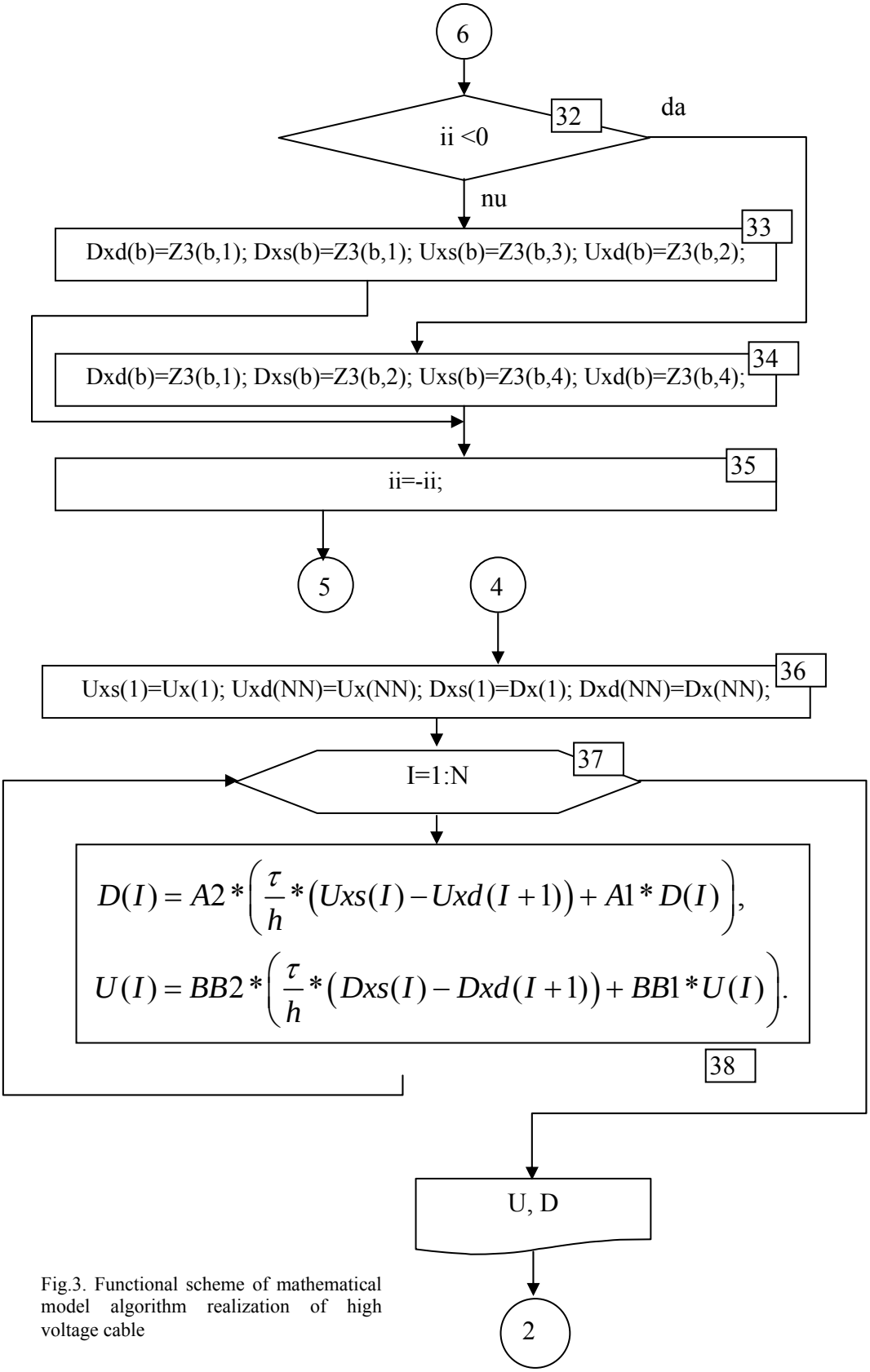


Fig.3. Functional scheme of mathematical model algorithm realization of high voltage cable

4. **Conclusions**

1. The proposed algorithm is easy to do and allow to provide a large parametrical investigations of transients, which is very important for correct define of working and realization mode of technical system with distributed and concentrated unhomogeneities without a big idealization of respective objects.
2. Reception of similar results like above mentioned with help of experimental methods is very difficult and frequently is impossible to find the satisfying solution.
3. The mathematical model allows simulating any type of defect and pasting it in any place of cable. At the same time, the source allows applying needed voltage shape for given time.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The researches are carried out with support of INTAS - International Association for the promotion of cooperation with scientists from the New Independent States of the former Soviet Union, an international non-profit association organised under the laws of Belgium in frame of project "Young Scientist Fellowship", INTAS Ref.Nr 05-115-5129.

Bibliography

1. Naval I.C., Râbachin B.P., Ceban V.G. Matematicescoe modelirovanie ecologhiceschih proțesov. Chişinău, "EVRIKA", 1998, 246 p.
2. Muzâcenco V.P., Rimschi V.X. Matematiceschie metodî issledovania rasprostranenia voln. Dangavpils: MO SSSR, DVVAIU, 1986. – 200 p.
3. Rimschi V., Berzan V., Tîrşu M. Volnovâie iavlenia v neodnorodnâh liniah, Tom.I. Teoria rasprostranenia voln potențiala i toca. Pod redacției V.K.Rimscogo.-Kişinev: Tipografia Academii Nauk R.Moldova, 1997.-295 p.