

ISSN 1813-5420 (Print). Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. №1

koefitsiyenta teploviddachi za umov konvektyvnoho teploobminu orhanichnoyi sumishi / Tkachenko S. Y., Pishenina N. V., Rezydent N. V; zayavnyk i vlasnyk patentu Vinnyts'kyyu natsional'nyu tekhnichnyu universytet. — № a201005661; zayavl. 11.05.2010; opubl. 26.05.2011, Byul. № 2.

4. Tkachenko S. Y. Metod vyznachennya intensyvnosti teploobminu v reonestabil'nykh sumishakh / S.Y.Tkachenko, N. V. Pishenina // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. — Vinnytsya : Universum–Vinnytsya, 2012. — № 2. — S. 78–87.

5. Pishenina N. V. Teploobmin v skladnykh sumishakh v umovakh pryrodnoyi konvektsiyi / N.V.Pishenina // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. — Vinnytsya : Universum–Vinnytsya, 2011. — № 2. — S. 124–131.

6. Ysachenko V. P. Teploperedacha : uchebn. dlya vuzov / V. P. Ysachenko [y dr.]. – [3-e yzd. dop.]. – M.: Enerhyua, 1975. – 488 s.

7. Popov V. D. Osnovy teoryu teplo- y massoobmena pry krystallyzatsyy sakharozy / V. D. Popov. — M.: Pyshecheyaya promyshlennost', 1973. — 320 s.

8. Demchuk H. S. Uparyuvannya melyasnoyi bardy / H. S. Demchuk, S. M. Konstantinov. Kyuyiv: Tekhnika, 1966. — 108 s.

УДК 536.24:620.92

С. И. Ткаченко, д-р техн. наук, профессор; **Т. Ю. Румянцева**; **Н. В. Пишенина**, канд. техн. наук
Винницкий национальный технический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ «ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ» ДЛЯ
ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ**

Предложено понятие «виртуальной модельной жидкости», разработан метод определения ее теплофизических свойств для применения в экспериментально-расчетном методе. Введен метод оценки реологического поведения натурной жидкости, смеси, раствора, что дает возможность проверки надежности применения предложенного подхода к определению интенсивности теплообмена в жидкости в натуральных условиях. Проанализированы результаты реализации усовершенствованного экспериментально-расчетного метода. Введение «виртуальной модельной жидкости» позволяет оценивать теплофизические свойства среды и интенсивность теплообмена в натуральных условиях, а также определять границы режимов движения смеси в условиях теплообмена.

Ключевые слова: теплообмен, экспериментально-расчетный метод, сложная смесь, неньютоновская жидкость, теплофизические свойства.

Надійшла 24.03.2014

Received 24.03.2014

УДК 620.9:658.26

О.В. Бориченко, канд. техн. наук, **А.Ю. Таран**
Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут»

**ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ –
ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У
ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКІЙ СФЕРІ**

У статті проаналізовані основні положення міжнародного стандарту ISO 50001:2011 «Системи енергетичного менеджменту – вимоги та керівництво щодо застосування». Система енергетичного менеджменту, яка розроблена і впроваджена відповідно до міжнародного стандарту, направлена на керування такою складовою процесу як підвищення рівня енергоефективності будь-якого типу організації. Обґрунтована необхідність інтегрування системи енергоменеджменту в існуючі системи менеджменту, коли одночасно можуть бути вирішені питання покращення якості, управління енергоефективністю, охорони навколишнього середовища та професійної безпеки.

Ключові слова: енергоефективність, інтегрована система енергоменеджменту, міжнародні стандарти.

© Бориченко О.В., Таран А.Ю., 2014

ISSN 2308-7382 (Online)

35

Вступ. На сучасному етапі розвитку економіка України характеризується достатньо високою енергоємністю валового внутрішнього продукту, яка на сьогодні більш ніж вдвічі вища за енергоємність в промислово-розвинених країнах і продовжує зростати. Крім того, наша держава задовольняє свої паливно-енергетичні потреби за рахунок власних ресурсів менш ніж на 50% [1].

Завдання переходу української економіки на шлях інноваційного та енергоефективного розвитку вимагає створення на всіх рівнях управління умов і механізмів для підвищення енергетичної ефективності та енергозбереження. Енергетичною стратегією України встановлена мета: досягти до 2030 року зниження енергоємності на 30-35 %.

Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження не достатньо лише впроваджувати відповідні заходи, а потрібно також систематично здійснювати управління енергоспоживанням. З цією метою в зарубіжній практиці на будь-якому виробничому чи комерційному об'єкті створюється система енергетичного менеджменту, основною метою функціонування якої є систематичне, цілеспрямоване підвищення енергетичної ефективності господарювання при одночасному раціональному використанні всіх інших ресурсів [2].

Постановка задачі. Найважливішою умовою ефективної виробничо-господарської діяльності є створення системи енергоменеджменту – системи керування енергоресурсами. Підприємства і організації, які розробляють і впроваджують системи енергетичного менеджменту, мають змогу отримати унікальну можливість покращити виробничий цикл, своєчасно впроваджувати ефективні заходи з енергозбереження, а також постійно одержувати віддачу від цих заходів у вигляді фінансового прибутку.

Впровадження енергетичного менеджменту на підприємстві – це, поза всяким сумнівом, інноваційне рішення, яке пов'язане з модернізацією існуючого виробництва і керування, а також самої психології управління енергоспоживанням і енерговитратами. Необхідно подолати застарілу практику керування, за якою бізнес-процеси управління споживанням та виробництвом енергоресурсів (тобто енергоменеджменту) поєднано з процесами експлуатації основного технологічного обладнання і системою енергопостачання організації (тобто технічною діяльністю енергетичних служб). Тому розробка і впровадження системи енергетичного менеджменту на виробничо-господарських об'єктах є актуальною. Системи енергетичного менеджменту дозволяють планувати енергетичну діяльність, сформулювати цілі і завдання, а також плани заходів з енергозбереження, здійснювати аналіз енергетичної діяльності, розраховувати і використовувати показники енергоефективності для моніторингу та контролю ефективності використання енергетичних ресурсів підприємства тощо. Крім того, на сьогодні в системі менеджменту виробничо-господарських об'єктів зростає роль нової компоненти – системи енергоменеджменту згідно стандарту ISO 50001:2011 «Системи енергетичного менеджменту – вимоги та керівництво щодо застосування» (опубліковано 15 червня 2011 р), направленою на керування такою складовою процесу, як підвищення рівня енергоефективності будь-якого типу організації.

Стандарт ISO 50001:2011 визначає вимоги до системи енергетичного менеджменту, які дозволяють організаціям формувати політику і цілі, враховуючи вимоги чинного законодавства і інформацію стосовно енергетичних аспектів діяльності підприємства [3].

Досвід європейських країн показує, що впровадження на підприємстві ефективно працюючої служби енергетичного менеджменту, яка реалізує положення стандарту ISO 50001:2011, може забезпечити річне зниження витрат на паливно-енергетичні ресурси близько 10-15 %. І це, переважно, за рахунок безвитратних (організаційних) або маловитратних заходів, які можуть швидко окупитися.

Основні результати досліджень. Застосування стандарту ISO 50001:2011 дозволяє вирішувати проблеми підвищення енергоефективності на плановій основі, використовуючи весь перелік засобів інтегрованих систем менеджменту. Він достатньо легко інтегрується в систему менеджменту якості, яка побудована на основі міжнародного стандарту ISO 9001:2008, практично повністю повторює структуру і зміст вимог ISO 14001 до систем екологічного менеджменту, а також має схожі вимоги з міжнародним стандартом OHSAS 18001:2007 «Системи менеджменту професійної безпеки і здоров'я - вимоги». Система енергетичного менеджменту, діюча у відповідності до положень міжнародного стандарту ISO 50001:2011, направлена на інтеграцію проблем забезпечення енергоефективності у загальну концепцію менеджменту організації. Створення інтегрованої системи енергоменеджменту підприємства дозволяє отримати ряд переваг [4, 5]:

- орієнтація організації на загальні цілі діяльності з урахуванням зацікавлених сторін;
- більш ефективне використання енергетичних ресурсів;
- поєднання і взаємозв'язок процесів менеджменту;
- вплив на зменшення емісії парникових газів;
- зменшення можливих протиріч між різними аспектами діяльності організації;
- зниження витрат на розроблення, функціонування та сертифікацію системи менеджменту організації;

- створення єдиної системи навчання і підвищення компетентності персоналу, спрямованої на досягнення намічених цілей;
- залучення більшої кількості співробітників до процесу покращення діяльності організації;
- створення єдиної системи управління документацією та веденням записів;
- підвищення популярності та іміджу організації тощо.

Система енергетичного менеджменту, як органічна частина підприємства, повинна розроблятися, виходячи з її призначення, цільової орієнтації та умов функціонування, а не формуватися еволюційним шляхом із служби головного енергетика або механіка за допомогою окремих часткових нововведень. Впровадження системи енергоменеджменту на підприємстві, а також покращення всіх її показників діяльності, функціональної та організаційної структур, технологій управління повинно відбуватися поетапно і ґрунтуватися на єдиній системній основі – проекті впровадження системи енергоменеджменту, що може бути представлений у вигляді «будівлі» енергетичного менеджменту (рис.1). При цьому «цеглинки» цієї «будівлі» достатньо тісно пов'язані між собою.

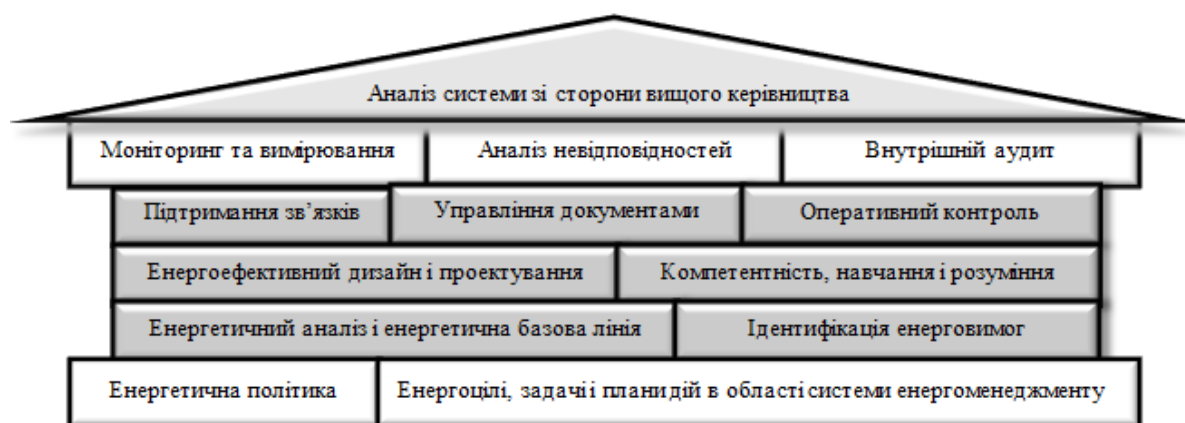


Рис. 1 «Будівля» енергетичного менеджменту

У міжнародному стандарті ISO 50001:2011 основна роль у реалізації ефективного енергоменеджменту відводиться керівництву підприємства. Його завдання – сформулювати і затвердити енергетичну політику підприємства, яка повинна бути сумісною з політикою інших систем менеджменту незалежно від того, розроблена вона як самостійний документ чи як частина загальної політики інтегрованої системи менеджменту. Політика енергозбереження підприємства повинна:

- визначати основні завдання у сфері енерговикористання та доступні підприємству межі застосування системи енергетичного менеджменту;
- встановити вимоги з енергоефективності та енергозбереження;
- передбачати зобов'язання з правового та інформаційного забезпечення ефективного енерговикористання;
- забезпечувати можливість внесення корегувань і перегляду завдань.

Як і інші стандарти інтегрованої системи менеджменту, ISO 50001:2011 передбачає, що підприємство повинно мати сформульовані і задокументовані цілі, завдання та плани дій в області енергетичного менеджменту на певні проміжки часу. Цілі і завдання повинні бути контрольованими і, як правило, мати кількісне вимірювання відносно базового періоду.

При визначенні цілей і завдань системи енергоменеджменту необхідно обов'язково враховувати умови ведення бізнесу підприємства.

Значною мірою успішність впровадження системи енергоменеджменту залежить від ставлення керівництва підприємства до даного аспекту.

У ISO 50001:2011, як і у всіх інших стандартах систем менеджменту, роль вищого керівництва має дуже велике значення. Топ-менеджмент організації повинен взяти на себе зобов'язання щодо виконання вимог відповідного стандарту і законодавства, безперервного підвищення ефективності функціонування системи енергетичного менеджменту шляхом [6]: визначення енергетичної політики; ідентифікації області та меж, у рамках яких впроваджена і функціонує система; визначення необхідних критеріїв і методів, за допомогою яких можна гарантувати ефективність і функціонування процесів, а також контроль за їх виконанням; обліку всіх факторів, які впливають на енергоспоживання; доведення до відома всіх зацікавлених осіб про важливість енергоменеджменту; встановлення енергоцілей та гарантування їх досягнення; виділення необхідних ресурсів; проведення аналізу функціонування системи з боку керівництва.

Відповідно до положень міжнародного стандарту ISO 50001:2011 підприємство чи організація повинні спочатку визначити найбільш енергоємні виробничі підрозділи, технологічні процеси, установки і агрегати, а потім встановити енергетичний базис, який розробляється на рівні всіх енергетичних та виробничих показників базового періоду. Система енергоменеджмента, побудована на основі вимог стандарту, повинна містити документальне підтвердження процедури розроблення енергетичного базису. Для оцінки енергоефективності і міри досягнення встановлених цілей підприємства необхідно визначити індикатори (показники) енергетичної ефективності. Показники енергоефективності повинні оновлюватися і постійно порівнюватися з базовим енергоспоживанням.

У системі енергетичного менеджменту відповідно до ISO 50001:2011 важлива роль відводиться підготовці та компетентності персоналу. Управлінський персонал всіх рівнів необхідно інформувати про відповідність його діяльності енергетичній політиці підприємства, процедурам і вимогам системи енергоменеджменту, він повинен знати свої обов'язки, відповідальність і повноваження, які сприяють виконанню вимог системи енергетичного менеджменту. Крім того, керівники підприємств повинні доводити до працівників яким чином їх діяльність впливає на ефективне використання енергоресурсів.

Як зазначалося вище, міжнародний стандарт ISO 50001:2011 розроблений таким чином, що його можна інтегрувати в інші системи менеджменту виробничо-господарського об'єкту, особливо у систему менеджменту якості і охорони навколишнього середовища. Для ефективного функціонування менеджменту в основу зазначених стандартів покладений цикл PDCA: «Планування – Виконання – Перевірка – Покращення», який дозволяє безперервно вдосконалити процес функціонування системи [3]. Саме тому такі різні системи менеджменту можуть бути легко інтегровані одне в одного, або підприємство може допрацювати систему менеджменту у відповідності з вимогами ISO 50001:2011. Підприємство, здійснивши інтеграцію системи енергетичного менеджменту у раніше впроваджену систему менеджменту, може отримати вигоду за рахунок скорочення чисельності працівників, економії часових і фінансових ресурсів. Для того, щоб успішно здійснити таку інтеграцію, підприємство повинно створити механізм взаємодії з питань енергетичних ресурсів, безпеки, якості та охорони навколишнього середовища.

Отже, формування моделі інтегрованої системи енергоменеджменту підприємства (організації) може бути здійснена за таким алгоритмом:

- послідовний аналіз вищезазначених міжнародних стандартів з метою виявлення вимог щодо процесів, які повинні бути присутніми в системі менеджменту підприємства (організації);
- аналіз зв'язків між процесами (визначення потоків документації, інформації, ресурсів, які об'єднують процеси в систему);
- виявлення загальних вимог стандартів до процесів, документації та ресурсів з метою виключення дублювання складових інтегрованих систем менеджменту;
- послідовна декомпозиція процесів інтегрованих систем менеджменту, необхідна для включення в модель всіх необхідних процесів;
- аналіз і побудова системи взаємозв'язків процесів інтегрованих систем менеджменту;
- перевірка відповідності отриманої моделі спочатку виявленим вимогам стандартів та усунення виявлених невідповідностей.

Висновки

1. Актуальність поєднання системи енергоменеджменту в існуючу інтегровану систему менеджменту полягає в тому, що створюється універсальний інструмент підвищення конкурентоспроможності виробничо-господарських об'єктів, коли одночасно вирішуються питання покращення якості, управління енергоефективністю, охорони навколишнього середовища та професійної безпеки.

2. Побудова інтегрованої системи енергоменеджменту має будуватися на принципах, встановлених у міжнародних стандартах менеджменту. При цьому в якості базових повинні прийматися принципи менеджменту якості, зокрема, процесний підхід, системний підхід, лідерство керівника, залучення працівників та постійне покращення, що дозволяє найкращим чином забезпечити інтегрування положень стандартів на окремі системи в єдиний комплекс.

Список літератури

1. Энергетический менеджмент / [А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др.] – К.: ИЕЕ НТУУ «КПИ», 2001. – 472 с.: ил.
2. Поспелова Т.Г. Основы энергосбережения / Поспелова Т.Г. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – 353с.
3. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению : ГОСТ Р ИСО 50001:2011 – ГОСТ Р ИСО 50001:2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 60 с.

4. Кусакин Н. А. Интегрированные системы менеджмента на основе международных стандартов. Начало пути / Н.А. Кусакин, В.В. Назаренко, И.И. Осмола // Новости. Стандартизация и сертификация. – Минск: БелГИСС. – 2005. – № 1. – С. 49–53.
5. Корешков В. Интегровані системи менеджменту організації. Особливості, проблеми і шляхи вирішення / В. Корешков, В. Назаренко, М. Кусакин, І. Осмола // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – № 1 (44). – 2007 [Електроний ресурс] Режим доступу: <http://www.klubok.net/Downloadsindex-requestdownloadaddetails-lid-338.html>.
6. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭнМ, 1997 – 38 с.

O.V. Borichenko, A. Taran

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

THE INTEGRATED SYSTEMS OF ENERGY MANAGEMENT ARE INSTRUMENT OF INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION

In the articles analysed substantive provisions of international standard ISO 50001:2011 "Energy management systems". The energy management system is worked out and inculcated in accordance with an international standard sent to the management of process such constituent, as an increase of level energy efficiency of any type organization. Reasonable necessity of integration the energy management system for the existent management systems, when simultaneously there can be the decided questions of improvement quality, management, guard of environment and professional safety, energy efficiency.

Keywords: energy efficiency, integrated system of energy management, international standards.

1. Energeticheskiy menedzhment / [A.V. Prahovnik, A.I. Solovey, V.V. Prokopenko i dr.] – К.: IEE NTUU «KPI», 2001. – 472 s.: il.
2. Pospelova T.G. Osnovyi energosberezheniya / Pospelova T.G. – Минск: UP «Tehnoprint», 2000. – 353s.
3. Sistemyi energeticheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu : GOST R ISO 50001:2011 – GOST R ISO 50001:2011. – М. : Standartinform, 2012. – 60 s.
4. Kusakina N. A. Integrirovannyye sistemyi menedzhmenta na osnove mezhdunarodnyih standartov. Nachalo puti / N.A. Kusakina, V.V. Nazarenko, I.I. Osmola // Novosti. Standartizatsiya i sertifikatsiya. – Минск: BelGISS. – 2005. – # 1. – S. 49–53.
5. Koreshkov V. IntegrovanI sistemi menedzhmentu organIzatsIYi. OsoblivostI, problemi I shlyahi virIshennya / V. Koreshkov, V. Nazarenko, M. KusakIn, I. Osmola // StandartizatsIya. SertifIkatsIya. YakIst. – # 1 (44). – 2007 [ElektroniY resurs] Rezhim dostupu: <http://www.klubok.net/Downloadsindex-requestdownloadaddetails-lid-338.html>.
6. Posobie po kursu «Osnovyi tselevogo energeticheskogo monitoringa». – М.: ENIZAN, ASEнМ, 1997 – 38 s.

УДК 620.9: 658.26

Е.В. Бориченко, канд. техн. наук, А.Ю. Таран

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА - ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ СФЕРЕ

В статье проанализированы основные положения международного стандарта ISO 50001:2011 «Системы энергетического менеджмента - требования и руководство к применению». Система энергетического менеджмента, которая разработана и внедрена в соответствии с международным стандартом, направлена на управление такой составляющей процесса как повышение уровня энергоэффективности любого типа организации. Обоснована необходимость интегрирования системы энергоменеджмента в существующие системы менеджмента, когда одновременно могут быть решены вопросы улучшения качества, управления энергоэффективностью, охраны окружающей среды и профессиональной безопасности.

Ключевые слова: энергоэффективность, интегрированная система энергоменеджмента, международные стандарты.

Надійшла 16.04.2014
Received 16.04.2014

В.В. Михайленко, канд. техн. наук; Ю.М. Чуняк, Ю.Ю. Остапчук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ВИСОКОЧАСТОТНИМ П'ЯТИЗОННИМ РЕГЮЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами.

У цій статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах напівпровідниковими з комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів в напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм.

В тих випадках, коли за вимогами навантаження необхідно забезпечити його гальванічну розв'язку з енергетичною мережею при багатозонному регулюванні вихідної напруги, в якості проміжних структур доцільно використовувати структури перетворювачів частоти з однократною модуляцією (ПЧ з ОМ). У [1-3] показана доцільність використання структур ПЧ з ОМ в діагностичних комплексах електромеханічних систем для побудови вторинних джерел живлення з різним видом вихідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз використання тієї ж структури в якості ланки високої частоти перетворювачів трифазної напруги в постійну напругу при підключенні силових модуляторів (СМ) до лінійних проводів енергетичної мережі. Таке з'єднання дозволяє покращити форму вхідних струмів перетворювача за рахунок відсутності в них гармонік, які кратні трьом.

Узагальнена структурна схема перетворювача показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: $СМ_{AB}$, $СМ_{BC}$, $СМ_{CA}$ – силові модулятори відповідних лінійних напруг, сукупність яких представляє собою ланку високої частоти перетворювача, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження.

Кожний з СМ (рис.2) складається з N інверторів випрямленої напруги (ІВН), які включені енергетичними входами паралельно і навантажені на узгоджувальні трансформатори (ТВ), з'єднані вторинними обмотками послідовно.

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використовуємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень лінійних напруг трифазної енергетичної мережі, частоти ω_1 , відповідними еквівалентними модулюючими впливами $\psi(\alpha_p, t)$, частоти ω_2 . В результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2M}(p, j, t) = k_T u_1(j, t) \phi(j, t) \psi(\alpha_p, t), \quad (1)$$

де: $j = 1, 2, 3$ – номери лінійних напруг енергетичної мережі, відповідно AB, BC, CA ; k_T – коефіцієнти трансформації узгоджувального трансформатора; $p = 1, 2, 3, \dots, n$ – номер зони регулювання вихідної напруги, збігається з номером інвертора СМ; $\phi(j, t)$ – функції прямокутних синусів, які співпадають за положенням в часовій області з відповідними лінійними напругами мережі: