

Перша в Україні система розосередженої генерації на базі ТЕЦ цукрового заводу

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

В.Є. Шестеренко, кандидат технічних наук, професор, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

І.Є. Ізволеньський, старший науковий співробітник, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Національний університет харчових технологій

Розглянуто шляхи підвищення ефективності систем електропостачання. Наведено основні аспекти розосередженої генерації. Подані рекомендації для створення розосередженої енергетичної інфраструктури, що дозволяє будувати структуру генерації сумісну із навантаженням, а це дозволить локалізувати процеси генерування-споживання і тим самим мінімізувати втрати у мережах за рахунок зменшення відстані передачі енергії від генератора до споживача.

Ключові слова: система електропостачання, розосереджена генерація, надійність, енергоефективність.

The ways of improving the efficiency of power supply systems are considered. The main aspects of the dispersed generation are presented. The recommendations for creating a dispersed energy infrastructure, which allows building a load-compatible generation structure, will allow localization of generation-consumption processes and thereby minimize network losses by reducing the transmission distance from generator to customer.

Key words: power supply system, dispersed generation, reliability, energy efficiency.

На сьогодні практично всі провідні країни світу розробляють принципово нову ідеологію побудови та функціонування енергетичної галузі з метою надання безпечного, надійного, економічно доцільного та екологічно прийняттого енергозабезпечення споживачів [1].

Система розосередженої генерації (СРГ) - це повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювальна енергетична система, що має мережеву топологію, включає в себе всі джерела генерації, всі електричні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв та систем у режимі реального часу (за кордоном отримала назву Smart Grid). До складу СРГ відносять малі ТЕЦ та ГЕС, парогазові установки (ПГУ), газотурбінні установки (ГТУ), сонячні електростанції (СЕС) [2]. Оскільки всі джерела РГ повинні працювати у синхронному режимі, одне відключилось інше відразу включилось, за цими всіма процесами людина не здатна услідкувати, а тому система повинна самостійно керуватись і відновлюватись при різних відключеннях, що і покладено

у концепцію Smart Grid [2]. Таким чином, інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі дає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання та оптимізації вартості електроенергії для споживача. Застосування розосередженої генерації дозволяє знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії та підвищити надійність електропостачання споживачів. Зворот «інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики, як в Україні, так і за кордоном. Сучасні електронні, інформаційні, телекомунікаційні, обчислювальні технології вдосконалюють процеси енерговиробництва та керування енергетичними потоками на підприємствах, роблять їх надійними, безпечними і ефективними, наділяють споживача новими можливостями, а поглиблення децентралізації, метою якого є перетворення мільйонів приватних будинків, офісних центрів та підприємств у виробників та продавців електричної та теплової енергії, призведе до оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат

на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності; підвищення безперебійності електропостачання, зменшення залежності від централізованих електричних мереж, підвищення надійності шляхом захищеності від аварійних відключень. Отже, застосування розосередженої генерації дозволяє знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії та підвищити надійність електропостачання споживачів[2].

Отже, з точки зору зменшення нерівномірності графіку електричного навантаження, застосування джерел розосередженої генерації матиме найбільший економічний ефект при використанні їх населенням. Варто зазначити, що встановлення та обслуговування таких відновлювальних джерел РГ занадто дороге для звичайних громадян, але якщо такою установкою користується група населення (житловий район, котеджне містечко тощо), то актуальність використання РГ раптово зростає. Таким чином, можливе застосування диференційних тарифів, зменшення плати за електричну енергію, гібридне електропостачання від мережі чи від джерел РГ. Використання такої мікромережі вигідне не тільки для місцевих споживачів, а й для об'єднаної енергетичної системи України[2].

При цьому міні- і мікро-установки малої потужності, переважно приватної приналежності, можуть підключатися до мережі 0,4 кВ або працювати в автономному режимі. За такої організації розподільча мережа принципово змінює конфігурацію та властивості. Розвантаження основних ділянок мережевої структури, особливо в низьковольтній частині з напругою 0,4 кВ, сприяє зменшенню технологічних втрат, збільшенню надійності постачання та перепускної можливості міжсистемних зв'язків. Серед основних переваг мобільних розосереджених генераторів можна також виділити їх спроможність віддавати електроенергію лише в зазначені часові інтервали пікових і напівпікових навантажень. Такий режим роботи є особливо актуальним у періоди підвищеного споживання в тих районах, де надходження електроенергії відбувається за одно- або дволінійною схемою з недостатнім коефіцієнтом запасу потужності.

Під час реконструкції в 70-х роках цукрових заводів розрахункову потужність визначали приблизним методом - коефіцієнта попиту. Цей метод надзвичайно простий. Розрахункова активна потужність за цим методом [2]:

$$P_p = K_{\text{поп}} P_{\text{ном}}$$

де $K_{\text{поп}}$ - коефіцієнт попиту, $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність групи електроприймачів.

Розрахункова реактивна та повна потужність:

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi; \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

Похибка цього методу досягає 30%.

На сьогодні цей метод рекомендується для визначення розрахункової потужності тільки освітлювальних електроприймачів.

Електричне навантаження - це випадкова величина, що підпорядковується теорії ймовірності.

Загалом розрахункова потужність відповідає виразу:

$$P_p = \sqrt{M(P)^2 + \sigma^2},$$

де $M(P)$ - математичне очікування активної потужності, σ^2 - дисперсія.

Тільки за умови застосування апарату теорії ймовірності можна одержати задовільні результати при визначенні розрахункової потужності всіх електроприймачів.

За методом впорядкованих діаграм, розробленим з використанням математичного апарату теорії масового обслуговування, розрахункова потужність:

$$P_p = K_M P_{CM},$$

$$P_{CM} = \sum_1^n K_{\epsilon_i} P_{\text{ном}_i};$$

$$K_M = 1 + \frac{1,4}{\sqrt{(n_e - 1)^{1,1}}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 1,2 \cdot K_B}{K_B - 0,01}}.$$

$$K_B = \frac{P_{CM}}{P_{\text{ном}}},$$

Практично всі цукрові заводи України мають комбіновану систему електропостачання. Проблеми розосередженої генерації в Україні були відомі у 80-х роках минулого століття. Коли ще терміну «розосереджена генерація» не існувало, робилися експерименти по використанню «надлишкової» електроенергії ТЕЦ цукрових заводів для живлення інших споживачів. Для цього необхідно було підключити генератори ТЕЦ паралельно до енергосистеми, тобто до мереж облэнерго. При цьому необхідно було вирішити ряд технічних задач та проблем енергоменеджменту. Технічні проблеми, зокрема релейний захист, були розв'язані досить добре. А несумісність добових графіків активної потужності ТЕЦ заводу та побутових споживачів населених пунктів не дала можливості широкого

впровадження ідеї. На цукровому заводі коефіцієнт форми графіка заводу $K_{\phi} \approx 1$, тобто добовий графік потужності стабільний (Рис.1), в населених пунктах $K_{\phi} \approx 1,5$, графік різкозмінний (Рис. 2).

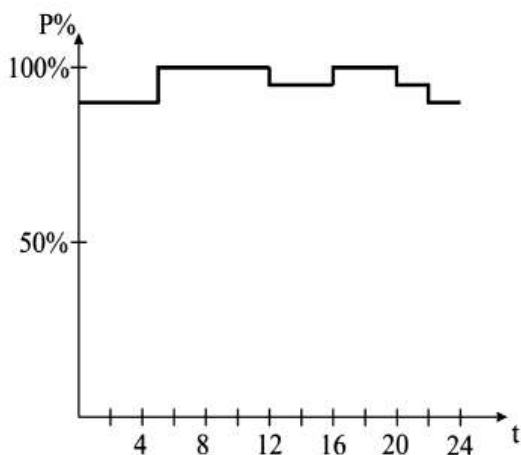


Рис. 1. Добовий графік активної потужності ТЕЦ цукрового заводу (листопад)

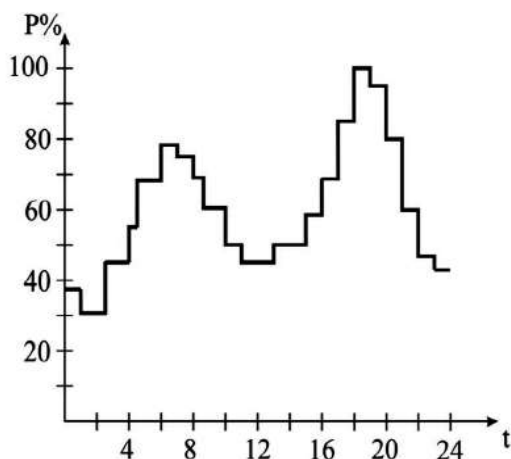


Рис. 2. Добовий графік активної потужності населених пунктів поблизу цукрових заводів (листопад)

Вже тоді пропонувалось енергію ТЕЦ заводу акумулювати протягом ночі споживати вранці та ввечері. На той час ця ідея здавалась нездійсненною мрією.

Незважаючи на відсутність законодавчої бази, автори тогочасної розосередженої генерації вирішили проблему енергоменеджменту таким чином. В період переробки буряків ТЕЦ цукрового заводу видає електроенергію в мережі обленерго авансом, не вимагаючи оплати. В ремонтний період, коли ТЕЦ не працює, обленерго повертає таку ж кількість енергії заводу. На жаль, згідно діючих нормативних документів у електричних мережах, що мають двонаправлений облік перетікань активної та реактивної електроенергії, оцінювання

втрат активної електроенергії можливе лише за умов співпадання напрямків транзитів активної та реактивної потужності.

Поява змішаної приватно-державної форми власності потребує реформування енергетичного сектора, розвитку нових технологій, впровадження інформаційних та діагностичних систем, засобів вимірювання і управління з метою підвищення ефективності виробництва, передачі і розподілу електричної енергії, забезпечуючи надійність і якість електрозабезпечення споживачів. Впровадження засобів розосередженої генерації стимулюється прагненням до диверсифікації паливно-енергетичних ресурсів за рахунок збільшення долі альтернативних та місцевих (включаючи технологічні відходи) ресурсів. В умовах росту тарифів на енергоносії, нестачі генеруючих потужностей, їх зносу та низької ефективності, зацікавленість в використанні розосередженої генерації з метою підвищення надійності зі сторони споживачів неперервно зростає. Розосереджена генерація розміщується в стратегічних місцях мережі зі слабкими електричними зв'язками, а саме недостатньою пропускну здатністю мереж передачі та розподілення електроенергії або в місцях, значно віддалених від джерел централізованої генерації, що покращує надійність та стабільність роботи енергосистеми.

Таким чином, інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі дає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання, збереження стійкості функціонування енергосистем та оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності. Зазначена ідеологія базується на активній інформатизації та інтелектуалізації енергетичних об'єктів, широкому використанні розосередженої генерації, в першу чергу, на рівні розподільних електричних мереж середньої та низької напруги, створенні та впровадженні провідних енергоефективних технологій у сфері генерації та розподілу енергії.

В системі розосередженої генерації для керування потоками реактивної потужності та регулювання напруги була запропонована дворівнева система керування по способу, захищеному авт.св. СРСР № 1169076 [2].

Система дворівневого керування передбачає облік вимог енергосистеми на межі розділу енергопостачальних та мереж споживачів і одночас-

но регулювання потужності високовольтних конденсаторних установок, батарей на напругу нижче 1000 В, рівня реактивної потужності, що видається синхронними двигунами та рівня напруги.

На рис. 3. зображена функціональна схема описаної системи. Тут 1 – головна ділянка мережі [живляча ЛЕП, головна понижувальна підстанція (ГПП)], 2 – вітки мережі, що живлять ТП окремих споживачів.

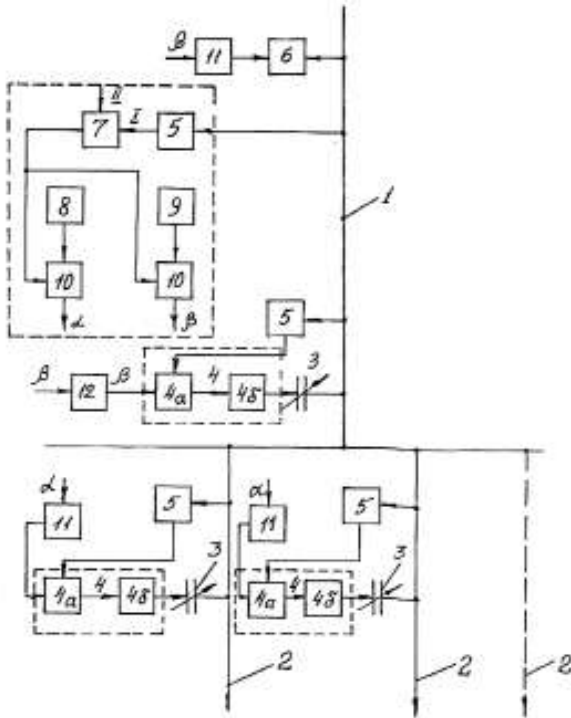


Рис. 3. Функціональна схема системи дворівневого керування потоками реактивної потужності та регулювання напруги.

Працює система таким чином. Для підвищення коефіцієнта потужності застосовані конденсаторні установки 3. За допомогою регуляторів 4 реактивної потужності змінюють реактивну потужність конденсаторних батарей 3 (або синхронних двигунів). Локальний датчик 5 входить у схему вмикання типового регулятора. Для регулювання напруги трансформатор ГПП (на рисунку не показаний) обладнаний регулятором 6. Регулятор верхнього рівня 7 має два входи, на вхід 1 поступає сигнал від локального датчика 5. На вхід 2 регулятора подається сигнал керування енергосистеми.

Величина цього сигналу змінюється автоматично, якщо регулятор підімкнений до АСДУ енергосистеми.

Мікропроцесорний регулятор 7 обробляє інформацію, що надходить, і на вихід подається команда керування у вигляді постійної напруги.

Мультивібратори 8, 9 генерують імпульси керування, причому частота мультивібратора 8 f_1

вища за частоту мультивібратора 9 f_2 у 5-7 разів, тобто $f_1 >> f_2$. Модуляція імпульсної напруги здійснюється у фазозсувних пристроях улаштування 10 (ФСУ), на входи яких надходить сигнал від регулятора 7 і серія імпульсів напруги від мультивібраторів 8, 9. Промодульовані за шириною імпульсу у вигляді команд α та β (рис. 4) надходять на регулятори 4 реактивної потужності конденсаторних батарей і синхронних двигунів. Указані регулятори доповнюються блоком 11, який є інтегруючою ланкою.

Через те що частоти мультивібраторів різні, сигнали що знімаються з інтегровальних ланок і є функціями часу та реактивного струму, відрізнятимуться в один і той самий момент часу, тобто $\alpha = f(t, I_p)$; $\beta = f(t, I_p)$; $\alpha \gg \beta$ (рис.4).

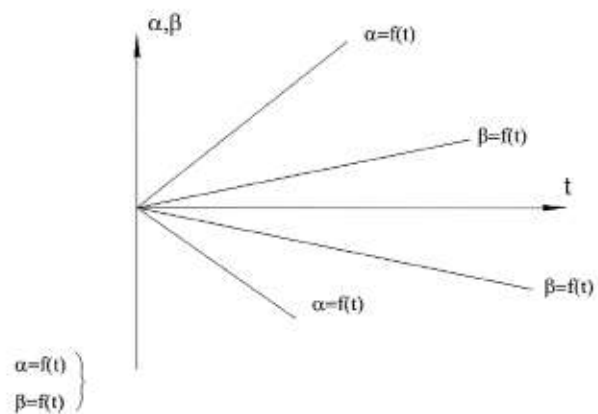


Рис. 4. Закони зміни сигналів в дворівневій системі керування

На входи вимірювального блока 4а стандартного регулятора реактивної потужності надходять два сигнали: від регулятора вищого рівня 7 і від локального датчика 5. У вимірювальному блоці сигнали додаються алгебраїчно й генерується команда, що залежить від величин указаних двох сигналів. Команда надходить на вхід командного блока 4б регулятора, до виходу якого підімкнені комутаційні апарати конденсаторних батарей 3. Регулятор 6 напруги трансформатора залежно від величини сигналу виробляє команду на перемикання відпайок трансформатора (у межах діючого стандарту ГОСТ 13109-97).

Таким чином, за додержанням вимог енергосистеми здійснює контроль регулятор 7. Мінімум втрат енергії у мережі забезпечується регуляторами 4.

Для мінімізації втрат і точнішого виконання вимог енергосистеми відносно реактивної потужності сигнал α , що надходить на регулятори у ві-

тках мережі, зростає швидше у часі (рис. 5). При цьому у вітках мережі відбувається перемикання малопотужних конденсаторних установок, що викличе зміни коефіцієнта потужності на головній ділянці. Якщо новий коефіцієнт відповідає вимогам енергосистеми щодо величини споживаної реактивної потужності, напруга на виході регулятора 7 падає до нуля і сигнали α і β також зменшуються.

Коли перемикає у вітках 2 недостатньо, через певний час сигнал сягне рівня, який викличе перемикання ступеня потужної конденсаторної установки на головній ділянці 1 (або зміни режиму роботи синхронних двигунів). Після такого перемикання можливі комутації малопотужних установок у вітках 2 мережі для точнішої підтримки потрібного значення реактивної потужності. Сигнал надходить на всі регулятори 4 у вітках 2 і перемикання ступенів конденсаторних установок може відбутися тільки у тій вітці, де сигнал від місцевого давача має досить низький рівень. Якщо сигнал α відповідає вимозі підімкнути додаткову секцію батареї, а $I_{g\varphi}$ у вітці близький до нуля, підімкнення не відбудеться. Додаткові секції підімкнуться лише у тих вітках, де власна реактивна потужність скомпенсована не повністю. Таким чином, у гілках мережі підтримуватиметься коефіцієнт потужності, близький до оптимального. І тільки тоді, коли вся потужність конденсаторної установки на головній ділянці буде використана, можливе зростання сигналу α до такого рівня, що конденсаторні установки у вітках перемикатимуться незалежно від сигналу локальних датчиків.

Імпульсний спосіб передачі сигналу дозволяє підвищити надійність керування і знизити вартість каналів зв'язку.

Суттєвою перевагою дворівневого способу регулювання є комплексність керування потоками реактивної потужності та одночасність регулювання всіх джерел реактивної потужності в системі. Проте на відміну від дистанційного регулювання, де за сигналом з диспетчерського пункту здійснюється перемикання незалежно від $I_{g\varphi}$ у вітці, даний спосіб пропонує враховувати рівні двох сигналів - від місцевого давача і від регулятора вищого рівня. Перемикання секцій конденсаторних батарей відбувається вибірково, в окремих гілках і тільки за певних рівнів сигналів.

Дворівнева система дозволяє підтримувати потоки реактивної потужності в елементах системи електропостачання на оптимальному рівні, з максимальним ефектом використовувати вста-

новлені джерела реактивної потужності, оскільки не допускається вимкнення КУ в періоди дефіциту реактивної потужності у вузлі мережі. В забезпеченні балансу реактивної енергії беруть участь електростанції, магістральні електромережі, електричні мережі енергопостачальних компаній, мережі та електроустановки споживачів.

Таким чином, розподільна електрична мережа поступово перетворюється в мережу з характерними особливостями ізольованої електричної системи, яка отримує живлення як від власних розосереджених джерел електроенергії, так і від централізованого джерела.

Висновки

1. Проблеми розосередженої генерації в Україні були відомі у 80-х роках минулого століття. Коли ще терміну «розосереджена генерація» не існувало, робилися експерименти в НУХТ по використанню «надлишкової» електроенергії ТЕЦ цукрових заводів для живлення інших споживачів. При цьому ТЕЦ працювали паралельно з енергосистемою і підключались до мереж обленерго. Вже тоді пропонувалось енергію ТЕЦ заводу акумулювати протягом ночі та споживати вранці та ввечері. На той час ця ідея здавалась нездійсненною мрією. Сьогодні ж вона успішно вирішується.

2. Основні засади формування систем розподільної генерації були розроблені науковцями НУХТ в 1982 р., впроваджені в місцевостях поблизу цукрових заводів.

3. Використання джерел розосередженої генерації матиме найбільший економічний ефект при використанні їх населенням.

4. Застосування розосередженої генерації дозволяє знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії та підвищити надійність електропостачання.

5. Основна концепція роботи розосереджених джерел енергії - цілодобова генерація з буферним накопиченням енергії в кількості, достатній для покриття пікових споживчих навантажень.

6. Системам компенсації реактивної потужності притаманна ієрархічна структура та висока складність. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії. Суттєвим резервом підвищення ефективності може бути система комплексної компенсації реактивної потужності, що створена на базі сучасних технічних та обчислювальних засобів. Система дозволяє змінити акценти в керуванні потужностями КУ від децентралізації

до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми, що концептуально пов'язана з оптимізацією режиму електроспоживання.

7. Таким чином, інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі дає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання, збереження стійкості функціонування мереж України та оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності, підвищення якості та безперебійності електропостачання, зменшення залежності від централізованих електричних мереж, підвищення надійності шляхом захищеності від аварійних відключень. ■

Список використаних джерел

1. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. К. : Освіта України, 2007. 464 с.
2. В.Є. Шестеренко Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
3. А.с. 1169076 СССР. Н 02 j 3/12. Способ регулирования мощности компенсирующих устройств, установленных в разветвленной электрической сети. / В.Е. Шестеренко.
4. Электрическая энергия. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97 М. : Изд-во стандартов, 1997. (Межгосударственный стандарт).
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : М-во палива та енергетики України. [1-ше вид., офіційне.]. Харків : Вид-во «Ін-

дустрія», 2007. 272 с.

6. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. – Наказ Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України від 26.09.01 №218/446. Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1022.307.0>.

7. Стогній Б. С. Сталий розвиток енергетики та інтелектуальні енергетичні системи [Текст] / Б. С. Стогній // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Київ. 2010. С. 6–10. ISSN 1727–9895.

8. Кириленко, О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації [Текст] / О. В. Кириленко, І.В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Випуск 24. Київ. 2009. С. 3–7. ISSN 1727–9895.

9. Правила користування електричною енергією [Електронний ресурс] / Національна комісія з питань регулювання електроенергетики України. Постанова НКРЕ, документ z0417–96, редакція від 07.05.2010, підстава z0304–10). Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.

10. ДСТУ 2155–93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Текст]. [Чинний від 1995–01–01]. К. : Держспоживстандарт України, 1995. 20 с. (Національні стандарти України).

11. Tasic, D. S. Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks / D. S. Tasic, M. S. Stojanovic // Electronics and electrical engineering. 2006. №2. P. 50–54.

Цікаві новини

Обмін цукру на сніг

У мирних переговорах, які відбулися після Семирічної війни (1756-1763 рр.), в якій Британія і Франція боролися за домінування в світі, нікому не було діла до Канади, зате цукрові колонії цінувалися високо. В Англії ті, хто розмовляв із позицій податків і доходів, вважали, що не слід триматися за захоплені французькі острови Мартініка, Гваделупа і Сент-Люсія. Їм опонували прихильники «американських інтересів» Англії, які хотіли, щоб французів вигнали з Північної Америки. Цукрове лобі розуміло, що цукор з британської Гваделупи буде на рівних конкурувати на англійському ринку з їх власним цукром, тому вони виступали за повернення Карибських островів Франції. Зрештою Англія запропонувала обмін: кількох островів на всю Канаду (пропозиція, яку Вольтер з іронією назвав «обміном цукру на сніг»).