

УДК 621.311.661

Адаптивна модель регулювання частоти і потужності в енергосистемах з вітровими електростанціями / М.М. Кулик, О.В. Згуровець // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 5–10.

Розроблено та всебічно досліджено адаптивну модель регулювання частоти і потужності в енергосистемах з вітровими електростанціями. Регулююча потужність зазначеної моделі складається із двох частин: адаптивної складової та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) закону. Адаптивна складова є різницею між уставкою, що задається диспетчерською службою енергосистеми, та потужністю вітрової електростанції у кожний момент часу на періоді регулювання. Друга складова регулюючої потужності є класичним ПІД-законом, в якому аргументом є відхилення частоти. Кожна із окремо взятих зазначених складових може забезпечити більш-менш прийнятне регулювання частоти, однак їх поєднання в одному законі надає якісно набагато кращі результати.

З використанням розробленої моделі проведено серію числових експериментів, метою яких було дослідження можливостей використання запропонованої структури регулювання частоти в ОЕС України та в енергосистемі Євросоюзу ENTSO-E. Було встановлено, що найкращі показники зі стабілізації частоти надає повна модель, в якій використовується як адаптивна складова, так і ПІД-закон. При цьому забезпечується європейська вимога щодо стабілізації частоти ($|\Delta f|_{max} \leq 0,02$ Гц), і значення коефіцієнтів ПІД-закону є цілком прийнятними, виходячи з критерію стійкості системи регулювання частоти.

Використання в регулюючій потужності лише адаптивної складової забезпечує вимогу щодо стабільності частоти ($|\Delta f|_{max} \leq 0,2$ Гц), що діє в ОЕС України, однак не може задовольнити вимоги енергосистеми ENTSO-E. Використання в регулюючій потужності лише ПІД-закону може задовольнити вимоги енергосистеми ENTSO-E за умови, що коефіцієнти цього закону будуть більш, ніж на порядок перевищувати їх значення, що фігурують у повній моделі регулювання. Такі значення цих коефіцієнтів можуть становити загрозу стійкості всієї системи регулювання частоти.

Ключові слова: частота, регулювання, потужність, швидкодія, енергосистема, вітрова електростанція, акумуляторна батарея.

УДК 620.9.002.8

Прогнозування попиту на паливно-енергетичні ресурси у енергоємних виробництвах харчової промисловості з урахуванням потенціалу енергозбереження / Н.Ю. Майстренко // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 11–16.

Обчислено прогнозні рівні споживання паливно-енергетичних ресурсів до 2040 р. з урахуванням потенціалів енергозбереження в енергоємних виробництвах в розділі «Виробництво харчових продуктів; напоїв та тютюнових виробів». На прикладі цих виробництв уточнено потенціали енергозбереження та розроблено прогноз випуску продукції та обсягів енергоспоживання як в самих виробництвах, так і для розділу взагалі.

Отримані результати показують необхідність врахування загального структурного потенціалу енергозбереження та його складових, оскільки саме розвиток окремих енергоємних виробництв визначає розвиток певного розділу та економіки країни в цілому.

Ключові слова: потенціал енергозбереження, прогнозування, паливно-енергетичні ресурси, енергоємні види економічної діяльності.

УДК 620.9; 621.311.

Світові тенденції в розвитку геотермальної енергетики. Частина 1. Геотермальні ресурси по регіонах світу / Ю.О. Шурчкова // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 17–24.

В статті представлено огляди матеріалів про використання геотермічних ресурсів за регіонами світу. Показана залежність ефективності використання геотермічних ресурсів від геофізичних та географічних параметрів кожної області. Приведені дані, в яких країнах геотермальна енергетика розвивається найбільш успішно і для яких цілей застосовується. Лідерами представляються США, Філіппіни, Мексика, Індонезія, Нова Зеландія. Всі ці країни розташовані в областях сучасного вулканізму, в межах «Вогненного кільця», де теплоносій має високі параметри, доступний на поверхні Землі, де витрати на будівництво ГеоТЕС мінімальні і собівартість енергії конкурентноздатна на ринку енергоносіїв. Підкреслюється, що на світових масштабах геотермальна енергетика використовується вкрай мало: частка електроенергії, що отриму-

ється за допомогою геотермальних ресурсів, складає всього 0,5%. Її виробляють всього в 24 країнах.

Значно ширше видно пряме використання геотермальної теплоти: для обігріву приміщень, в тому числі, для централізованого теплопостачання, для опалення басейнів, теплиць, кондиціонування, для підігріву відкритого ґрунту, опалення дорожнього покриття, в промислових технологічних процесах, для танення снігу та інших цілей. Наприклад, у столиці Китаю Пекіні просвердлено близько трьохсот свердловин глибиною приблизно в 3 кілометра, з яких надходить вода з температурою до 70 °С, яка використовується для централізованого опалення висотних будинків і для обігріву теплиць. В Ісландії за рахунок геотермальної теплоти забезпечується 90% потреб країн в опалювальних потужностях. На опалення та гаряче водопостачання витрачається майже половина об'єму геотермальної енергії. У паризькому басейні діють 37 циркуляційних систем, що включають 50 установок для централізованого теплопостачання. Тепло подається також в теплиці та рибницькі ферми. У 2007 р. був реалізований новий проект циркуляційної системи для теплопостачання паризького аеропорту Орлі. На околицях Парижа 33 геотермальні установки опалюють 170 тис. будинків.

Ключові слова: енергетика, геотермічна, ресурс, континент, тепло, електроенергія, світ.

УДК 621.311

Оцінка перспективи використання бурого вугілля на ТЕС України / В.С. Коберник // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 25–28.

Метою статті є визначення перспективи використання бурого вугілля на ТЕС. Для цього проведено порівняння техніко-економічних показників енергоблоків ТЕС з факельним спалюванням кам'яного і бурого вугілля за різними технологіями (надкритичний тиск пари і ультра-надкритичний тиск пари) і забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднюючих речовин згідно Директиви 2010/75/ЕС. Розрахунки проведені за середньою собівартістю виробленої за життєвий цикл енергії (ЛСОЕ), що забезпечує самоокупність джерела виробництва за весь цикл існування. Показник ЛСОЕ враховує всі витрати за життєвий цикл. Для проведення розрахунків будівництва нових енергоблоків на теплових електростанціях було використано данні Міжнародного енергетично-

го агентства і програмно-інформаційний комплекс порівняльної оцінки вартості електричної енергії за життєвий цикл при спалюванні органічного палива в енергетичних установках, розроблений в Інституті загальної енергетики НАН України. Проаналізовано вплив виду і ціни (за формулою «Роттердам+» та без формули) палива на середню вартість електричної енергії за життєвий цикл при впровадженні нових технологій перетворення енергії на ТЕС. Найбільш економічно доцільними з урахуванням характеристик українського кам'яного і бурого вугілля та їх вартості для використання на ТЕС можна вважати пиловугільні енергоблоки надкритичного тиску пари з факельним спалюванням кам'яного вугілля з сіркоочисткою і азотоочисткою. Українське буре вугілля має високу вологість і сірчистість, тому потребує спеціальних технологій термічної переробки. Використання бурого вугілля на ТЕС рекомендується після впровадження на електростанціях установок дроблення і сушіння для покращення його якості (наприклад мікрохвильових).

Ключові слова: теплова електрична станція, надкритичні параметри пари, буре вугілля, вартість електричної енергії.

УДК 620.92

Визначення ефективності вироблення електричної енергії атомними електростанціями за методологією повних енергетичних витрат. Частина 3. Витрати енергії на експлуатацію, ліквідацію та визначення загальної ефективності / В.Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 29–35.

Приведені результати дослідження з визначення ефективності вироблення електричної енергії атомними електростанціями з реакторами ВВЕР-1000 за методологією повних енергетичних витрат. Методика визначення ефективності технологій за цією методологією була опублікована раніше. В частині 1 статті, яка опублікована в № 2 зб. «Проблеми загальної енергетики» за 2018 р., наведені розрахункові дані щодо повних енергетичних витрат на будівництво АЕС. У частині 2 статті, яка опублікована в № 3 зб. «Проблеми загальної енергетики» за 2018 р., наводяться результати розрахунків щодо витрат енергії на отримання ядерного палива, яке необхідне для роботи АЕС впродовж терміну її експлуатації.

У частині 3 висвітлюються питання щодо витрат енергії на експлуатацію крупної АЕС

потужністю 3,0 ГВт, витрати на її ліквідацію та визначаються остаточні показники її енергетичної ефективності вироблення електроенергії на АЕС. Встановлено, що ефективність вироблення електроенергії на АЕС за варіантом незмінності курсу Національного банку України (НБУ) щодо курсів іноземних валют при середній інфляції гривні 7,5% є практично нульовою (коефіцієнт енергетичної ефективності вироблення електроенергії на АЕС визначено на рівні 1,106, що свідчить про майже повну витрату енергії виробленої на АЕС на власне існування та відтворення). Це також свідчить про збитковість орієнтування на закупівлю технологій, обладнання та матеріалів для роботи енергооб'єктів по імпорту за курсом валют НБУ.

Ефективність вироблення електроенергії на АЕС за варіантом розрахунку за курсом, що визначається паритетом купівельної спроможності долара США в Україні (коефіцієнт енергетичної ефективності 1,88), показує, що корисною для суспільства прогнозується 88% виробленої цією АЕС електроенергії, що також свідчить про ефективність використання вітчизняних технологій, обладнання та матеріалів для роботи енергооб'єктів.

Ключові слова: атомна електростанція, повні енергетичні витрати, ефективність вироблення електроенергії, енергетичні витрати на експлуатацію та ліквідацію.

УДК 332.873: 658.18, ORCID 0000-0002-3297-1114

Моделювання та порівняльна оцінка собівартості електроенергії генеруючих та накопичувальних технологій / Н.П. Іваненко, В.А. Денисов // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 36–40.

Можливість накопичення електроенергії в промислових масштабах вигідна всім учасникам ринку: виробникам, постачальникам, споживачам і регулятору. Аналітичні звіти дослідних організацій GTM Research and ESA's U.S. Energy Storage Monitor говорять про рекордні обсяги інвестицій в проекти по розробці і створенню накопичувачів енергії. У розвинених країнах технології накопичення енергії виходять на стадію комерційного використання.

Все це обумовлює актуальність вирішення задачі розрахунку в режимі реального часу розподілу навантаження генеруючих та накопичуючих потужностей енергосистеми, який забезпечує мінімізацію собівартості генерованої електроенергії в

кожен момент часу в режимі стеження за навантаженням.

Підґрунтям для вибору найкращого варіанту вирішення зазначеного завдання може служити матриця собівартості електроенергії, що генерується і постачається різними генеруючими установками, при роботі складових енергосистеми в режимах, відмінних від режиму базового навантаження. Саме цей етап описаний у даній статті.

Наявність такої матриці собівартостей дозволяє на другому етапі сформулювати та вирішити завдання оптимального покриття графіка навантаження.

На базі одержаного рішення може бути створена база карт генеруючих та накопичуючих потужностей для кожного значення графіка споживання.

Ключові слова: матриця собівартостей, математична модель, енергетика, накопичувач.

УДК 621.31

Екологічні наслідки використання електричних теплогенераторів для ущільнення графіків електричних навантажень під час нічного провалу ОЕС України / В.О. Дерій, Т.П. Нечаєва // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 41–46.

В статті викладено результати проведеного аналізу впливу на довкілля використання різного типу споживачів-регуляторів (електрокотлів, теплових насосів та когенераційних установок), призначених для регулювання навантаження ОЕС України під час її «нічних провалів». Встановлено, що додаткове споживання електроенергії електричними теплогенераторами (ЕТГ) буде становити 5,35 млрд кВт·год в рік. Для виробництва такої кількості електроенергії необхідно буде спалити на ТЕС 7456 – 6527 тис. т вугілля (залежно від періоду експлуатації ЕТГ), що призведе до суттєвого впливу на довкілля у вигляді викидів парникових газів та забруднюючих речовин – окислів сірки та пилу. Відповідно до цього та згідно з Податковим кодексом України, ТЕС змушені будуть заплатити додаткові податки на ці викиди, які до їх реконструкції будуть сягати біля 200 млн грн на рік. Тому, впроваджувати електричні теплогенератори доцільно після проведення модернізації та реконструкції теплових електростанцій, яка дозволить значно зменшити викиди шкідливих речовин, а відповідно і податки на них (в 13,8 рази).

Якщо в якості електричних теплогенераторів використовувати теплові насоси, то за життєвий

цикл їх експлуатації буде охолоджена значна частина ґрунту, що зробить його непридатним до рослинництва, порушиться екологічна рівновага та виникне дискомфорт для мешканців. Процес відновлення температури ґрунту після виведення теплових насосів із експлуатації займає понад 20 років. При впровадженні повітряних теплових насосів великої потужності існує загроза зміни мікроклімату житлового масиву (переохолодження в холодну пору року та перегрів влітку). Для зменшення впливу теплових насосів на довкілля доцільно використовувати низькопотенційні джерела енергії техногенного характеру – теплоту каналізаційних стоків, технологічних вод, систем вентиляції, димових газів та інше.

Ключові слова: електричні теплогенератори, ОЕС України, нічний провал, електричні котли, теплові насоси, екологічний вплив.

УДК 536.7

Визначення доцільного обсягу використання технології термохімічної регенерації для газотурбінних установок газоперекачувальних станцій України / О.А. Шрайбер, В.Б. Редькін // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 47–50.

Проведено термодинамічні та техніко-економічні розрахунки схеми термохімічної регенерації (на основі конверсії природного газу з продуктами згоряння) для 12 моделей газотурбінних установок газоперекачувальних станцій України. Встановлено, що для переважної більшості моделей термін окупності капіталовкладень у схему ТХР не перевищує кількох місяців. Рекомендується впровадження схеми ТХР на 40 газотурбінних установках із сумарною потужністю 505 МВт, при цьому вартість палива, що може бути зекономлено, становить 420 млн грн/рік.

Ключові слова: термохімічна регенерація, газотурбіна установка, теплообмін, техніко-економічні характеристики, термін окупності.

УДК 644.1

Аналіз принципів формування локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання / В.І. Дешко, А.І. Замулько, Д.С. Карпенко // Проблеми загальної енергетики. – 2018. – Вип. 4(55). – С. 51–58.

В даній статті описані тенденції розвитку систем централізованого теплопостачання та особливостей функціонування систем теплопостачання в Україні. Визначені передумови створення локальних ринків теплової енергії в системах централізованого теплопостачання. Виконана порівняльна характеристика теплової та електричної енергії як товару.

Метою даної роботи є аналіз особливостей та визначення принципів формування локальних ринків теплової енергії із співставленням досвіду формування і функціонування ринку електричної енергії в Україні.

Визначено, що електрична енергія має абсолютно інший фізичний характер, по відношенню до теплової енергії. На відміну від теплової енергії, електрична енергія є однорідним товаром і значно менше обмежена у дальності транспортування через магістральні та розподільчі мережі. Але, якщо розглядати електричну енергію як товар в цілому, то, тепла енергія може підпорядковуватись правилам ринку електричної енергії та визначатись відповідними аналогіями із врахуванням відмінностей, які мають місце.

У висновках визначено, що ринки електричної та теплової енергії мають загальну основу у вигляді сутності енергетичного ринку. Більшість принципів функціонування ринку електричної енергії можуть бути перенесені на локальні ринки теплової енергії при його створенні. Враховуючи спільні ознаки ринків електричної та теплової енергії, можна казати про інтеграцію ринку теплової енергії в ринок електричної енергії у майбутньому після його створення, згідно тенденцій розвитку систем централізованого теплопостачання. Також, можливе прийняття законодавчої бази про ринок електричної енергії за основу, при створенні локальних ринків теплової енергії.

Ключові слова: ринок електричної енергії, ринок теплової енергії, централізоване теплопостачання, енергоефективність.

УДК 621.311.661

Адаптивная модель регулирования частоты и мощности в энергосистемах с ветровыми электростанциями / М.Н. Кулик, А.В. Згуровец // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 5–10.

Разработана и всесторонне исследована адаптивная модель регулирования частоты и мощности в энергосистемах с ветровыми электростанциями. Регулирующая мощность указанной модели состоит из двух частей: адаптивной составляющей и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) закона. Адаптивная составляющая является разницей между уставкой, задаваемой диспетчерской службой энергосистемы, и мощностью ветровой электростанции в каждый момент времени на периоде регулирования. Вторая составляющая регулирующей мощности является классическим ПИД-законом, в котором в качестве аргумента использовано отклонение частоты. Каждая из отдельно взятых указанных составляющих может обеспечить более-менее приемлемое регулирование частоты, однако их сочетание в одном законе обеспечивает качественно гораздо лучшие результаты.

С использованием разработанной модели проведена серия численных экспериментов, целью которых было исследование возможностей использования предложенной структуры регулирования частоты в ОЭС Украины и в энергосистеме Евросоюза ENTSO-E. Было установлено, что наилучшие показатели по стабилизации частоты обеспечивает полная модель, в которой используется как адаптивная составляющая, так и ПИД-закон. При этом обеспечивается европейское требование по стабилизации частоты ($|\Delta f|_{max} \leq 0,02$ Гц), и значения коэффициентов ПИД-закона являются вполне приемлемыми, исходя из критерия устойчивости системы регулирования частоты.

Использование в регулирующей мощности только адаптивной составляющей обеспечивает требование стабильности частоты ($|\Delta f|_{max} \leq 0,2$ Гц), действующее в ОЭС Украины, однако не может удовлетворить требования энергосистемы ENTSO-E. Использование в регулирующей мощности только ПИД-закона может удовлетворить требования энергосистемы ENTSO-E при условии, что коэффициенты этого закона будут более, чем на порядок превышать их значения, фигурирующие в полной модели регулирования. Такие значения этих коэффициентов могут представлять угрозу устойчивости всей системы регулирования частоты.

Ключевые слова: частота, регулирование, мощность, быстродействие, энергосистема, ветровая электростанция, аккумуляторная батарея.

УДК 620.9.002.8

Прогнозирование спроса на топливно-энергетические ресурсы в энергоемких производствах пищевой промышленности с учетом потенциала энергосбережения / Н.Ю. Майстренко // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 11–16.

Рассчитаны прогнозные уровни потребления топливно-энергетических ресурсов до 2040 г. с учетом потенциалов энергосбережения в энергоемких производствах в разделе «Производство пищевых продуктов; напитков и табачных изделий». На примере этих производств уточнены потенциалы энергосбережения и разработан прогноз выпуска продукции и объемов энергопотребления как в самих производствах, так и для раздела вообще.

Полученные результаты показывают необходимость учета общего структурного потенциала энергосбережения и его составляющих, поскольку именно развитие отдельных энергоемких производств определяет развитие определенного раздела и экономики страны в целом.

Ключевые слова: потенциал энергосбережения, прогнозирование, топливно-энергетические ресурсы, энергоемкие виды экономической деятельности.

УДК 620.9; 621.311.

Мировые тенденции в развитии геотермальной энергетики. Часть 1. Геотермальные ресурсы по регионам мира / Ю.А. Шурчкова // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 17–24.

В статье представлен обзор материалов об использовании геотермальных ресурсов по регионам мира. Показана зависимость эффективности использования геотермальных ресурсов от геофизических и географических параметров каждого региона. Приведены данные, в каких странах геотермальная энергетика развивается наиболее успешно и для каких целей применяется. Лидерами являются США, Филиппины, Мексика, Индонезия, Новая Зеландия. Все эти страны расположены в областях современного вулканизма, в пределах «Огненного Кольца», где теплоноситель имеет высокие параметры, доступен на поверхности Земли, где расходы на сооружение ГеоТЭС минимальны и себестоимость энергии конкурентоспособна на рынке энергоносителей. Подчеркивается, что в мировых масштабах геотермальная энергетика использует

ся крайне мало: доля электроэнергии, получаемой с помощью геотермальных ресурсов, составляет всего 0,5%. Ее производят всего в 24 странах. Значительно более масштабно выглядит прямое использование геотермальной теплоты: для обогрева помещений, в том числе, для централизованного теплоснабжения, для обогрева бассейнов, теплиц, кондиционирования, для подогрева открытого грунта, обогрева дорожного покрытия, в промышленных технологических процессах, для таяния снега и других целей. Например, в столице Китая Пекине пробурено около трехсот скважин глубиной примерно 3 километра, из которых поступает вода с температурой до 70 °С, которая используется для центрального отопления высотных домов и для обогрева теплиц. В Исландии за счёт геотермальной теплоты обеспечивается 90% потребностей страны в отопительных мощностях; на отопление и горячее водоснабжение тратится почти половина объёмов геотермальной энергии. В парижском бассейне действуют 37 циркуляционных систем, включающих 50 установок для централизованного теплоснабжения. Теплота поставляется также в теплицы и рыбоводческие фермы. В 2007 г. был реализован новый проект циркуляционной системы для теплоснабжения парижского аэропорта Орли. В окрестностях Парижа 33 геотермальных установки отапливают 170 тыс. домов.

Ключевые слова: энергетика, геотермальная, ресурс, континент, теплота, электроэнергия, мир.

УДК 621.311

Оценка перспективы использования бурого угля на ТЭС Украины / В.С. Коберник // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 25–28.

Целью статьи является определение перспективы использования бурого угля на ТЭС. Для этого проведено сравнение технико-экономических показателей энергоблоков ТЭС с факельным сжиганием каменного и бурого угля по различным технологиям (сверхкритическое давление пара и ультрасверхкритическое давление пара) и обеспечивают достижение современных норм выбросов основных загрязняющих веществ согласно Директиве 2010/75/ЭС. Расчеты проведены по средней себестоимости произведенной за жизненный цикл энергии (LCOE), обеспечивающей самокупаемость источники производства за весь цикл существования. Показатель LCOE учитывает все затраты за жизненный цикл. Для проведения расчетов строительства новых энергоблоков на

тепловых электростанциях были использованы данные Международного энергетического агентства и программно-информационный комплекс сравнительной оценки стоимости электрической энергии за жизненный цикл при сжигании органического топлива в энергетических установках, разработанный в Институте общей энергетики НАН Украины. Проанализировано влияние вида и цены (по формуле «Роттердам +» и без формулы) топлива на среднюю стоимость электрической энергии за жизненный цикл при внедрении новых технологий преобразования энергии на ТЭС. Наиболее экономически целесообразными с учетом характеристик украинского каменного и бурого угля и их стоимости для использования на ТЭС можно считать пылеугольные энергоблока сверхкритического давления пара с факельным сжиганием каменного угля с сероочисткой и азотоочисткой. Украинский бурый уголь имеет высокую влажность и сернистость, поэтому требует специальных технологий термической переработки. Использование бурого угля на ТЭС рекомендуется после внедрения на электростанциях установок дробления и сушки для улучшения его качества (например микроволновых).

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, сверхкритические параметры пара, бурый уголь, стоимость электрической энергии.

УДК 620.92

Определение эффективности производства электрической энергии атомными электростанциями с использованием методологии полных энергетических затрат. Часть 3. Затраты энергии на эксплуатацию, ликвидацию и определение общей энергетической эффективности / В.Д. Белодед // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 29–35.

Приведены результаты исследования по определению эффективности выработки электроэнергии атомными электростанциями с реакторами ВВЭР-1000 по методологии полных энергетических затрат. Методика определения эффективности технологий по этой методологии была опубликована ранее. В части 1 статьи опубликованной в № 2 сб. «Проблемы общей энергетики» за 2018 р. приведены расчётные данные полных энергетических затрат на строительство АЭС. В части 2 статьи, опубликованной в № 3 сб. «Проблемы общей энергетики» за 2018 р., приводятся результаты расчётов по затратам энергии на получение ядерного топлива, которое необходимо для работы АЭС в течение срока ее эксплуатации.

В части 3 освещаются вопросы затрат энергии на эксплуатацию крупной АЭС мощностью 3,0 ГВт, затраты на ее ликвидацию и определяются окончательные показатели ее энергоэффективности эффективности выработки электроэнергии на АЭС. В результате расчетов установлено, что эффективность выработки электроэнергии на АЭС по варианту неизменности курса Национального банка Украины (НБУ) относительно курсов иностранных валют при средней инфляции гривны 7,5% практически нулевая (коэффициент энергетической эффективности выработки электроэнергии на АЭС определен на уровне 1,106, что свидетельствует о почти полном расходе энергии, произведенной на АЭС на собственное существование и воспроизводство). Это также свидетельствует и об убыточности ориентирования на закупку технологий, оборудования и материалов для работы энергообъектов по импорту по курсу валют НБУ.

Эффективность выработки электроэнергии на АЭС по варианту расчета по курсу определяется паритету покупательной способности доллара США в Украине (коэффициент энергетической эффективности 1,88) показывает, что полезной для общества прогнозируется 88% производимой этой АЭС электроэнергии, что также свидетельствует об относительной эффективности использования отечественных технологий, оборудования и материалов для работы энергообъектов.

Ключевые слова: атомная электростанция, полные энергетические затраты, эффективность выработки электроэнергии, энергетические затраты на эксплуатацию и ликвидацию.

УДК 332.873: 658.18

Моделирование и сравнительная оценка себестоимости электроэнергии генерирующих и накопительных технологий / Н.П. Иваненко, В.А. Денисов // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 36–40.

Возможность накопления электроэнергии в промышленных масштабах выгодна всем участникам рынка: производителям, поставщикам, потребителям и регулятору. Аналитические отчеты исследовательских организаций GTM Research and ESA's U.S. Energy Storage Monitor говорят о рекордных объемах инвестиций в проекты по разработке и созданию накопителей энергии. В развитых странах технологии накопления энергии выходят на стадию коммерческого использования. Все это обуславливает актуальность решения задачи расчета в режиме реального времени распределения нагрузки генерирующих и накопи-

тельных мощностей энергосистемы, которое обеспечивает минимизацию себестоимости произведенной электроэнергии в каждый момент времени в режиме слежения за нагрузкой.

Основой для выбора наилучшего варианта решения указанной задачи может служить матрица себестоимости электроэнергии, которая генерируется и поставляется различными генерирующими установками, при работе составляющих энергосистемы в режимах, отличных от режима базовой нагрузки. Именно этот этап описан в данной статье. Наличие такой матрицы себестоимостей позволит на втором этапе сформулировать и решить задачу оптимального покрытия графика нагрузки.

На базе полученного решения может быть создана база карт генерирующих и накапливающих мощностей для каждого значения графика потребления.

Ключевые слова: матрица себестоимостей, математическая модель, энергетика, накопитель.

УДК 621.31

Экологические последствия использования электрических теплогенераторов для уплотнения графиков электрических нагрузок во время ночного провала ОЭС Украины / В.А. Дерий, Т.П. Нечаева // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 41–46.

В статье изложены результаты проведенного анализа влияния на окружающую среду использование различного типа потребителей-регуляторов (электрокотлов, тепловых насосов и когенерационных установок), предназначенных для регулирования нагрузки ОЭС Украины во время ее «ночных провалов». Установлено, что дополнительное потребление электроэнергии электрическими теплогенераторами будет составлять 5,35 млрд кВт·час в год. Для производства такого количества электроэнергии необходимо будет сжечь на ТЭС 7456 – 6527 тис. т. угля (в зависимости от периода эксплуатации ЭТГ), что приведет к существенному влиянию на окружающую среду в виде выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ – оксидов серы и пыли. В соответствии с этим и согласно с Налоговым кодексом Украины ТЭС вынуждены будут платить дополнительные налоги на эти выбросы, которые до их реконструкции будут составлять около 200 млн грн в год. Поэтому, внедрять электрические теплогенераторы целесообразно после проведения модернизации и реконструкции тепловых электростанций, которая позволит значительно сократить выбросы вредных веществ, а соответственно и налогов на них (в 13,8 раза).

Если в качестве электрических теплогенераторов использовать тепловые насосы, то за жизненный цикл их эксплуатации будет охлаждена значительная часть грунта, что сделает его непригодным для растениеводства, нарушится экологическое равновесие и возникнет дискомфорт для жителей. Процесс возобновления температуры грунта после выведения тепловых насосов с эксплуатации займет более 20 лет. При внедрении воздушных тепловых насосов большой мощности существует угроза изменения микроклимата жилого массива (переохлаждение в холодную пору года и перегрев летом). Для уменьшения влияния тепловых насосов на окружающую среду целесообразно использовать низкопотенциальные источники энергии техногенного характера – теплоту канализационных стоков, технологических вод, систем вентиляции, дымовых газов и другое.

Ключевые слова: электрические теплогенераторы, ОЭС Украины, ночной провал, электрические котлы, тепловые насосы, экологическое влияние.

УДК 536.7

Определение целесообразного объема использования технологии термохимической регенерации для газотурбинных установок газоперекачивающих станций Украины / А.А. Шрайбер, В.Б. Редькин // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 47–50.

Проведены термодинамические и технико-экономические расчеты схемы термохимической регенерации (на основе конверсии природного газа с продуктами сгорания) для 12 моделей газотурбинных установок газоперекачивающих станций Украины. Показано, что для преобладающего большинства моделей срок окупаемости капиталовложений в схему ТХР не превышает нескольких месяцев. Рекомендуется внедрение схемы ТХР на 40 газотурбинных установках с суммарной мощностью 505 МВт, при этом стоимость топлива, которое может быть сэкономлено, составляет 420 млн грн/год.

Ключевые слова: термохимическая регенерация, газотурбинная установка, теплообмен, технико-экономические характеристики, срок окупаемости.

УДК 644.1

Анализ принципов формирования локальных рынков тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения / В.И. Дешко, А.И. Замулко, Д.С. Карпенко // Проблемы общей энергетики. – 2018. – Вып. 4(55). – С. 51–58.

В данной статье описаны тенденции развития систем централизованного теплоснабжения и особенностей функционирования систем теплоснабжения в Украине. Определены предпосылки создания локальных рынков тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения. Выполнена сравнительная характеристика тепловой и электрической энергии как товара.

Целью данной работы является анализ особенностей и определение принципов формирования локальных рынков тепловой энергии с сопоставлением опыта формирования и функционирования рынка электрической энергии в Украине.

Определено, что электрическая энергия имеет совершенно другой физический характер по отношению к тепловой энергии. В отличие от тепловой энергии, электрическая энергия является однородным товаром и значительно меньше ограничена в дальности транспортировки по магистральным и распределительным сетям. Но, если рассматривать электрическую энергию как товар в целом, то, тепловая энергия может подчиняться правилам рынка электрической энергии и определяться соответствующими аналогиями с учетом различий, которые имеют место.

В выводах определено, что рынки электрической и тепловой энергии имеют общую основу в виде сущности энергетического рынка. Большинство принципов функционирования рынка электрической энергии могут быть перенесены на локальные рынки тепловой энергии при его создании. Учитывая общие признаки рынков электрической и тепловой энергии, можно говорить об интеграции рынка тепловой энергии в рынок электрической энергии в будущем после его создания, согласно тенденций развития систем централизованного теплоснабжения. Также, возможно принятие законодательной базы о рынке электрической энергии за основу при создании локальных рынков тепловой энергии.

Ключевые слова: рынок электрической энергии, рынок тепловой энергии, централизованное теплоснабжение, энергоэффективность.

UDC 621.311.661

Adaptive model of frequency and power control in power systems with wind power plants / M.M. Kulyk, O.V. Zgurovets // *The Problems of General Energy*. – 2018. – Issue 4 (55). – P. 5–10.

An adaptive model of frequency and power control in electrical supply systems with wind power plants was developed and comprehensively investigated. The regulating power of this model consists of two parts: the adaptive component and proportional-integral-differential (PID) law. The difference between setting specified by the dispatch service of electrical supply system and the power of wind power plant at each moment of time during the regulation period serves as the adaptive component. The second component of regulating power is the classical PID law, where frequency is used as an argument. Each of these individual components can provide a more or less acceptable frequency control, but their combination in a single law provides qualitatively much better results.

We carried out a series of numerical experiments using the developed model. The purpose of these investigations was to study the possibilities of using the proposed structure of frequency control in the Integrated Power System (IPS) of Ukraine and ENTSO-E power system of the European Union. It was found that the best performance for frequency stabilization is provided by the full model, which uses both the adaptive component and PID law. This guarantees the European requirements to frequency stabilization ($|\Delta f|_{\max} \leq 0.02$ Hz), and the values of PID-law coefficients are quite acceptable, based on the stability criterion of frequency control system.

The use of only the adaptive component in the regulating power ensures the requirement to frequency stability ($|\Delta f|_{\max} \leq 0.2$ Hz), which is valid in the IPS of Ukraine, but cannot meet the requirements of ENTSO-E power system. The use of only PID-law in regulating power can satisfy the requirements of ENTSO-E power system only in case of applying coefficients of this law that exceed by more than an order of magnitude their values appearing in the full regulation model. Such values of these coefficients may constitute a threat to the stability of entire system of frequency control.

Keywords: frequency, regulation, power, speed, power system, wind power plant, battery energy storage system.

References

1. Kulyk, M.M., Dryomin, I.V., & Zgurovets, O.V. (2018). Investigation of the operating modes

of integrated power systems with powerful wind power plants and accumulator batteries. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 2(53), 15–20 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.015>.

2. Kulyk, M.M., Dryomin, I.V., & Zgurovets, O.V. (2018). Mozhlyvosti vykorystannia velykykh nakopychuvachiv elektroenerhii dlia stabilizatsii chastoty v obiednanykh enerhosystemakh z potuzhnymy soniachnymy elektrostantsiiamy. *Vidnovliuvana Enerhetyka*, 3(54), 6–14 [in Ukrainian].

3. Kulyk, M.M., & Zgurovets, O.V. (2018). Osoblyvosti vykorystannia hidroelektrostantsii ta akumuliatornykh batarei dlia stabilizatsii chastoty v enerhosystemakh. *Energy technologies & resource saving*, 3, 3–11 [in Ukrainian].

4. Dryomin, I.V. (2011). Uzahalneni modeli ta zasoby z pidvyshchennia efektyvnosti avtomatichnoho rehuliuвання chastoty i potuzhnosti v obiednanykh enerhosystemakh: avtoref. dys. ...kand. tekhn. nauk za spetsialnistiu 05.14.01 – Enerhetychni systemy ta komplekxy. K.: Instytut zahalnoi enerhetyky NAN Ukrainy, 2011 [in Ukrainian].

5. Trutaev, V.I., & Syropuschinsky, V.M. (2010). The use of electric boilers in the CHP as an effective way to get maneuverable electric power in the power system of Belarus with the introduction of nuclear power. *Enerhetycheskaia stratehiia — Energy strategy*, 4 (16), 19–24 [in Russian].

6. Kolesnikov, A. (2012). Chto takoe veter? URL: <http://al-kolesnikov.livejournal.com/17152.html> (Last accessed: 01.09.2018) [in Russian].

UDC 620.9.002.8

Prognostication of the demand for primary energy resources in the power-intensive productions of food industry with regard for the potential of energy saving / N.Yu. Maistrenko // *The Problems of General Energy*. – 2018. – Issue 4(55). – P. 11–16.

We calculated the predicted levels of consumption of primary energy resources to 2040 with regard for potentials of energy saving in power-intensive productions in the section «Manufacture of food products, drinks, and tobacco goods». On the example of these productions, we refined the potentials of energy saving and developed a prognosis of manufacture of products and volumes of energy consumption both in productions themselves and for the section as a whole.

The results obtained show a necessity to take into account the general structural potential of energy saving and its constituents because just the development of separate power-intensive productions determines the development of a certain section and the economy of country on the whole.

Keywords: potential of energy savings, prognostication, fuel and energy resources, power-intensive types of economic activity.

References

1. Tret eksporta ukrainskoi ahrarki – zerno. URL: <https://delo.ua/business/tret-eksporta-ukrainskoj-agrarki-zerno-346694/> (Last accessed: 06.10.2018) [in Russian].
2. TOP-20 ukrainskoi ahroproduksii, yaka naibilshe eksportuvalas. URL: <https://agror-eview.com/news/top-20-ukrayinskoyi-ahro-produkciyi-yaka-najbilshe-eksportuvalas> (Last accessed: 07.10.2018) [in Ukrainian].
3. Maistrenko, N.Yu. (2017). Improved four-level methodology for forecasting the levels of energy consumption with regard for structural changes in the economy. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(50), 5—22 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.015>.
4. Kulyk, M.M., Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V., & Spitkovskiy, A.I. (2017). Application of the method of complex forecasting for the determination of long-term demand for energy resources. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 1(48), 5—15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>.
5. Malyarenko, O.Ye., & Maistrenko, N.Yu. (2015). Forecasting fuel and energy consumption levels taking into account energy saving potential in the context of structural changes in the economy. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 2(41), 5—22 [in Ukrainian, in English]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.005>.
6. Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Kuts, G.O. (2015). Prediction needs economy in energy resources taking into account the demand for energy-intensive export-oriented products. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky - The Problems of General Energy*, 4(43), 5—13 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.04.005>.
7. Malyarenko, E.E., & Maistrenko, N.Yu. (2015). Pokazateli enerhetycheskoi effektivnosti i opredelenie potentsiala enerhosberzheniia v promyshlennykh tekhnolohiiakh. *En-*

erhotekhnolohii i resursosberezhenie. 3, 18—28 [in Russian].

8. Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Stanytsina, V.V. (2015). Advanced technical approach to identify appropriate energy saving potential in energy-intensive economic activities. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(42), 23—30 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.03.023>.
9. Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Stanytsina, V.V. (2016). Substantiation of the predictive volumes of energy saving potential in the enlarged sectors of economy with regard for technological and structural changes. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 4(47), 58—67 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.058>.
10. Zvit pro vykorystannia palyva, teploenerhii ta elektroenerhii: forma statystychnoi zvitnosti 11 – MTP za 2001–2015 rr. K.: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2015 [in Ukrainian].
11. Tablytsia vytraty-vypusk Ukrainy za 2015 rik v osnovnykh tsinakh: statystychnyi zbirnyk. K.: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2016. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/05/zb_tvvuoz2016pdf.pdf [in Ukrainian].

UDC 620.9; 621.311

Global trends in the development of geothermal energy. Part 1. Geothermal resources over regions of the world / Yu.A. Shurchkova // The Problems of General Energy. – 2018. – Issue 4(55). – P. 17—24.

The article provides an overview of materials on the use of geothermal resources over regions of the world. The dependence of efficiency of using geothermal resources on the geophysical and geographical parameters of each region is shown. We present data on the countries where geothermal energy is developing most successfully and for what purposes it is used. The leaders are here the United States, the Philippines, Mexico, Indonesia, and New Zealand. All these countries are located in the areas of present-day volcanism, within the “Fiery Ring”, where the heat carrier has high parameters and is available on the Earth’s surface, where the cost of building a geothermal power plant is minimal, and the prime cost of energy is competitive in the energy market. It is emphasized that geothermal energy is used very little on the global scale: the share of electricity generated from geothermal resources is only 0.5%. It is produced only in 24 countries.

The direct use of geothermal heat is much more wide-spread: for space heating, including centralized heat supply, for and pools, greenhouses, air conditioning, for heating open ground, and pavement, in industrial processes, for melting snow and other purposes. For example, in the capital of China, Beijing, about three hundred wells were drilled to a depth of about 3 kilometers. Water with a temperature up to 70 °C flows from them and is used for central heating of high-rise buildings and for heating greenhouses. In Iceland, owing to geothermal heat, 90% of the country's heating capacity needs are met. Almost half of the volumes of geothermal energy are spent for heating and hot water. In the Paris basin, there are 37 circulation systems, including 50 installations for centralized heat supply. Heat is also supplied to greenhouses and fish farms. In 2007, a new draft of the circulation system for heating the Orly airport in Paris was implemented. In the vicinity of Paris, 170 thousand houses are heated by 33 geothermal plants.

Keywords: energy, geothermal, resources, continents, heat, electricity, world.

References

1. The Geysers Geothermal Field, California. *www.power-technology.com*. URL: <http://www.power-technology.com/projects/the-geysers-geothermal-california>.
2. World Geothermal Congress, 2015, Melbourne, Australia, International Geothermal Association. URL: <https://www.geothermal-energy.org/.../world-geothermal-co>.
3. Prospects for the development of the European geothermal energy market. URL: <http://abercade.ru/research/analysis/4027.html> [in Russian].
4. Bertani, R. et al. (2013). Summary of EGC 2013 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe, in Proceedings European Geothermal Congress, Pisa, Italy, June 4-6, 2013.
5. Geothermal energy: global trends and Russian prospects. URL: http://www.cleandex.ru/articles/2016/05/20/geotherm_energy_world_tendency_russian_prospects [in Russian].
6. Konechenkov, A.E. (2016), Geothermal energy, world news. URL: <http://oilreview.kiev.ua/2016/03/05/geotermalnyj-plan-razvitiya/> [in Russian].
7. Dolinsky, A.A., Rezakova, T.A. (2017). The contribution of geothermal energy to the energy independence of Ukraine. *Industrial heat engineering*, V. 39, No. 2, P. 6—11 [in Russian].

8. Pacific Ring of Fire. URL: <https://allatra.tv/video/tihookeanskoe-ognennoe-kolco-klimaticheskie-izmeneniya-102>.
9. Ruggiero Bertani. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report. *www.geothermal-energy.org*. URL: <https://pan-gea.stanford.edu>.

UDC 621.311

Estimation of the prospect of using brown coal at the thermal power plants of Ukraine / V.S. Kobernik // The Problems of General Energy. – 2018. – Issue 4(55). – P. 25—28.

The aim of this article is to determine the prospect of using brown coal at thermal power plants (TPP). For this purpose, we compare the technical-and-economic characteristics of power units with flame burning of bituminous and brown coal, based on different technologies (supercritical steam pressure and ultra-supercritical steam pressure), which ensure the achievement of present-day emission standards for main pollutants in accordance with Directive 2010/75/EU. Calculations were carried out by the average prime cost of energy generated for the life cycle (LCOE), which provides self-accounting of the source of production for the entire cycle of existence. Parameter LCOE takes into account all life-cycle costs. In order to calculate the construction of new units at thermal power plants, we used data of the International Energy Agency and program-and-information complex of the comparative estimation of cost of electric energy for the life cycle at the combustion of organic fuel in power plants, developed at the Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. We analyzed the influence of type and price (according to the formula «Rotterdam +» and without it) of fuel on the average cost of electric energy for the life cycle at the introduction of new technologies of energy conversion at TPP. We may consider pulverized-coal fired power units of supercritical steam pressure with frame burning of bituminous coal with sulfur purification and nitrogen cleaning as the most economically feasible with regard for the characteristics of Ukrainian bituminous and brown coal and their value for use at the TPP. The Ukrainian brown coal has high humidity and sulfur content, hence, it needs special technologies for thermal processing. The use of brown coal at TPP is recommended after the introduction into power plants of crushing and drying facilities (e.g., microwave) to improve its quality.

Keywords: thermal power plant, supercritical steam parameters, brown coal, cost of electrical energy.

References

1. Tsena burogo uglya i kharakteristiki dlya yevropeyskogo proizvodstva. URL: <http://www.eic.in.ua/European-prices-brown-coal> (Last accessed: 01.06.2018) [in Russian].
2. Projected Costs of Generating Electricity. (2010). International energy agency. Nuclear energy agency. 203 p.
3. Tsina ukrainskoho vuhillia za formuloiu «Rotterdam+». URL: <http://ua-energy.org/post/61012> (Last accessed: 01.06.2018) [in Ukrainian].
4. Vartist buroho vuhillia. URL: <http://www.ua-tenders.com/offer/105613/> (Last accessed: 01.06.2018) [in Ukrainian].
5. Tekhnicheskie kharakteristiki buroho uhlia. URL: <http://eic.in.ua/sites/default/files/TXBU.pdf> (Last accessed: 01.06.2018) [in Russian].
6. Dynamika serednomisiachnoi zarobitnoi platy za vydamy ekonomichnoi diialnosti promyslovosti u 2010-2017 rokakh. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Last accessed: 01.06.2018) [in Ukrainian].
7. Kuksov, A.S., & Nagornov, V.N. (2013). Metodicheskiye podkhody k otsenke ekonomicheskoy tselesoobraznosti energeticheskogo ispol'zovaniya belorusskikh burykh ugley. Aktual'nyye problemy energetiki. *Materialy 65-y SNTK*. Minsk. P. 471—474. URL: <http://www.bntu.by/images/stories/ef/SCIENCE/65-7.pdf> (Last accessed: 01.06.2018) [in Russian].
8. Effektivnyye napravleniya tekhnicheskogo perevooruzheniya ugol'nykh energoblokov 200-300 MVt. – *Khar'kovskoye TSKB «Energoprogress»* (2012). 29 p. URL: http://www.niss.gov.ua/public/File/2012_table/Pr10_25_12_2012.pdf (Last accessed: 01.06.2018) [in Russian].
9. Khaydurova, A.A. (2010). Uluchsheniye kachestvennykh kharakteristik tverdogo topliva vozdeystviyem mikrovolnovoy energii pri yego podgotovke k szhiganiyu: avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk, spets. 01.04.14 – Teplofizika i teoreticheskaya teplotekhnika. Ulan-Ude. 20 p. [in Russian].

UDC 620.92

Determination of the efficiency of electric power production by nuclear power plants using to the methodology of full energy costs. Part 3. Energy consumption for operation and decommissioning of plants and determination of their overall

efficiency / V.D. Bilodid // Problems of General Energy. — 2018. — Issue 4(55). — P. 29—35.

The results of determination of the efficiency of electric power production by nuclear power plants with WWER-1000 reactors according to the methodology of full energy costs are presented. The procedure for determining the efficiency of technologies by this methodology was published earlier. In part 1 of this article, which was published in the 2nd issue of «The Problems of General Energy» for 2018, one can find calculated values of the total energy costs for the construction of nuclear power plants. In part 2 of the article, which is published in the 3rd issue of «The Problems of General Energy» for 2018, we present the results of calculations of energy expenditure for the receipt of nuclear fuel, which is necessary for the work of NPP during its lifetime.

Part 3 covers the questions of energy costs for the operation of a large NPP with a power of 3.0 GW and the cost of its decommissioning and determines the final characteristics of its energy efficiency. As a result of these calculations, it was established that the efficiency of power generation at NPPs in the case of invariable rate of the National Bank of Ukraine (NBU) relative to the foreign exchange rates at an average UAH inflation of 7.5% is practically zero. Namely, the coefficient of energy efficiency of power generation at NPPs has a level of 1.106, which is evidence of the almost total expenditure of energy produced by the NPP for its own existence and reproduction. This also shows the unprofitableness of targeting to the purchase of technologies, equipment and materials for the operation of power units for import at the NBU exchange rates.

The efficiency of power generation at NPPs at the rate determined by the parity of the purchasing power of US dollar in Ukraine (energy efficiency factor is 1.88), shows that 88% of the electricity generated by this NPP is predicted to be useful for the people. This also indicates the efficiency of using domestic technologies, equipment and materials for the operation of power facilities.

Keywords: nuclear power plant, full energy costs, electricity production efficiency, energy consumption for operation and decommissioning.

References

1. Bilodid, V.D. (2018). Determination of the efficiency of electric power production by nuclear power plants using the methodology of full energy costs. Part 1. Energy costs for con-

- struction. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 2(53), 36—44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.036>.
2. Bilodid, V.D. (2018). Determination of the efficiency of electric power production by nuclear power plants using the methodology of full energy costs. Part 2. Energy costs for nuclear fuel. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(54), 36—41 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.036>.
3. Bilodid, V.D. (2017). Total energy costs for electricity produced by power objects. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(50), 23—32 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.023>.
4. Menshikov, V.F. (1998). Rossiya s atomnoy energetikoy ili bez neyo. Rossiya v okruzhayushchem mire: 1998 god: analiticheskiy ezhegodnik. N.N. Moiseeva, S.A. Stepanova (Eds.). Moscow: Mezhdunarodniy nezavisimiy ekologo-politologicheskii universitet [in Russian].
5. Bekman, I.N. (2013). Radiohimiya. T. 4. Yadernaya industriya i promyshlennaya radiohimiya: ucheb. pos. M.: Ontoprint, 400 p. [in Russian].
6. Obzor yadernyih tehnologiy – 2012. Doklad Generalnogo direktora MAGATE. Generalnaya konferentsiya. Pyatdesyat shestaya ocherednaya sessiya. Punkt 16 predvaritelnoy povestki dnya (GC(56)/1 i Add. 1), (GC(56)/INF/3), 10 avgusta 2012 g., 67 p. [in Russian].
7. Decommissioning Nuclear Facilities. World Nuclear Association. URL: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>.
8. Holovko, I. (2017). Taiemnytsia «deshevoho» atomu, abo Shcho Ukraina vynna YeBRR. *Ekonomichna pravda*. 12.05.2017. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2017/05/12/624621/> [in Ukrainian].
9. Margulova, T.H. (1974). Atomnyie elektricheskie stantsii: uchebnik dlya VUZov. Izd. 2-e, pererab. i dopoln. M.: Vyssh. shkola, 359 p.
10. Nechaieva T.P. (2018). Model and structure of the long-term development of generating capacities of a power system with regard for the commissioning and decommissioning dynamics of capacities and changing their technical-and-economic indices. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(54), 5—9 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.005>.

UDC332.873: 658.18

Mathematical simulation and comparative assessment of the prime cost of electric energy, produced by generating and accumulating technologies / N.P. Ivanenko, V.A. Denisov // *The problems of General Energy*. – 2018. – Issue 4(55). – P. 36—40.

The ability to accumulate electricity on an industrial scale is beneficial for all market participants: producers, suppliers, consumers, and regulators. Analytical reports from research organizations GTM Research and ESA's U.S. Energy Storage Monitor give information on the record volumes of investment to projects of the designing and building of plants for energy storage. In developed countries, energy saving technologies are coming to the stage of commercial use.

All this determines the relevance of solving the problem of calculation in real time of the load distribution of generating and accumulating capacities of the power system, which minimizes the prime cost of electricity produced at each time point under the load tracking mode.

As the basis for choosing the best solution of this problem, one can take the prime cost matrix of energy that is generated and supplied by various generating plants, when the power system components operate under modes other than the base load mode. Just this stage is described in the present paper.

The presence of such a prime cost matrix allows formulating and solving the problem of optimal coverage of the loading schedule at the second stage.

Based on the obtained solution, a database of generating and accumulating capacities for each value of the consumption schedule can be created.

Keywords: cost matrix, mathematical simulation, energy sector, energy storage.

References

1. Shaposhnikov, D., & Batrakov, A. (2017). Kak tehnologii nakopleniya energii izmenyat mir. *Tehnologii I media*. # 008 (2505) (1901). URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2017/01/19/587e404e9a7947208a047c9d> [in Russian].
2. Malyarenko, V.A. (2011). Neravnomernost grafika nagruzki energosistemyi i sposobyi ee vyiravnivaniya. *Svetotekhnika i elektroenergetika*, №4. 61—66 [in Russian].
3. E-storage: Shifting from cost to value, wind and solar applications. (2016). URL: <https://www.worldenergy.org/publications/2016/e-storage-shifting-from-cost-to-value-2016/>.

4. NuScale_Power_SMR – Simple, Safe, Economic.pdf. URL: <https://www.iaea.org/>.
5. SMR-160-essential-information-2017-non-proprietary.pdf. URL: <https://smrllc.com>.
6. SMR-160 – Frequently Asked Questions. URL: <https://smrllc.com/faqs/#Q5>.
7. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2018. March 2018 URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
8. Cost and Performance Characteristics of New Generating Technologies, Annual Energy Outlook 2018. URL: www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/table_8.2.pdf.
9. Lazard's levelized cost of storage analysis — version 3.0. NOVEMBER 2017. URL: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-storage-2017/>.

UDC 621.31

Environmental implications of the use of electric heat generators for the compaction of electrical load schedules during the night depressions of the UES of Ukraine/ V.O. Derii, T.P. Nechaieva // *The Problems of General Energy*. – 2018. – Issue 4 (55). – P. 41—46.

This article presents the results of our analysis of the environmental implications of using different types of consumer regulators (electric boilers, heat pumps and cogeneration units), intended to regulate the load of the UES of Ukraine during its «night depressions». It is established that additional electricity consumption by electric heat generators (EHG) will be equal to 5.35 billion kWh per year. For the production of this amount of electricity, it will be necessary to burn from 6527 to 7456 thousand tons of coal at TPPs (depending on the period of operation of EHG), which will have a significant influence on the environment in the form of emissions of greenhouse gases and pollutants, namely sulfur oxides and dust.

As follows from here, in accordance with the Tax Code of Ukraine, TPPs will be forced to pay additional taxes on these emissions, which will reach about 200 million UAH per year before their reconstruction. Therefore, the introduction of electric heat generators is expedient after the modernization and reconstruction of thermal power plants, which will significantly reduce the emissions of harmful substances and, accordingly, taxes on them by a factor of 13.8.

If heat pumps are used as electric heat generators, a significant area of the soil will be cooled during the life cycle of their operation, which will make it

unsuitable for planting, disturb the ecological balance, and cause discomfort to the inhabitants. The process of soil temperature restoration after the removal of heat pumps from operation will take more than 20 years. In the case of introducing high-power air heat pumps, there is a risk of changing the microclimate of a residential area (overcooling during the cold season and overheating in summer). To reduce the influence of heat pumps on the environment, it is expedient to use low-potential energy sources of anthropogenic nature, namely, the heat of sewage, technological water, ventilation systems, flue gases, and others.

Keywords: electric heat generators, UES of Ukraine, night depressions, electric boilers, heat pumps, ecological influence.

References

1. Kulyk, M.M. (2014). Comparative Analysis of Technical and Economic Features of Kaniv PSPS and a Suite of Load-Controlled Consumers for Following Electrical Load Curves. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky - The Problems of General Energy*, 4(39), 5—10 [in Ukrainian].
2. Kulyk, M.M. (2015). Techno-Economic Aspects of Using Consumers-Controllers in Automatic Frequency and Power Control Systems. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 1(40), 20—28 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.01.020>
3. Derii, V.O., & Zgurovets, O.V. (2017). Investigation of the schedules of electrical loads of power system for determining the possibilities of their improvement by using electric heat-generators. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 4(51), 52—60 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.052>.
4. Derii, V.O. (2018). Features of the joint operation of district heating systems and electric heat generators when regulating them the load of the UES of Ukraine. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky - The Problems of General Energy*, 3(54), 54—59 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.054>.
5. Information on the work of the power sector for December 2017. *Ministry of Energy and Coal of Ukraine*. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245272535&cat_id=245183225 (Last accessed: 17.07.2018) [in Ukrainian].
6. Report on conformity assessment (adequacy) of generating capacity. *NPC Ukrenergo*. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/>

Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej.pdf (Last accessed: 09.08.2018) [in Ukrainian].

7. Razumnyy, U.T., & Zuhlov, A.V. (2009). About the problem of using maneuverable energy sources. URL: http://gea.nmu.org.ua/docs/2009/1/82_007-013.pdf (Last accessed: 30.07.2018) [in Ukrainian].

8. On Amendments to the Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine dated October 22, 2008 No. 541. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Order 16.02.2018 # 62. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0290-18/print1509719998271496> [in Ukrainian].

9. Cherniavsky, M.V., & Bulandra, O.F. (2014). Results and prospects of modernization of existing Powdered TPPs in Ukraine. *Coal thermal power engineering. Problems of rehabilitation and development: theses X intern. scientific practice. conf.* [in Ukrainian].

10. Levin, M.M., Babichev, L.A., & Gulya, O.M. (2013). Technical re-equipment of coal power units 150-300 MW. *Power engineering and electrification.* # 3, 61—75 [in Ukrainian].

11. The Ministry of Energy and the coal industry has raised the price for coal. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2435632-minenergo-pidnalo-cinu-na-vugilla.html> (Last accessed: 09.08.2018) [in Ukrainian].

12. Environmental tax rate (as of 01.01.2018). URL: <https://dtk.com.ua/show/0sid0178.html> (Last accessed: 31.07.2018) [in Ukrainian].

13. Ulanov, N.M., Ulanov, M.M., & Solomko, V.D. (2012). Use of low-potential heat of waters of various origin for heat supply in housing and communal services and other branches of economy of Ukraine. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm (Last accessed: 18.07.2018) [in Russian].

14. Guidelines for the application of heat pumps using secondary energy resources of non-traditional renewable energy sources. URL: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/482261/4> (Last accessed: 18.07.2018) [in Russian].

15. Wiesmann Manual for Heat Pump Design. URL: <http://www.viessmann.ua/> (Last accessed: 20.07.2018) [in Ukrainian].

16. Zhidovich, I.S. (2014). Application of heat pumps in heat supply and hot water supply systems of multi-apartment housing on the principles of energy saving. Minsk.

17. Heat pumps in modern industry and utilities. URL: [\[metodicheskoe-izdanie.html\]\(http://www.complexdoc.ru/ntdtext/482261/4\) \(Last accessed: 18.07.2018\) \[in Russian\].

18. Trushevsky, S.N. Thermal bores for heat pumps: the ecological aspect. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt> \(Last accessed: 23.07.2018\) \[in Russian\].

19. Trushevsky, S.N. Variability of the capacity of the heat exchangers of heat pump plants at negative ground temperatures. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt> \(Last accessed: 20.07.2018\) \[in Russian\].

20. Osadchy, G.B. Conditions for efficient use of heat pumps in Russia. URL: \[http://www.holodilshchik.ru/Usloviya_eff_isp_tep_l_nasosov_III_Osadchij.pdf\]\(http://www.holodilshchik.ru/Usloviya_eff_isp_tep_l_nasosov_III_Osadchij.pdf\) \(Last accessed: 20.07.2018\) \[in Russian\].](https://docplayer.ru/47616998-Teplo-vye-nasosy-v-sovremennoy-promyshlennosti-i-kommunalnoy-infrastrukture-informacionno-</p>
</div>
<div data-bbox=)

UDC 536.7

Determination of the expedient volume of using the technology of thermochemical recuperation for gas turbine plants of Ukrainian gas-pumping stations / O.A. Shraiber, V.B. Redkin // *The Problems of General Energy.* – 2018. – Issue 4(55). – P. 47—50.

We performed thermodynamic and technical-and-economic calculations of the scheme of thermochemical recuperation (based on natural gas reforming with combustion products) for 12 models of gas turbine plants of Ukrainian gas-pumping stations. It was established that, for most models, the pay-back period of investment to the TCR scheme does not exceed several months. We recommend to introduce TCR scheme at 40 gas turbine plants with a total power of 505 MW, and the cost of fuel that can be saved constitutes 420 mln. UAH per year.

Keywords: thermochemical recuperation, gas-turbine plant, heat transfer, technical-and-economical characteristics, pay-back period.

References

1. Shraiber, O.A. (2013). Use of thermal secondary energy resources by the method of thermochemical recuperation. A method for the calculation of a gas-turbine plant. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(34), 47—51 [in Ukrainian].

2. Shraiber, O.A. (2018). Determination of the economical efficiency of schemes of thermochemical recuperation for heat engines. *Prob-*

lemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy, 3(54), 48—53 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.048>.

3. Shraiber, O.A. (2013). Use of secondary energy resources by the method of thermochemical recuperation. Computation of fuel conversion. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 2(33), 47—51 [in Ukrainian].

4. Shraiber, O.A. (2015). Determination of the optimal conditions of implementing the process of recuperation for using the heat of exhaust gases of a gas-turbine plant. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 3(42), 36—49 [in Ukrainian, in English]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.03.036>.

5. Shraiber, O.A., & Antonets, I.V. (2017). A method for calculating the dynamics of the process of natural gas reforming. *Problemy Zahal'noi Enerhetyky — The Problems of General Energy*, 2(49), 65—74 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.065>.

6. Volkov, M.M., Mikheev, L.A., & Konev, K.A. (1975). *Spravochnik rabotnika hazovoi promyshlennosti*. M.: Nedra. 286 s.

UDC 644.1

Analysis of the principles of formation of local thermal energy markets in district heating systems / V.I. Deshko, A.I. Zamulko, D.S. Karpenko // *The Problems of General Energy*. – 2018. – Issue 4(55). – P. 51—58.

This paper describes trends in the development of district heating systems and specific features of the functioning of heat supply systems in Ukraine. Prerequisites for the creation of local thermal energy markets in district heating systems are determined. The comparative characteristic of thermal and electric energy as a commodity is performed.

The purpose of this work is to analyze the features and determine the principles of formation of local thermal energy markets by comparing with the experience of formation and functioning of the electricity market in Ukraine.

It is determined that electric energy has a completely different physical nature as compared with thermal energy. Unlike thermal energy, electric energy is a homogeneous commodity and is much less limited in the distant of transportation along main and distribution networks. But if we consider electric energy as a commodity as a whole, then thermal energy can obey the rules of electricity market and be determined by the corresponding analogies with regard for the differences that take place.

The conclusions assert that the markets of electric and thermal energy have a common basis in the form of essence of the energy market. Most of the principles of functioning of the electricity market can be transmitted to local thermal energy markets at its creation. Taking into account the common signs of electricity and thermal energy markets, one can speak about integration of the thermal energy market into the electricity market in the future after its creation, according to the tendencies of development of district heating systems. It is also possible to adopt the legislation of electricity market as a basis for the creation of local thermal energy markets.

Keywords: electricity market, thermal energy market, district heating, energy efficiency.

References

1. Karpenko, D.S., & Deshko, V.I. (2016). Construction of an effective model of the thermal energy market in the realities of Ukraine. *Power Engineering and Electrification*, 2 (390), 18—23 [in Ukrainian].

2. Deshko, V.I., & Karpenko, D.S. (2018). Tekhniko-ekonomichnyi analiz stvorennia rynku teplovoi enerhii v Ukraini. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, № 2, 26—37 [in Ukrainian].

3. Haoran Li, Natasa Nord. (2018). Transition to the 4th generation district heating - opportunities, bottlenecks, and challenges, *Energy Procedia 00 (2018) 000-000*.

4. Asset Khabdullin, Zauresh Khabdullin, Guldana Khabdullina, Dace Lauka, & Dagniy Blumberg. (2017). Demand response analysis methodology in District Heating System. *Energy Procedia 128 (2017) 539-543*.

5. Jonas Maurer, Christoph Elsner, Stefan Krebs, & Soren Hohmann, (2018). Combined Optimization of District Heating and Electric Power Networks. *Energy Procedia 149 (2018) 509-518*.

6. Deshko, V.I., & Karpenko, D.S. Technical and economic analysis of the creation of the thermal energy market in Ukraine. Materials of international practice «Current state and prospects of economic development, accounting and law», Part 2, 21—22.

7. Robert S. Pindic, & Daniel L. Rubinfeld. (2011). *Microeconomics*. 771 p.

8. About natural monopolies: Law of Ukraine from 20.04.2000 № 1682-III with the current edition from 11.06.2017. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1682-14> [in Ukrainian].

9. Deshko, V.I., & Karpenko, D.S. Imitation modeling and optimization of the thermal energy

market. *Materials of the VIII international scientific and practical conference «Integrated quality assurance of technological processes and systems», Volume 2*, 231—232 [in Ukrainian].

10. About alternative sources of energy: Law of Ukraine dated February 20, 2003 No. 555-IV with current editors from 11.06.2017. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> [in Ukrainian].

11. About heat supply: Law of Ukraine dated 02.06.2005 № 2633-IV with current editors from 09.06.2018. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2633-15> [in Ukrainian].

12. KTM 204 Ukraine 244-94. Norms and instructions on the standardization of fuel and heat energy costs for heating of residential and public buildings, as well as for household and household needs in Ukraine [in Ukrainian].

13. Methodology for calculating the amount of heat consumed for heating public places of multi-apartment buildings and determining the payment for their heating. Methodology approved on October 31, 2006 No. 359 by the Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1237-06> [in Ukrainian].

14. Rules for provision of services for centralized heating, supply of cold and hot water and drainage: Rules approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from July 21, 2005, No. 630 [in Ukrainian].

15. Rules on the use of thermal energy: Regulations approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from October 3, 2007, No. 1198 [in Ukrainian].

16. Strelkov, M.T. (2015). Static model of the system of the market of electric energy. *Power engineering: economics, technology, ecology. 2015, №3*, 117—123 [in Ukrainian].

17. Semenov, V.G. Assessment of the possibility of competition in heat supply systems. URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=316 [in Russian].

18. Rules of the partitioned electricity market: Rules approved by the NERCPC from March 14, 2018, No. 312 [in Ukrainian].

19. Commercial Code of Electric Energy: The Code was approved by the NERCPC from March 14, 2018, No. 311 [in Ukrainian].

20. About the Electricity Market: Law of Ukraine dated April 13, 2017, No. 2019-VIII with current editorship dated June 10, 2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> [in Ukrainian].

21. Rules of the market of electric energy : Approved by the resolution of NKREKP dated March 14, 2018, No. 307. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> [in Ukrainian].

22. Blinov, I.V. (2015). Theoretical principles of functioning of competitive electricity market. K. : Scientific Opinion. 250 p.