

УДК 622.324

**Модифікація структури моделі Гоша в міжгалузевому аналізі** / М.М. Кулик // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 6—21.

Діюча модель Гоша базується на використанні прогнозних даних доданої вартості. Прогнози валового внутрішнього продукту та доданої вартості давно і регулярно розробляються різними національними та міжнародними економічними та фінансовими структурами, включаючи державні. Методи та точність таких прогнозів є вищого рівня порівняно з прогнозами кінцевого споживання, на яких базується модель Леонтьєва. Тому з економетричної точки зору точність прогнозів випусків, зроблених за допомогою моделі Гоша, повинна бути щонайменше не гіршою, ніж та, що забезпечується класичною моделлю Леонтьєва. Модифікована модель Гоша формально відрізняється від його діючої моделі наявністю нової матриці. Однак ця відмінність є лише структурною особливістю, а в математичному плані зазначені моделі є тотожними.

Разом з тим модифікована модель Гоша є більш привабливою і перспективною порівняно з діючою через наступні чинники. У ній використовується одна матриця замість двох, які фігурують у діючій моделі. Модифікована модель має структуру (на відміну від діючої), аналогічну структурі класичної моделі Леонтьєва. Завдяки цьому модифікована модель є більш зрозумілою і зручною в користуванні. Але найбільш важливим є те, що використання нової матриці суттєво розширює можливості теоретичних досліджень у межах структур input-output.

Завдяки побудові нової матриці у модифікованій моделі Гоша були виявлені нові залежності між векторами кінцевого споживання та доданої вартості, які можуть бути ефективно використані при балансуванні системи матриць input-output. Встановлено також, що відповідні матриці класичної моделі Леонтьєва та модифікованої моделі Гоша попарно мають ідентичні діагональні елементи, що є корисним при різноманітних аналітичних дослідженнях.

*Ключові слова:* модифікована модель Гоша, input-output, модель Леонтьєва, додана вартість, кінцеве споживання.

УДК 004.942:620.9

**Особливості застосування вартісної форми моделі міжпродуктового балансу до визначення обсягових і цінових показників роз-**

**витку енергетичного сектора та інших галузей економіки країни** / М.І. Каплін, Т.Р. Білан, В.М. Макаров, М.О. Перов // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 22—29.

Деформація цінової системи через завищення цін на енергетичні ресурси, сировину і матеріали призвела до необґрунтованого здорожчання продукції в економіці країни, зниження конкурентоспроможності, зменшення попиту і, як наслідок, її випуску. Зазначені фактори зумовили зростання питомої ваги проміжного споживання у структурі випуску і є одними з головних причин низької рентабельності виробництва, кризи збуту та нарощення заборгованостей між вітчизняними підприємствами. У цьому контексті метою статті є дослідження можливості застосування макроекономічних показників розвитку економіки до вирішення задачі визначення обсягів випуску у натуральному виразі, а також рівноважних цін в умовах обмеженої інформації щодо прогнозів кінцевого споживання, розробка оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу, призначеної для аналізу змін обсягів і цін економічної системи лише за вартісними показниками її розвитку, зокрема структурою та обсягами валової доданої вартості.

З метою використання макроекономічних показників розвитку економіки при побудові перспективного паливно-енергетичного балансу за умов відсутності інформації щодо кінцевого споживання запропоновано систему умов оптимізаційної моделі, що використовує валову додану вартість галузей для формування обмежень на обсяги випуску виробників у фізичних одиницях виміру їх продуктів. Ці умови використовують представлення підсистем розподілу випусків і витрат моделі міжпродуктового балансу у вигляді білінійної форми за обсягами випусків у натуральному виразі і рівноважними цінами. На основі таких форм побудовано спосіб визначення випусків і цін для вирішення задач прогнозування і аналізу змін в економіці країни за даними макропоказників її розвитку, зокрема валовою доданою вартістю, в умовах відсутності інформації щодо кінцевого попиту на продукти.

Запропоновано структуру оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу, заснованої на системі балансових рівнянь розподілу витрат в галузях економіки у вартісній формі, що використовує показники валової доданої вартості для вирішення задач прогнозування випусків продуктів у натуральному вимірі їх обсягів за істотних змін структури валового внутрішнього продукту.

*Ключові слова:* паливно-енергетичний баланс, міжпродуктовий баланс, модель, оптимізація, прогнозування, валова додана вартість.

УДК 621.311.25: 621.311.001.57

**Моделювання сукупної роботи сонячної фотоелектричної електростанції та системи акумулювання електроенергії** / І.М. Буратинський, Т.П. Нечаєва // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 30—36.

Враховуючи залежність потужності генерації на фотоелектричних сонячних електростанціях від рівня інтенсивності сонячного випромінювання та хмарності, їх робота створює ряд проблем в енергосистемі. У статті описано проблеми роботи таких електростанцій негарантованої потужності при їх паралельній роботі у складі об'єднаної енергосистеми України.

Одним із заходів стабілізації роботи електростанцій негарантованої потужності є застосування систем акумулювання електричної енергії. У роботі описано умови електричного приєднання, яке забезпечує можливість сукупної роботи системи акумулювання електричної енергії та фотоелектричної сонячної електростанції.

У статті наведено розроблену математичну модель сукупної роботи фотоелектричної сонячної електростанції та системи акумулювання електричної енергії. Розглянуто добовий режим заряджання від СЕС та розряджання акумуляторів в енергосистему з метою збереження надлишку виробленої електроенергії на СЕС, яка раніше втрачалась при обмеженні на інверторах через перевантаження фотоелектричною потужністю.

Модель дозволяє визначити ключові параметри накопичувача – потужність та ємність, з урахуванням фізико-технічних особливостей роботи батарейного накопичувача щодо ефективності перетворення, кількості робочих циклів та глибини можливого розряджання в залежності від структури обладнання СЕС та інтенсивності сонячного випромінювання.

З використанням розробленої моделі визначено значення потужності, ємності заряджання та розряджання для літій-іонної системи акумулювання електричної енергії при її спільній роботі з СЕС потужністю 10 МВт за різних коефіцієнтів її перевантаження.

У статті наведено результати техніко-економічної оцінки сукупної роботи фотоелектричної сонячної електростанції та літій-іонної системи акумулювання електричної енергії. Результати показали зростання потужності та ємності накопичувача при збільшенні коефіцієнта перевантаження СЕС, що призводить до збільшення собівартості електроенергії при їх спільній роботі. Водночас зростають обсяги та якість відпущеної електроенергії.

*Ключові слова:* математична модель, сонячна фотоелектрична електростанція, система

акумулювання електричної енергії, собівартість електричної енергії, енергосистема.

УДК 620.9.332.1

**Триетапний метод прогнозування рівнів енергоспоживання в економіці з урахуванням регіональних потенціалів енергозбереження** / Н.Ю. Майстренко, О.С. Малярєнко, В.В. Горський // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 37—45.

Розвинуто двоетапний метод прогнозування рівнів енергоспоживання шляхом застосування його методичних підходів для трьох ієрархічних рівнів побудови економіки України: країна, регіони, види економічної діяльності в регіонах. Такий підхід дозволяє визначити попит на паливно-енергетичні ресурси на регіональних рівнях структурування економіки з урахуванням особливостей їх економічного розвитку. За регіональними програмами підвищення енергоефективності можливо більш точно оцінити потенціали енергозбереження та обсяги заміщення дефіцитних видів палива місцевими видами.

Триетапний метод ґрунтується на уточненому нормативному методі, що використовується на трьох ієрархічних рівнях з урахуванням оцінених потенціалів енергозбереження від структурних і технологічних зрушень в економіці. Отримані прогнози узгоджуються між собою методом Кулика двічі. Прогноз на рівні країни узгоджується із прогнозом сумарного регіонального енергоспоживання. По кожному регіону узгоджується прогноз регіонального енергоспоживання із прогнозом сумарного енергоспоживання на рівнях видів економічної діяльності в регіоні з урахуванням структурних і технологічних зрушень. Якщо узгодження рівнів споживання між видами економічної діяльності і регіоном внесе корективи у регіональне енергоспоживання, то узгодження рівня країни та регіонів виконується вдруге. Тобто прогнозування здійснюється на трьох рівнях з двома узгодженнями результатів прогнозування енергоспоживання – між першим і другим та другим і третім рівнями. При необхідності корегування прогнозів другого рівня, узгодження між прогнозами першого і другого рівнів виконується ще раз. Для узгодження прогнозних рішень використано векторний метод Кулика. Приведено методику обчислення прогнозів енергоспоживання на трьох ієрархічних рівнях з відповідним узгодженням цих прогнозів.

За приведеною методикою та оціненими обсягами потенціалів енергозбереження на регіональних рівнях й за більш вагомими видами економічної діяльності у регіонах виконано прогноз спожив-

вання теплової енергії на перспективу до 2040 р. з урахуванням обсягів технологічного енергозбереження в регіонах.

*Ключові слова:* метод, попит, регіон, споживання енергоресурсів, прогнозування, вид економічної діяльності, узгодження.

УДК 620.92

**Оцінка ефективності вироблення теплової енергії теплонасосними станціями на основі теплоти низькотемпературних підземних вод за методологією повних енергетичних витрат / В.Д. Білодід, В.В. Станиціна // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 46—52.**

Теплонасосна станція (ТНС) як джерело постачання теплової енергії системи централізованого теплопостачання розглядається як альтернатива опалювальним котельням на органічному паливі (переважно на природному газі). Одним із перспективних напрямів застосування потужних ТНС, який сьогодні активно досліджується, є використання їх як споживачів-регуляторів при регулюванні електричного навантаження в електроенергетичних системах. В статті як джерело низькопотенційної теплоти (ДНТ) розглянуто підземні (артезіанські) води, які залягають на невеликій глибині та мають стабільні параметри впродовж року. На території України існують регіони із достатніми запасами підземних вод, які можуть бути використані в якості ДНТ для ТНС.

Розрахунок енерговитрат на будівництво, експлуатацію та ліквідацію ТНС проведено на прикладі проекту ТНС встановленою тепловою потужністю 9 МВт у складі 3-х теплових насосів потужністю 1,9 МВт кожен та пікового газового котла потужністю в 3,2 МВт, з врахуванням типового графіку теплових навантажень для умов м. Києва. Ефективність такої ТНС визначалася за методологією оцінки повних енергетичних витрат з порівнянням отриманих показників з аналогічними показниками газової котельні такої ж потужності. Визначено енерговитрати на створення всіх елементів ТНС та її будівництво: теплового насоса та іншого обладнання, будівлі станції, буріння та облаштування свердловин, трубопроводів, пікового газового котла. Розраховано енерговитрати на створення і експлуатацію автономної газової котельні такої ж потужності. Оцінено зменшення енерговитрат на створення ТНС за рахунок використання поліетилен-пропіленових труб замість сталевих.

Порівняння енерговитрат показує, що створення і експлуатація ТНС на артезіанських водах з піко-

вою котельнею протягом першого ж року експлуатації компенсує енерговитрати на її створення, а в подальшому забезпечується їх економія. Експлуатація такої ТНС з використанням артезіанських вод забезпечить майже чотирикратну економію енергії у порівнянні з автономною котельнею.

*Ключові слова:* енерговитрати, порівняльний аналіз, теплонасосні системи, артезіанські підземні води, автономна котельня, теплопостачання.

УДК 621.311

**Доцільність застосування методу термохімічної регенерації при реконструкції газової ТЕЦ / І.В. Антоненко // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – Вип. 3(62). – С. 53—57.**

Статтю присвячено пошуку шляхів покращення техніко-економічних та екологічних характеристик існуючої газової ТЕЦ. Один із таких шляхів – застосування технології термохімічної регенерації (ТХР). Термохімічна регенерація – це технологія утилізації тепла відпрацьованих газів, що полягає в конверсії палива за рахунок цього тепла, внаслідок чого утворюється нове паливо з істотно більш високою теплотворною здатністю. Крім того, це паливо містить значну кількість водню, горіння якого супроводжується меншими викидами  $\text{NO}_x$  порівняно, наприклад, з метаном. Таким чином, ТХР дозволяє одночасно виконати і екологічні завдання (принаймні частково). При використанні цієї технології виникає проблема пошуку джерела теплоти для реалізації процесу конверсії. Показано, що заміна промпароперегрівача на термохімічний реактор знижує ККД установки в цілому. Тому проаналізовано варіант газотурбінної надбудови на ТЕЦ. Розглянуто дві схеми реалізації ТХР з парогазовою установкою (ПГУ): схему із використанням надлишку повітря для зниження температури робочого тіла перед газовою турбіною ( $\alpha > 1$ ); схему з баластом у вигляді продуктів згоряння. Проведено розрахунки, які підтверджують, що присутність кисню у реагенті конверсії істотно знижує її ступінь, що робить такі схеми неідеальними, а використання продуктів згоряння як баласту для зниження температури робочого тіла перед турбіною дає приріст ККД на рівні 3,6% (відн.) порівняно зі звичайною ПГУ. Встановлено, що впровадження схеми з баластом у вигляді продуктів згоряння дозволить економити 2790  $\text{nm}^3/\text{год}$  природного газу.

*Ключові слова:* тепла електроенергетика, термохімічна регенерація, парогазова установка.

UDC 622.324

**Modification of the Ghosh model structure in inter-sectoral analysis** / M.M. Kulyk // *The Problems of General Energy*. – 2020. – Issue 3 (62). – P. 6—21.

The current Ghosh model is based on the use of value-added forecast data. The forecasts of gross domestic product and value added have long and regularly been developed by different national and international economic and financial structures, including governmental ones. The level of methods and accuracy of such forecasts is quite high as compared with the final demand forecasts on which the Leontief model is based. Therefore, from the econometric point of view, the accuracy of predictions of output made by using the Ghosh model should be at least not worse than that provided by the classical Leontief model.

The modified Ghosh model formally differs from its current model by the presence of a new matrix. However, this difference is only a structural feature, and in mathematical terms these models are identical.

At the same time, the modified Ghosh model is more attractive and promising than the current one due to the following factors. It uses one matrix instead of two matrices that appear in the current model. The modified model has a structure (unlike the current one) similar to the structure of the classical Leontief model. Due to this, the modified model is more understandable and easy to use. However, the most important feature lies in the fact that the use of a new matrix significantly expands the possibilities of theoretical research within the input-output structures.

Due to constructing a new matrix in the modified Ghosh model, new relations between the vectors of final demand and value added were discovered, which can be efficiently used in balancing the system of input-output matrices. It was also established that the corresponding matrices of the classical Leontief model and the modified Ghosh model have identical diagonal elements in pairs, and this is useful in various analytical studies.

*Key words:* modified Ghosh model, input-output, Leontief model, value added, final demand.

*References*

1. Leontief, W. (1953). *Studies in the Structure of the American Economy: Theoretical and Empirical Explorations in Input-Output Analysis*. Oxford. ISBN-10: 0195006186
2. Ghosh, A. (1958). Input-Output Approach in an Allocation System. *Economica*. Vol. 25, 58-64. <https://www.jstor.org/stable/2550694>

3. De March M. et al. (2008). Eurostat Manual of Supple, Use and Input-Output Tables. *Eurostat, European Commission*. ISSN 1977-0375.
4. Oosterhaven, J. (2012). Adding supply-driven consumption makes the Ghosh model even more implausible. *Econ. Sys. Res.*, Vol. 24(1), 101-111. <https://doi.org/10.1080/09535314.2011.635137>
5. De Mesnard, L. (2009). Is the Ghosh model interesting. *J. Reg. Sci.*, Vol. 49, 361-372. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2008.00593.x>
6. Dietzenbacher, E. (1997). In vindication of the Ghosh model: a reinterpretation as a price model. *J. Reg. Sci.*, Vol. 37, 629-651. <https://doi.org/10.1111/0022-4146.00073>
7. Davar, E. (2005). Input-Output System Models: Leontief versus Ghosh. *15<sup>th</sup> International Input-output Conference Beijing, China*. [https://www.iioa.org/conferences/15th/pdf/ezra\\_davar.pdf](https://www.iioa.org/conferences/15th/pdf/ezra_davar.pdf)
8. Miller, R.E., & Blair, P.D. (2009). *Input-Output Analysis, Foundations and Extensions*. Second Edition. *Cambridge University Press*. <https://www.cambridge.org/9780521517133>

UDC 004.942:620.9

**Specific features of the application of cost form of the model of interproduct balance for determining the volume and price indicators of the development of energy sector and other branches of economy of the country** / M.I. Kaplin, T.R. Bilan, V.M. Makarov, M.O. Perov // *The Problems of General Energy*. – 2020. – Issue 3(62). – P. 22—29.

The deformation of price system due to the inflated prices for energy resources, raw materials and supplies has led to an unreasonable rise of prices for products, a decrease in the competitiveness of country's economy, a reduction of the demand for products and, consequently, their output. These factors have led to an increase in the share of intermediate consumption in the structure of output and are one of the main reasons for low profitability, crisis of sales and increase in debt between domestic enterprises. In this context, the aim of this article is to study the possibility of applying macroeconomic indicators of the development of economy to solve the problem of determining output in kind, as well as equilibrium prices under conditions of limited information on the forecasts of final consumption, development of an optimization model of interproduct balance, intended for the analysis of change in the volumes and prices of economic system only in terms of cost indicators of its development, in particular, the structure and volumes of gross value added.

In order to use the macroeconomic indicators of economy development at constructing a forecast-

ing fuel and energy balance in the absence of information on final consumption, we proposed a system of conditions of optimization model, which uses the gross value added of branches to form restrictions on the volumes of output in physical units of their products. These conditions use the representation of subsystems of the distribution of outputs and inputs of the model of interproduct balance as a bilinear form in terms of the volumes of output in kind and equilibrium prices. Based on such forms, we constructed a method of determining outputs and prices to solve problems of forecasting and analyzing changes in country's economy according to macroeconomic indicators of its development, in particular, gross value added, in the absence of information on final demand for products.

We proposed the structure of optimization model of interproduct balance based on the system of balance equations of the distribution of expenses in branches of economy in the cost form, which uses the indicators of gross value added for the solution of problems of forecasting the output of products in natural form and their volumes at substantial changes in the structure of gross value added.

*Key words:* fuel and energy balance, interproduct balance, model, optimization, forecasting, gross value added.

### References

1. Shvets, S.M. (2013). Korotkostrokovye prohozuvannia valovoi dodanoi vartosti: monohrafiia. K.: DU "Instytut ekonomiky ta prohozuvannia NAN Ukrainy". 136 p. [in Ukrainian].
2. Kulyk, M.M. (2016). Revision of the possibilities of the models of equilibrium prices and outputs in the theory of intersectoral balance. *The Problems of General Energy*, 4(47), 5-22 [in Russian] <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.005>.
3. Kuboniva, M. et al. (1991). Mathematical economics on a personal computer (translation from Japanese). M.: Finansy i statistika. P. 179-188 [in Russian].
4. Carter, A. (1974). Structural change in the American economy. M.: Statistika. 150-191 [in Russian].
5. Leontev, V., Cheneri, Hollis V., Klark, Paul H. et al. (1958). Issledovaniia struktury amerikanskoj ekonomiki. Teoreticheskii i empiricheskii analiz po sheme zatraty-vypusk. M.: Hoststatizdat. 640 p. [in Russian].
6. Leontev, V.V. (1997). Mezhotraslevaia ekonomika. M.: Ekonomika. 479 p. [in Russian].
7. Kulyk, M.M. (2018). New models of equilibrium prices in the theory of intersectoral balance. *The Problems of General Energy*, 1(52), 12-23 [in Russian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.012>.
8. Kantorovich, L.V. (1939). Matematicheskie metody orhanizatsii i planirovaniia proizvodstva. L.: izdatelstvo LHU (v sbornike "Primenenie matematiki v ekonomicheskikh issledovaniakh"). M.: Sotsekhis, 1959. P. 235-275 [in Russian].
9. Dobrovolskyi, V.K., Stohnii, O.V., Kostiuk, V.O., & Kaplin, M.I. (2013). Ekonomiko-matematychni modeliuvannia enerhetychnykh system. K.: Naukova dumka. 252 p. [in Ukrainian].
10. Kostiuk, V.O., Kaplin, M.I., Zagurskyi, V.G., & Sydorenko, V.P. (2010). Structural features and evaluation bases of the economic and mathematical model of two-grid energy product transportation and distribution system of water supply and sewerage utility. *The Problems of General Energy*, 1(21), 54-58 [in Ukrainian].
11. Kaplin, M.I. (2015). Optyimizatsiia system palyvozabezpechennia na osnovi merezhnoho podannia modyfikovanoi modeli vyrobnychoho typu: avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk: spetsialnist 05.14.01 "Enerhetychni systemy ta komplekсы". K. 20 p. [in Ukrainian].
12. Stohnii, O.V., & Kaplin, M.I. (2011). Strukturni osoblyvosti balansovo-optyimizatsiinoi modeli palyvozabezpechennia krainy. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. Spetsialnyi vypusk Part 1*. 138-145 [in Ukrainian].

UDC 621.311.25: 621.311.001.57

**Modeling of the combined operation of a solar photovoltaic power plant and a system of electric energy storage** / I.M. Buratynskyi, T.P. Nechaieva // *The Problems of General Energy*. – 2020. – Issue 3(62). – P. 30—36.

In view of the dependence of power generation at photovoltaic solar power plants on the level of intensity of solar radiation and cloud cover, their operation creates a number of problems in the power system. This article describes the problems of operation of such power plants of non-guaranteed capacity during their parallel operation as a part of the Unified Energy System of Ukraine.

One of the measures of stabilizing the operation of power plants of non-guaranteed capacity is the use of systems of electric energy storage. The article describes the conditions of electrical connection, which ensure the possibility of combined operation of a system of electric energy storage and a photovoltaic solar power plant.

The article presents the developed mathematical model of the combined operation of a photovoltaic

solar power plant (PSPP) and a system of electric energy storage. We consider the daily mode of recharging from a PSPP and discharging batteries into the power system in order to preserve the excess of generated electricity at the PSPP, which earlier was lost due to the restriction on inverters caused by the overload with photovoltaic power. The model enables one to identify the key parameters of batteries – power and capacity, taking into account the physical and technical features of the operation of battery storage as to the conversion efficiency, the number of working cycles and the depth of possible discharge depending on the structure of PSPP equipment and solar radiation intensity.

Using the developed model, we determined the values of power, charging and discharging capacities of a lithium-ion system for storing electrical energy, when it works together with a 10 MW<sub>AC</sub> photovoltaic solar power plant at different overload factors.

The article presents some results of technical and economic assessment of the combined operation of a PSPP and a lithium-ion system for storing electrical energy. The results showed an increase in the power and capacity of a storage device with increase in the overload factor of PSPP, which leads to the growth of cost of electrical energy at their combined work. At the same time, the amounts and quality of electricity supplied increase.

*Key words:* mathematical model, photovoltaic solar power plant, system of electric energy storage, cost of electricity, power system.

### References

1. Pro zatverdzhennia Pravyl vzaiemovidnosyn mizh Derzhavnym pidpriemstvom “Natsionalna enerhetychna kompaniia “Ukrenerho” ta subiektamy (obiektamy) elektroenerhetyky v umovakh paralelnoi roboty v skladi Obiednanoi enerhetychnoi systemy Ukrainy: Nakaz Ministerstva palyva ta enerhetyky Ukrainy vid 02.06.2008 № 303. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0673-08#Text> (Last accessed: 08.08.2020) [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Kodeksu systemy peredachi: Postanova Natsionalnoi komisii, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh vid 14.03.2018 № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text> (Last accessed: 08.08.2020) [in Ukrainian].
3. NPC “Ukrenergo”. (2019), Zvit z otsinky vidpovidnosti (dostatnosti) heneruiuchykh potuzhnosti. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2020/03/Zvit-z-otsinky-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnosti-2019.pdf> (Last accessed: 15.08.2020) [in Ukrainian].
4. NPC “Ukrenergo”. (2020). Ukrenerho zaklykaie nkrekp zapobihyty neobgruntovanyim vidmovam vde vykonuvaty dyspetcherski komandy z operatsiinoi bezpeky. URL: <https://ua.energy/media/pres-tsentr/pres-relizy/ukrenergo-zaklykaye-nkrekp-zapobigty-neobgruntovanyim-vidmovam-vde-vykonuvaty-dyspetcherski-komandy-z-operatyvnoyi-bezpeky/> (Last accessed: 10.07.2020) [in Ukrainian].
5. NPC “Ukrenergo”. (2019). Vstanovlena potuzhnist vidnovliuvalnykh dzherel enerhii za 2015–2020 roky. URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/> (Last accessed: 10.07.2020) [in Ukrainian].
6. Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakoniv Ukrainy shchodo udoskonalennia umov pidtrymky vyrobnytstva elektrychnoi enerhii z alternatyvnykh dzherel enerhii: Zakon Ukrainy 810-IX vid 21.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20#Text> (Last accessed: 08.08.2020) [in Ukrainian].
7. Müller, N., Kouro, S., Zanchetta, P., Wheeler, P., Bittner, G., & Girardi, F. (2019). Energy Storage Sizing Strategy for Grid-Tied PV Plants under Power Clipping Limitations. *Energies*. Vol. 12(9), 1812. <https://doi.org/10.3390/en12091812>
8. Comello, S., & Reichelstein, S. (2019). The emergence of cost effective battery. *Nature Communications*. Vol. 10, 2038. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09988-z>
9. Lai, C.S., & McCulloch, M. (2016). Levelized cost of electricity for solar photovoltaic and electrical energy storage. *Applied Energy*. Vol. 190, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.153>
10. Buratynskyi, I.M. (2019). Analysis of the use of electric energy storage systems in power systems with a large volume of renewable energy sources. *The Problems of General Energy*, 4(59), 63-70 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.063>
11. Buratynskyi, I.M., Nechaieva, T.P., & Shulzhenko, S.V. (2020). Optimization of the equipment structure of a photovoltaic solar power plant. *The Problems of General Energy*, 2(61), 17-22 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2020.02.017>
12. Solar radiation data (SoDa). HelioClim-3 Archives service: web-service. URL: <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-3-archives-for-free> (Last accessed: 18.08.2020)
13. Nechaieva, T.P. (2019). Assessment of the joint work of battery energy storage systems with power plants on renewable energy sources. *The Problems of General Energy*, 3(58), 11-16 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.011>
14. Kredyty na prydbannia soniachnykh elektrostantsii i teplovykh nasosiv. Prohrama “Eko enerhii Sim-

ple". URL: [https://www.ukrgasbank.com/private/credits/eco\\_energy/](https://www.ukrgasbank.com/private/credits/eco_energy/) (Last accessed: 11.08.2020) [in Ukrainian].

15. Lazard. (2019), Lazard's levelized cost of storage analysis – version 5.0. URL: <https://www.lazard.com/media/451418/lazards-levelized-cost-of-storage-version-60.pdf> (Last accessed: 19.08.2020).
16. U.S. Energy Information Administration. (2020). Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies. Project No. 13651.005. URL: [https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital\\_cost\\_AEO2020.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital_cost_AEO2020.pdf)
17. Bloomberg NEF. (2019). A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. URL: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> (Last accessed: 09.08.2020).

UDC 620.9.332.1

**Three-stage method of forecasting energy consumption levels in the economy with regard for regional energy saving potentials //** N.Yu. Maistrenko, O.Ye. Maliarenko, V.V. Horoskyi // *The Problems of General Energy*. – 2020. – Issue 3(62). – P. 37—45.

We perfected the known two-stage method of forecasting energy consumption levels by applying its methodical approaches for three hierarchical levels of the structure of Ukrainian economy: country, regions, types of economic activity in regions. This approach makes it possible to determine the demand for fuel and energy resources at the regional levels of structuring the economy with regard for the specific features of their economic development. According to regional energy efficiency programs, it is possible to estimate more accurately the energy saving potentials and volumes of the replacement of scarce fuels with their cheap local types.

The three-stage method is based on the refined normative method that is used at three hierarchical levels with regard for the estimated energy saving potentials from structural and technological shifts in the economy. The forecasts obtained agree with each other by Kulyk's method twice. The country-level forecast is consistent with the forecast for total regional energy consumption. For each region, the forecast of regional energy consumption is consistent with the forecast of total energy consumption at the levels of types of economic activity in the region with regard for structural and technological shifts. If the coordination of consumption levels between the types of economic activity and the region will introduce corrections to the

regional energy consumption, then the coordination of levels of the country and regions is carried out at the second time. In other words, forecasting is carried out at three levels with two matches of the results of forecasting energy consumption — between the first and second as well as second and third levels. If it is necessary to correct the forecasts of second level, reconciliation between the forecasts of first and second levels is performed again. Kulyk's vector method is used to agree on predictive decisions. We also present a method for calculating the forecasts of energy consumption at three hierarchical levels with the corresponding agreement of these forecasts.

Based on the described methodology and estimated volumes of energy saving potentials at regional levels and for more significant types of economic activity in the regions, we performed a forecast of heat energy consumption for the period to 2040, taking into account the volumes of technological energy saving in the regions.

*Key words:* method, demand, region, energy consumption, forecasting, type of economic activity, adjustment.

### References

1. Kulyk M.M. (2014). Methods for adjusting predictive decisions. *The Problems of General Energy*, 2(37), 5-12. URL: [http://pge.org.ua/index.php?option=com\\_docman&task=art\\_list&mid=20142&gid=37&lang=ua](http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_list&mid=20142&gid=37&lang=ua) [in Ukrainian]
2. Kulyk, M.M., & Sas, D.P. (2014). Deterministic-stochastic modeling electricity production in integrated power systems for a LONG-TERM perspective. *Technical Electrodynamics*, 5, 32-34. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED\\_2014\\_5\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2014_5_12) [in Ukrainian].
3. Kasyanova, N.V., & Levshova, Yu.A. (2014). Complex evaluation of model energy in region. *Scientific Herald of the DSEA*, 2 (14E), 164-171. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science\\_public/science\\_vesnik/%E2%84%962\(14%D0%95\)\\_2014/nomer\\_2\(14E\)\\_2014.html](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(14%D0%95)_2014/nomer_2(14E)_2014.html) [in Ukrainian].
4. Bratkovska, K.O. (2015). About the energy model of sustainable heat consumption. *Efektivna ekonomika*, 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4592> [in Ukrainian].
5. Rozen, V.P., & Demchuk, Ya.M. (2016). Comparative analysis of methods for forecasting electricity consumption of industrial systems. *Bulletin of the Kryvyi Rih national university*, Vol. 42, 41-47. URL: <http://visnykknpu.com.ua/wp-content/uploads/file/42/11.pdf> (Last accessed: 10.01.2019) [in Ukrainian].
6. Idowu, S., Saguna, S., Ahlund, Ch., & Schelen, O. (2014). Forecasting Heat Load for Smart

- District Heating Systems: A Machine Learning Approach. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/205368718.pdf>. <https://doi.org/10.1109/Smart-GridComm.2014.7007705>
7. Li Chao. (2016). Models of forecasting of electricity consumption in the PRC for the long-term perspective. *Bulletin of the Odessa national university. Economics. Vol. 21, No. 5(47)*, 26-32. URL: [http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016\\_21\\_5/06.pdf](http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_5/06.pdf) (Last accessed: 10.01.2019) [in Ukrainian].
  8. Anshul Bansal, Susheel Kaushik Rompikuntla, Jagannadh Gopinadhan, Amanpreet Kaur, Zahoor Ahmed Kazi. (2015). Energy Consumption Forecasting for Smart Meters. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1512/1512.05979.pdf>
  9. Fazil Kaytez, M. Cengiz Taplamacioglu, Ertuprul Zam, Firat Hardalac. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 67*, 431-438. URL: [https://www.researchgate.net/publication/270006584\\_Forecasting\\_electricity\\_consumption\\_A\\_comparison\\_of\\_regression\\_analysis\\_neural\\_networks\\_and\\_least\\_squares\\_support\\_vector\\_machines](https://www.researchgate.net/publication/270006584_Forecasting_electricity_consumption_A_comparison_of_regression_analysis_neural_networks_and_least_squares_support_vector_machines). <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.036>
  10. Idowu, S., Saguna, S., Ehlund, Ch., & Schelĭn, O. (2016). Applied machine learning: Forecasting heat load in district heating system. *Energy and Buildings, Vol. 133*, 478-488. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816310155>. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.068>
  11. Mohammad Azhar Mat Daut, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin. (2017). Building electrical energy consumption forecasting analysis using conventional and artificial intelligence methods: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 70*, 1108-1118. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116310619>. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.015>
  12. Kai Li, & Tao Zhang. (2018). Forecasting Electricity Consumption Using an Improved Grey Prediction Model. *Information, 9(8)*, 204. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/9/8/204/pdf>. <https://doi.org/10.3390/info9080204>
  13. Saloux, E., & Candanedo, J.A. (2018). Forecasting District Heating Demand using Machine Learning Algorithms. *Energy Procedia, Vol. 149*, 59-68. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021830465X>. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.169>
  14. Tianhe Sun, Tiejian Zhang, Yun Teng, Zhe Chen & Jiakun Fang. (2019). Monthly Electricity Consumption Forecasting Method Based on X12 and STL Decomposition Model in an Integrated Energy System. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/9012543>. <https://doi.org/10.1155/2019/9012543>
  15. Country Energy Demand Forecast. URL: <https://www.enerdata.net/research/country-energy-demand-forecast.html> (Last accessed: 11.09.2020).
  16. Energy demand by region. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/demand-by-region.html> (Last accessed: 11.08.2020).
  17. 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. *The Problems of General Energy, 1(48)*, 5-15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>
  18. Kulyk, M.M., Maistrenko, N.Yu., & Malyarenko, O.Ye. (2015). Two-Stage forecasting method of the future energy demand. *Energy Technologies and Resource Saving, 5-6*, 25-33. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131184> [in Ukrainian].
  19. Kuts, G.O., Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Stanytsina, V.V. (2018). Determination of the forecasted demand for thermal energy by a complex method taking into account the potential of energy saving. *The Problems of General Energy, 3(54)*, 10-15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.010>
  20. Malyarenko, O., Maistrenko, N., Stanytsina, V., & Bogoslavskaya, O. (2019). Improved complex method of forecasting energy consumption on a long-term perspective. *Power engineering: economics, technique, ecology, 3*, 53-61. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/196383/196629> [in Ukrainian].
  21. Administrative and territorial structure of regions. URL: <https://static.rada.gov.ua/zakon/new/NEWS-AIT/ADM/zmist.html> (Last accessed: 11.08.2020) [in Ukrainian].
  22. 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. *The Problems of General Energy, 4(47)*, 58-67 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.058>
  23. Maistrenko, N.Yu. (2017). Improved four-level methodology for forecasting the levels of energy consumption with regard for structural changes in the economy. *The Problems of General Energy, 3(50)*, 15-22 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.015>
  24. Maistrenko, N.Yu., & Bogoslavskaya, O.Yu. (2019). Specific features of forecasting the levels of energy consumption in Ukraine at the application of different predicted structures of economy. *The Problems*



- of *General Energy*, 2(57), 21-26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.021>
25. Energy Strategy of Ukraine until 2030 (2006 edition). Electronic resource. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80#Text>. (Last accessed: 11.08.2020) [in Ukrainian].
  26. Energy Strategy of Ukraine until 2030 (2013 edition). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text> (Last accessed: 11.08.2020) [in Ukrainian].
  27. Energy Strategy of Ukraine until 2035 «Security, energy efficiency, competitiveness». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (Last accessed: 11.08.2020) [in Ukrainian].

UDC 620.92

**Estimation of the efficiency of thermal energy production by heat pump stations on the basis of heat of low-temperature groundwater according to the methodology of full energy costs / V.D. Bilodid, V.V. Stanytsina // The Problems of General Energy. – 2020 – Issue 3(62). – P. 46—52.**

Heat pump station (HPS) as a source of heat supply for district heating system is considered as an alternative to heating boilers on fossil fuels (mainly on natural gas). One of the promising areas of application of powerful HPS, which currently is being studied actively, is their use as consumers-regulators in the control of electrical load in power systems. In this article, we consider groundwater (deep-well water), which lies at a shallow depth and has stable parameters throughout a year, as a source of low-potential heat. On the territory of Ukraine, there are regions with sufficient groundwater reserves that can be used as a source of low-potential heat for HPS.

We carried out calculation of the energy consumption for construction, operation and liquidation of HPS on the example of HPS project with an installed heat capacity of 9 MW, consisting of 3 heat pumps with a capacity of 1.9 MW each and a peak gas boiler with a capacity of 3.2 MW, with regard for a typical schedule of heat loads under conditions of Kyiv.

The efficiency of such HPS was determined by the method of estimating the total energy costs by comparing the obtained characteristics with similar characteristics of a gas boiler house of the same capacity.

We determined energy consumption for the creation of all elements of HPS and its construction: heat pump and other equipment, station building,

drilling and arrangement of wells, pipelines, and peak gas boiler. Energy consumption for the creation and operation of an autonomous gas boiler house of the same capacity was calculated. The reduction of energy consumption for the creation of HPS due to the use of polyethylene-propylene pipes instead of steel is determined.

The comparison of energy consumption shows that the creation and operation of HPS on deep-well water with a peak boiler house during the first year of operation compensates the energy consumption for its creation and ensures further energy saving. Operation of such HPS with the use of deep-well water will provide an almost fourfold energy saving as compared with an autonomous boiler house.

*Key words:* energy consumption, comparative analysis, heat pump systems, groundwater, deep-well water, autonomous boiler house, heat supply.

### References

1. Bilodid, V.D. (2017). Total energy costs for electricity produced by power objects. *The Problems of General Energy*, 3(50), 23-32 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.023>
2. Zogg, M. (2008). History of Heat Pumps. Swiss Contributions and International Milestones. Oberburg, Switzerland: Process and Energy Engineering (CH-3414), 114 p.
3. Byndeman, N.N., & Yazvyn, L.S. (1970). Otsenka eksploatatsyonnykh zapasov podzemnykh vod. M.: Nedra. 216 p. [in Russian].
4. Kulyk, M.M. (2014). Comparative Analysis of Technical and Economic Features of Kaniv PPS and a Suite of Load-Controlled Consumers for Following Electrical Load Curves. *The Problems of General Energy*, 4(39), 5-10 [in Ukrainian].
5. Kulyk, M.M. (2015). Techno-Economic Aspects of Using Consumers-Controllers in Automatic Frequency and Power Control Systems. *The Problems of General Energy*, 1(40), 20-28 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.01.020>
6. Bilodid, V.D., & Lenchevskiy, Ye.A. (2017). Modeling of the interaction of a complex of consumers-regulators based on electric heat-generators in the heat supply systems in the processes of equalizing the load curves of electrical power systems. *The Problems of General Energy*, 4(51), 33-39 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.033>
7. Doslidzhennia terytorialnoi struktury ta dotsilnykh obsiahiv budivnytstva teplonasosnykh stantsii na nyzkotemperaturnykh pidzemnykh ta termalnykh vodakh: zvit pro NDR (zakliuchn.) : «TERMAL» / Institute of general energy NAS of Ukraine; ker. Bilodid V.D. K., 2012. 187 p. – DR № 0110U002010. – DO № 0213U003249 [in Ukrainian].

8. Stalynskiy, D.V., Kanevskiy, A.L. & Lytvynenko, V.H. (2010). Enerhoemkost proyzvodstva produktsyy na metallurhycheskykh predpriyatiakh Ukrainy. *Stal*, 4, 126-129 [in Russian].
9. Zvit pro vykorystannia palyva, teploenerhii ta elektroenerhii za 2010 rik. Forma derzhavnoi statystychnoi zvitnosti Ukrainy 11 MTP [in Ukrainian].
10. 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 construction. *The Problems of General Energy*, 2(53), 36-44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.036>.
11. Shesterov, V.P. (2010). Sooruzhenye, ekspluatatsiya y remont vodozabornykh skvazhyn: uchebnoe posobye. Tomsk: Yzd-vo Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta, 208 p. [in Russian].
12. Ustroistvo artezyanskoj skvazhyny. URL: <http://www.skvajina.com/artezian/ustroystvo.html> (Last accessed: 28.07.2020) [in Russian].
13. Skvazhynn bolshoho dyametra. Sait kompanii OOO «Heos». URL: <http://geos2005.ru/blog/skvazhiny-bolshogo-dyametra.html> (Last accessed: 11.09.2020) [in Russian].
14. Kratkyi spravochnyk po proektyrovaniyu y burenyiu skvazhyn na vodu. (1983). Retsenzent d-r tekhn. nauk A.S. Belytskyi (Ynstytut byofyzyky Mynzdrava SSSR). 2-e yzd. M.: Nedra, 77 p. [in Russian].
15. HOST R 51750–2001. (2001). Enerhosberezhenye. Metodyka opredeleniya enerhoemkosty pry proyzvodstve produktsyy y okazannyi usluh v tekhnolohycheskykh enerhetycheskykh systemakh. Obshchye polozheniya [in Russian].

UDC 621.311

**Expediency of using the method of thermochemical regeneration at the reconstruction of a gas thermal power plant** / I.V. Antonets // *The Problems of General Energy*. – 2020. – Issue 3(62). – P. 53–57.

The article is devoted to finding ways for the improvement of technical, economic and environmental characteristics of an existing gas thermal power plant (TPP). One of such ways is the use of thermochemical regeneration (TCR) technology.

Thermochemical regeneration is the technology of utilization of the waste-gas heat, which lies in the conversion of fuel due to this heat, as a result of which a new fuel with a significantly higher calorific value is formed. In addition, this fuel contains a significant amount of hydrogen, the combustion of which is accompanied by lower NO<sub>x</sub> emissions as compared with, for example, natural gas. Thus, TCR enables one to solve simultaneously environmental problems (at least in part). When using this technology, there is a problem of finding a heat source to implement the conversion process. It is shown that the replacement of intermediate steam superheater by thermochemical reactor reduces the efficiency of power plant as a whole. Therefore, we analyze the variant of gas-turbine superstructure over the TPP. Two schemes of the realization of TCR with steam-gas power plant (SGP) are considered: a scheme with the use of air excess for decreasing the temperature of working body before the gas turbine ( $\alpha > 1$ ) and a scheme with ballast in the form of combustion products. Calculations show that the presence of oxygen in the reagent of conversion significantly reduces its degree, which makes such schemes inefficient, and the use of combustion products as ballast to reduce the temperature of working fluid before the gas turbine gives an increase in efficiency of 3.6% (rel.) as compared with conventional SGP. It is established that the introduction of scheme with ballast in the form of combustion products will save 2790 nm<sup>3</sup> / h of natural gas.

*Key words:* thermal power industry, thermochemical regeneration, steam-gas power plant.

*References*

1. Nosach, V.G. (1989). *Energyya toplywa*. K.: Nauk. dumka, 148 p. [in Russian].
2. White, W.B., Johnson, S.M., & Dantzig, G.B. (1958). Chemical equilibrium in complex mixture. *J. Chem. Phys.*, Vol. 28, No. 5, 751-755.
3. Nosach, V.G., & Shraiber, O.A. (2009). Powyshenyie KPD parogazovykh ystanowok za schot konwersyy pryrodnogo gaza w produktyach sgoraniya. *Prom. teplotekhnika*. 2009. T. 31, № 5. P. 29-33 [in Russian].