

SYSTEMIC STUDIES AND COMPLEX PROBLEMS OF THE ENERGY SECTOR

UDK 620.9

O.Ye. Malyarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
N.Yu. Maystrenko, Institute of General Energy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
172, Antonovycha Street, Kyiv, 03680, Ukraine

FORECASTING FUEL AND ENERGY CONSUMPTION LEVELS TAKING INTO ACCOUNT ENERGY SAVING POTENTIAL IN THE CONTEXT OF STRUCTURAL CHANGES IN THE ECONOMY

A methodological approach and a mathematical model are presented to forecast the final consumption of fuel and energy resources taking into account the energy saving potential provided by the changes in the structure of economic activities, and the specifics of implementing energy saving measures in Ukraine's production and non-production sectors. Calculation-based forecasts are given with regard for the final consumption of fuel and energy resources and the energy saving potential resulting from structural changes by the consolidated types of economic activity.

Key words: final consumption of fuel and energy resources, energy saving potential, economic structure.

Forecasting energy consumption has been the focus of numerous scientific efforts undertaken, inter alia, by the Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine [1–3]. Investigations of the influence of structural economic changes on energy consumption within sectoral structure of the economy were initiated in paper [4]. The feature of these investigations is connected with the fact that the energy consumption forecasting model takes into account the energy saving potential (ESP) provided by structural changes in the economy where its structure is formed by the kinds of economic activities (KEAs) in accordance with KVED-2010 classifier. It also makes allowance for the specifics of calculating indicators used to forecast energy consumption broken down by KEAs pertaining to the production and services sectors.

The implementation of the mathematical model to forecast fuel and energy consumption levels taking into account the energy saving potential in the context of structural changes in the KEAs-structured economy is based on the following provisions [5]:

© O.YE. MALYARENKO, N.YU. MAYSTRENKO, 2015

- in the country's economy, we single sectors out that integrate the kinds of economic activity where aggregate statistical accounting is maintained with regard for the consumption of fuel and energy resources (FER);

- changes that take place over time in FER consumption are analysed with changing gross value added (GVA) of the the kinds of economic activity;

- analysis is carried out for the rates of charges in FER consumption linked to changes in GVA, i.e. structural changes in the economy;

- based on the retrospective structural changes and taking into account the trends of development of the GVA generating units, alternative forecasts are proposed of the GVA provided by the kinds of economic activities with equal value of forecasted gross domestic product (GDP) of the country;

- we calculate the FER consumption levels broken-down by KEAs and as a total for the country with a fixed energy intensity of GDP and GVA in the reference year and different alternative GVA volumes by KEAs given a steady GDP in the forecast year. An increase in the share of energy-intensive sectors in the GVA contributes to increased

energy consumption in these sectors and country-wide. On the other hand, an increase in the share of not energy intensive KEAs will favour decreasing the FER consumption. Structural changes in the economy, involving changes in energy consumption due to variations of the share of a certain economic sector (consolidated sections) in the GVA are traditionally termed inter-sectoral changes. Within the economic sector, a discussion is given on intra-sectoral structural changes resulting from the decrease or increase in the share of certain production the kinds by KEAs, which form this sector. According to the Standard Industrial Classification, sections are singled out to form consolidated sectors such as: agriculture (including crop growing, animal breeding, mixed farming, forestry, and fishery), industry (including mining and processing as well as the energy sector: the supply of electric power, gas, steam, and conditioned air, water supply; wastewater disposal and waste management), transport (transportation of passengers and goods by railway, road, water and air transport and supply of gas and oil by pipeline transport), other the kinds of economic activities (education, culture, healthcare, public assistance, trade and public catering, public administration, and provision of other services (legal, financial, insurance, etc.))

The economic and mathematical model for assessing the influence of structural changes on the energy efficiency and energy consumption of the country's economy determines the total volume of energy saving ΔE_s^t resulting from inter- and intra-sectoral structural changes in the economy with a chosen s -structure of GDP in the t -year and is calculated by the following formula:

$$\Delta E_s^t = V_{GDP}^t (e_{N_s}^t - e_{N_s}^r) = V_{GDP}^t \Delta e_{N_s}^{r-t}, \quad (1)$$

where $\Delta e_{N_s}^{r-t}$ is the difference between the energy intensity of GDP in the reference ($e_{N_s}^r$) and t -year ($e_{N_s}^t$) given the s -structure of GDP; V_{GDP}^t is the volume of forecasted GDP in t -year.

Equation (1) has the following constraints:

1) in terms of GDP energy intensity:

$$e_{N_s}^t < e_{N_s}^r; \quad (2)$$

2) in terms of the structure of GDP production (GDP structure by consolidated sectors of the economy):

$$\sum_{i=1}^I p_{i_s}^t = 1, \quad (3)$$

where $p_{i_s}^t$ is the share of GVA of the i -sector of the economy within the GDP structure;

3) in terms of the GVA structure by KEAs (the structure of an separate sector by the kinds of economic activities):

$$\sum_{q=1}^Q r_{q_s}^t = 1, \quad (4)$$

where $r_{q_s}^t$ is the share of GVA of the q -kind of economic activity (section) in the GVA structure of i -sector of the economy.

In order to perform computations, it is necessary to calculate the aggregated energy efficiency indicators for the economic sectors formed from a certain set of the types of economic activity. Forecasted indicators are determined at a fixed energy intensity of the country's GDP and GVA of a separate sector for the reference year and alternative GVA structures. Alternative calculations for the GDP energy intensity given different s -structures of the economy in the t -year determine the most efficient structure by using FER under condition of one maximal reduction of the GDP energy intensity: $\Delta e_{N_s}^{r-t} \rightarrow \max$ given $V_{GDP} = const$.

The changes in the energy intensity of GVA of i -sector of the economy in t -year of the forecasted period against the reference year depending on changes in the GVA structure due to intersectoral changes over the period ($r - t$) with the s -structure of GDP production are determined according to the formula

$$\Delta e_{sc_i}^{r-t} = e_i^r \cdot \Delta p_{i_s}^{r-t}, \quad (5)$$

where $\Delta p_{i_s}^{r-t}$ is the change in the share of GVA of sector in the country's GVA structure against the reference year structure; e_i^r is the energy intensity of GVA of i -sector in the reference year.

The changes in the energy intensity of GVA depending the set of intra-sectoral structural changes at the fixed structure of its q -production in t -year of the forecasted period against the reference year are determined according to the formula

$$\Delta e_{se_i}^{r-t} = \sum_{q=1}^Q \Delta e_{q_{i_s}}^t = e_{q_{i_s}}^r \cdot \Delta r_{q_{i_s}}^{r-t}, \quad (6)$$

where $\Delta r_{q_{i_s}}^{r-t}$ is the change in the share of q -production in the GVA structure of i -sector of the economy against the reference year structure; $e_{q_{i_s}}^r$ is the

energy intensity of GVA of the q -production that makes part of i -sector in the reference year.

In energy efficiency studies, the efficiency indicators were determined at the following hierarchical levels: the country, economic sectors, and the kinds of economic activities.

The changes in the energy intensity of i -sector in the t -year due to inter- and intra-sectoral structural changes for the period $(r - t)$ are determined according to the formula

$$\Delta e_{i_s}^{r-t} = \Delta e_{sc_i}^{r-t} + \Delta e_{se_i}^{r-t}. \quad (7)$$

Accordingly, $\Delta e_{N_s}^{r-t} = \sum_i \Delta e_{i_s}^{r-t}$.

Energy consumption, which takes into account inter- and intra-sectoral structural changes in GDP given the s -structure of its production in the t -year of the forecasted period against the reference year is determined according to the formula

$$E_N^t = e_{N_s}^r \cdot V_{GDP}^t - \sum_{i=1}^I \Delta e_{i_s}^{r-t} \cdot V_{GDP}^t. \quad (8)$$

The energy consumption level in the i -sector of the economy in the t -year of the forecasted period subject to the implementation of energy saving measures and carrying out intra-sectoral structural changes in the s -structure of GVA against the reference year can be assessed using the following relation:

$$E_{i_s}^t = e_{i_s}^r \cdot V_{GVA_{i_s}}^t - \sum_q V_{q_i}^t (\Delta e_{sc_q}^{r-t} + \Delta e_{se_q}^{r-t}), \quad (9)$$

where $V_{GVA_{i_s}}^t$ is the gross value added of i -sector of the economy with the s -structure of gross domestic product in the t -year;

is the volume of q -production that makes part of the $V_{q_i}^t$ i -sector in the t -year.

Determining forecasted energy consumption for the kinds of economic activities pertaining to the production and services sector has its own specific features.

The model for calculation of the forecasted energy consumption level $E_{prod_{q_j}}^t$ by the j -type of energy resource in the **production sector** of the q -kind of economic activity in the t -year can be studied as a functional relationship between the following arguments:

$$E_{prod_{q_j}}^t = f \left(\alpha_q^t, N_q^t, e_{prod_{q_j}}^r, e_{prod_{q_j}}^t, K_q^t, \beta^t \cdot P_{SER}^t \right), \quad (10)$$

where α_q^t is the load factor of m -equipment of the plants manufacturing products pertaining to the q -kind of economic activity in the t -year;

N_q^t is the installed production capacity of the plants manufacturing products within the q -kind of economic activity in the t -year;

$e_{prod_{q_j}}^r$ is the energy intensity of manufacturing products with the existing equipment (the base-case scenario);

$e_{prod_{q_j}}^t$ is the forecasted energy intensity of manufacturing products by the kinds of economic activity taking into account the possible energy saving resulting from the set of energy saving measures K_q^t and efficient utilization of secondary energy resources, whose outlet at the design load of the equipment is P_{SER}^t , and the actual rate of the utilization of secondary energy resources is β^t .

Saving of the j -type of energy resources in the q -kind of economic activity: of the energy consumption $\Delta E_{prod_{q_j}}^t$ is determined by solving the problem where the maximal saving of the j -type of energy resource is the criterion:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^J \Delta E_{prod_{q_j}}^t = \\ & = \sum_{j=1}^J \alpha_q^t N_q^t \left(e_{prod_{q_j}}^r - e_{prod_{q_j}}^t \right) \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (11)$$

In this regard, the following constraints are taken into account:

- for the group of interchangeable energy saving measures (excluding simultaneous implementation):

$$\sum_{l=1}^L Z_{l_q}^t = 1 \text{ or } 0, \quad (12)$$

where $\sum_{l=1}^L Z_{l_q}^t$ is the indication of implementation of the l -energy saving measure from the set of interchangeable measures L ($l \in L$) in the q -kind of economic activity of the energy consumption structure in the t -year;

- for the energy intensity of the manufacture of products minimum available with the state-of-the-art technology - $e_{q_j}^{\text{lim}}$:

$$e_{q_j}^t = e_{q_j}^r \left(1 - \sum_{l=1}^L f_{l_{q_j}}^t Z_{l_{q_j}}^t x_{l_q}^t \right) \leq e_{q_j}^{\text{lim}}, \quad (13)$$

where $f_{l_{qj}}^t$ is the percentage of decrease in the energy intensity of j -type of the energy resource in the q -kind of economic activity as a result of implementing the l -measure in the t -year;

$x_{l_q}^t$ is the scope ratio of implementation of the l -energy saving measure in the q -kind of economic activity in the t -year, $0 \leq x_{l_q}^t \leq 1$.

Changes in the energy intensity of GVA subject to realizing the energy saving potential for q -KEAs of the economy can be estimated according to the formula

$$\begin{aligned} \Delta e_q^{r-t} &= \sum_j^J \sum_q^Q \Delta e_{q_j}^{r-t} = \\ &= \sum_j^J \sum_q^Q \sum_m^M \left(\alpha_{m_{qj}} e_{m_{qj}}^r - \alpha_{m_{qj}} e_{m_{qj}}^t \right). \end{aligned} \quad (14)$$

The **services sector** has its own specifics of forecasting. This sector comprises economic activities covering the set of services related to public administration, judicial activities, legal services, different levels of education, medical assistance, social protection, the operation of culture and sport establishments, etc. Energy consumption in the services sector depends on the population size and its age groups, environmental conditions, improvement of towns and settlements, engineering of buildings services, etc. Fuel consumption by these the kinds of economic activities includes direct fuel inputs for heating and hot water supply to the service providers (hospitals, schools, stores, offices, private houses where sole proprietors that provide services are registered) from heat generating sources of indirect heating systems, heat inputs for cooking at public catering facilities, sanatoria, hospitals, canteens at educational establishments, fuel consumption by privately owned transportation facilities which are not accounted for in the "Transport" section, heat inputs for the heating of premises and establishments provided by the central heating systems and municipal boiler houses, electric power inputs for the operation of office equipment, medical and other professional equipment, room illumination, heating of premises with electric appliances (electric boilers, reverse cycle air conditioning systems or other additional electric appliances), water heating in boilers, food preparation in electric cookers, and power supply to household appliances.

Forecasted levels of energy consumption in the services sector (state-financed and municipal

organizations, provisions of services by individuals as sole proprietors) can be determined in accordance with the following formula:

$$E_{service}^t = \sum_q e_{service_q}^t V_{service_q}^t, \quad (15)$$

where $e_{service_q}^t$ is the energy intensity of q -KEAs pertaining to the services sector in the t -year (as determined by the annual statistic reporting 4-MTP and 11-MTP [6,7]), kilograms equivalent fuel /UAH 1000;

$V_{service_q}^t$ is the gross value added of q -KEAs of the social sector in the t -year, in million UAH.

Forecasting the parameters of efficiency energy in the services sector directly depends on the population size and its age structure, the area of the heated buildings (hospitals, libraries, educational establishments, trading facilities, etc.). There are standard rates of electric power consumption per 1 seat at educational or per 1 bed in medical establishments, per 1 square meter in training buildings and hostels, per 1 visit to out-patient hospitals and other establishments where public is received, standard rates for heating 1 square meter in buildings depending on their designation, hot water inputs for economic and household needs (washing-up, hygienic needs, washing, etc.), standard fuel inputs for cooking at public catering facilities. The standard rates are specified in special guidelines [8, 9]. The energy saving measures in KEAs that fall within the services sector are mainly focused on residential and commercial facilities and related to saving energy inputs for illuminating and heating premises where consumption can be regulated. Energy consumption for heating depends substantially on the environmental conditions and ambient temperature during the cold season.

In thesis [10], it is proposed to investigate the levels of forecasted energy saving and consumption for housing and utilities infrastructure in relation to social indicators R_q^t , specific consumption of j -type of energy resource in the reference year per capita e_{qj}^r , the implementation of set of energy saving measures in the services sector K_q^t , partial maintenance of the technical level of the reference year a_q^t , and environmental conditions affecting the standard rates of heat consumption k^t :

$$E_{service_{qj}}^t = f(R_q^t, e_{service_{qj}}^r, K_q^t, a_q^t, k^t). \quad (16)$$

The set of energy saving measures K_q^t , prospective specific consumption of the j -type of energy resource taking into account the implementation of the set of l -energy saving measures – e_{qj}^t as well as the size of saving the j -type of energy resource in the q -king of economic activity of the energy consumption structure $\Delta E_{serviceq_j}^t$ are determined by solving the problem providing the maximal saving of the j -type of energy resources:

$$\sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^J \Delta E_{serviceq_j}^t = \sum_{j=1}^J R_{q_j}^t \Delta e_{q_j}^{r-t} \rightarrow \max. \quad (17)$$

We here take into account the constraints on the group of interchangeable energy saving measures – formula (12); constraints on the standard rate of specific consumption of the j -type of energy resources – formula (13), where $e_{q_j}^{\lim} = e_{q_j}^{norm}$.

The development of these or those KEAs in the services sector, i.e. their intra-sectoral structure has an insignificant impact on changes in energy consumption since energy inputs in all these KEAs is standard. It is clear that the growth in sport, trading and other facilities which attract a great part of population will increase the corresponded GVA and decrease specific energy consumption (the standard internal temperature in gyms, movie and concert halls, trading and exhibition halls should not be lower than +16°C, while the standard temperature inside educational, scientific, healthcare and other establishments should be at least +18°C). Energy saving can be achieved by weatherizing external walls and replacing windows and doors to avoid heat losses and not to switch on additional heating appliances.

In other words, the development of the services sector will always be contributing to the reduction of energy consumption in the country, while growth of the production industry requires to increase energy inputs. Energy saving in the production industry calls for heavy investment for the introduction of new technologies. The formations of a certain structure of the production sector is determined by the available resource base and production capacities as well as by the requirements of the global market.

Forecasted energy consumption in the t -year with regard for the economically reasonable energy saving potential resulting from structural changes and technological energy saving in the production services sector should be calculated according to the formula

$$E_s^t = \left(e_{N_s}^r - \Delta e_{N_s}^{r-t} \right) \cdot V_{N_s}^t - \sum_{j=1}^J \gamma_{prod}^t \Delta E_{prod_j}^t - \sum_{j=1}^J \gamma_{service}^t \Delta E_{service_j}^t, \quad (18)$$

where $\gamma_{prod}^t, \gamma_{service}^t$ are economically reasonable percentage of implementing technically possible energy saving potential in the material production and services sector in the t -year.

Calculations were made according to the described procedure with the use of Microsoft Office Excel tools, and FER saving (energy saving potential) resulting from structural changes was identified based on different options for the forecasted structure of Ukraine's economy. The results were used in developing in the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030 (2013) (Tables 1-3 and Fig. 1) and a draft Energy Strategy of Ukraine until 2035, which was designed by the

Table 1 – Forecasted structure of the economy incorporated into the Energy Strategy of Ukraine until 2030 (2013)

Consolidated KEAs	GVA structure, %				
	2010	2015	2020	2025	2030
	reference	Forecast structure options			
Agriculture	8.2	9.4	10.9	12.7	13.8
Industry	27.6	26.5	25.2	23	20.9
Construction	3.4	4.1	4.9	5.2	5.5
Transport	12.7	13	13.5	14.1	14.5
Other KEAs	48.1	47	45.5	45	45.3

Table 2 – Forecast of final energy consumption with regard for structural changes based on 2010 energy intensity in accordance with the forecasted structure of the economy as presented in the Energy Strategy of Ukraine until 2030 (2013)

Consolidated KEAs	Actual, 1000 fuel eq.	Forecast of final energy consumption based on 2010 energy intensity according to the reference and forecasted structures, in 1000 tons of equivalent fuel							
	2010	2015	2015	2020	2020	2025	2025	2030	2030
	Ref	Ref	Forecast	Ref	Forecast	Ref	Forecast	Ref	Forecast
Agriculture	5226	6979	8049	8906	11921	11363	17737	14503	24764
Industry*	90512	119286	114845	152221	138361	194202	162588	247872	189831
Construction	1168	1292	1580	1648	2413	2103	3269	2684	4443
Transport	17319	24027	24707	30661	32773	39117	43711	49927	57756
Other KEAs	12649	17140	16622	21872	20050	27905	24788	35616	32041
Total	126874	168724	165803	215310	205518	274689	252093	350603	308834

* Industry includes energy sector KEAs which are incorporated into the consolidated balance as the transformation sector.

The left column in the forecasted years corresponds to the forecast of final consumption in the structure of the economy (in the 2013 version), and the right column to the forecast of final consumption by the forecasted structure of the economy according to Table 1.

National Institute of Strategic Studies (see Tables 4,5 and Fig. 2).

The current Energy Strategy of Ukraine (in the 2013 version) provided for the decrease in the energy intensity of GDP from 0.174 kg of equivalent fuel /UAH (2010) to 0.081 kg of equivalent fuel/UAH in 2030 as a result of both structural and technological energy saving (Fig. 1).

The draft Energy Strategy of Ukraine until 2035, a new document presented for public debate, took into account the slump of production and, correspondingly, energy consumption volumes determined by both economic and political factors. The energy intensity of GDP is expected to decrease

from 0.33 kilograms of o.e./USD (based on 2005 PPP) to 0.17 kilograms of o.e./USD by 2035.

The results of calculations of energy efficiency caused by structural changes in the economy (Fig. 2) show that the changes in its structure over the period until 2035 will result in excessive consumption of fuel and energy resources due to the increased share of industry (mainly processing facilities) and agriculture with the transport sector share remaining almost unchanged.

It is obvious that achieving such energy consumption level in the context of negative structural changes is possible only based on technological energy saving. This involves drastic technological

Table 3 – Energy saving potential with regard for structural changes in the economy in accordance with the Energy Strategy of Ukraine until 2030 (2013)

Consolidated KEAs	FER saving (excessive consumption) due to structural changes, in 1000 tons of equivalent fuel			
	2015	2020	2025	2030
Agriculture	-1069	-3015	-6375	-10261
Industry	4440	13861	31614	58041
Construction	-289	-764	-1166	-1759
Transport	-680	-2112	-4594	-7829
Other KEAs	541	1970	3458	4226
Total	2944	9940	22937	42418

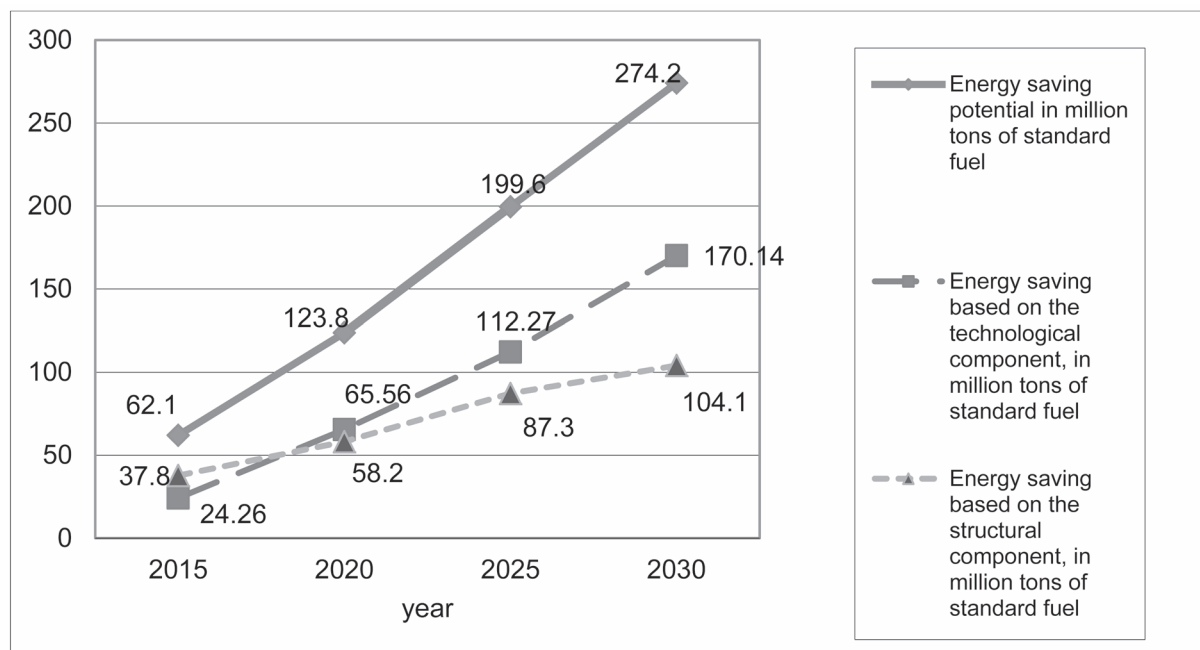


Fig. 1. Energy saving volumes up to 2030 against 2010

changes because it is planned to achieve FER consumption in 2035 of 185 million tons of equivalent fuel (129.4 million tons of oil equivalent), that is to remain at the 2013 level. Structural transformation of the economy as shown in Table 5, without technological energy saving, provides a much higher value.

One of the most efficient and large-scale options for curtailing energy consumption is to improve energy efficiency of the manufacture of goods in the economic sectors, in particular, to retrofit manufacturing machinery, reduce energy losses; improve the quality of products, and reduce losses of raw materials.

CONCLUSIONS

We have been improved the economic and mathematical model that enabled us to calculate the FER consumption levels for different structures of the economy and FER saving or excessive consumption, having regard to structural changes and GDP energy intensity for different structures of the economy. The presented model is different from the previous one in that it is adapted to the new Standard Industrial Classification, KVED-2010, introduced in 2013, incorporates more energy performance indicators by increasing and regrouping sections from 16 to 24. The model has been

Table 4 – GVA structure for consolidated KEAs by the data of the draft Energy Strategy of Ukraine until 2035

Indicators	GVA structure, %				
	2013	2020	2025	2030	2035
	Ref	Forecasted structure options			
Agriculture	10.0	10.6	11.1	11.9	12
Industry	23	26.2	27.8	28.3	29.1
Construction	2.9	4.1	3.1	3.8	4.4
Transport	8.3	8.6	7.9	8.3	7.5
Other KEAs	55.8	50.5	50.1	47.7	47.0

Table 5 – Forecast of final energy consumption with regard for structural changes based on 2013 energy intensity in accordance with the draft Energy Strategy of Ukraine until 2035

Consolidated KEAs	Actual, 1000 tons of s.f.	Forecast of final energy consumption based on 2013 energy intensity according to the reference and forecasted structures, 1000 tons of fuel equivalent							
	2013	2020	2020	2025	2025	2030	2030	2035	2035
	Ref	Ref	Forecast	Ref	Forecast	Ref	Forecast	Ref	Forecast
Agriculture	4600	6166	6591	7285	8123	8611	10294	10277	12522
Industry *	63400	85492	97342	101011	122013	119394	146582	142489	179874
Construction	900	1215	1750	1436	1550	1697	2240	2025	3159
Transport	8800	11826	12150	13973	13207	16516	16516	19710	17820
Other KEAs	12600	16834	15216	19890	17856	23509	20096	28057	23524
Total	90300	121533	133049	143595	162749	169727	195728	202558	236899

* Industry includes energy sector KEAs, which are incorporated into the consolidated balance as the transformation sector.

The left column in the forecasted years corresponds to the forecast of final consumption in the structure of the economy (in the 2013 version), and the right column to the forecast of final consumption by the forecasted structure of the economy according to Table 4.

employed to forecast energy inputs in the context of structural changes between and within the sections of kinds of economic activity, with background information being grouped according to both KVED-2005 and KVED-2010.

1. Malyarenko O.Ye. (2013) Prohnozuvannya zmin kintsevoho spozhyvannya enerhoresursiv z urakhuvannyam strukturnykh i tekhnolohichnykh zrushen' v ekonomitsi. *Forecasting changes in final energy consumption, taking into account*

technological and structural changes in the economy / O.Ye. Malyarenko, T.O. Yevtukhova, N.Yu. Maystrenko // Problemy zahal'noyi enerhetyky // *The Problems of General Energy*. No.4(35), 33-40 [in Ukrainian].

2. Malyarenko O.Ye. (2012) Urakhuvannya tsinovoho faktora pry prohnozuvanni spozhyvannya vuhlevodniv na korotkostrokovu perspektyvu v umovakh hlobalizatsiyi. *Considering the price factor in predicting hydrocarbon con-*

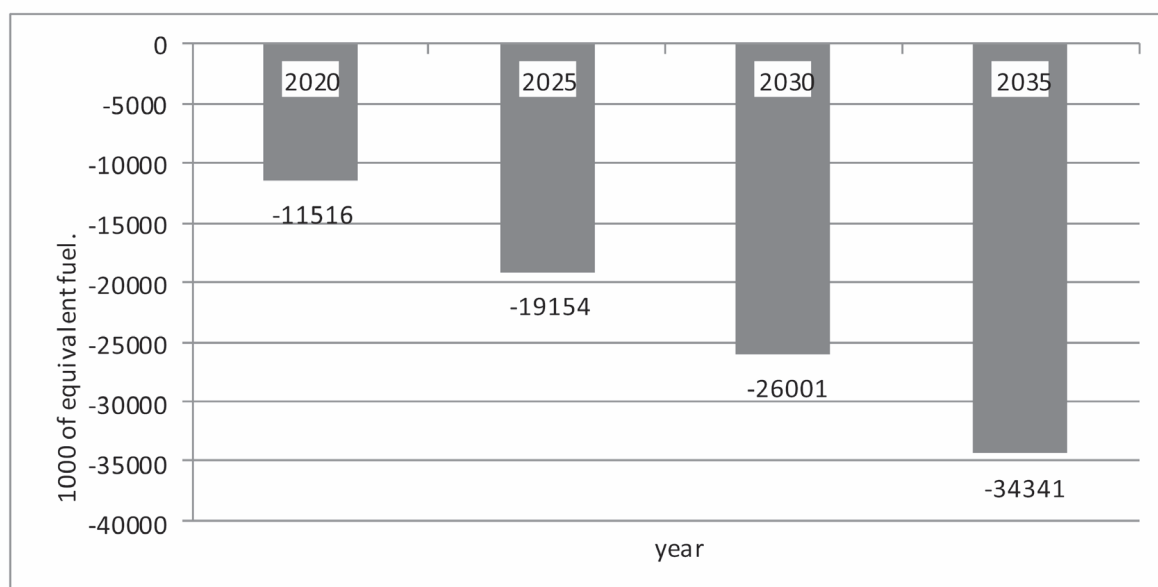


Fig. 2. Excessive consumption of fuel and energy resources due to changes in the structure of the country's economy against the 2013 structure over the period until 2035

sumption in the short term in the context of globalization / O.Ye. Malyarenko, T.O. Yevtukhova // *Problemy zahal'noyi enerhetyky* // *The Problems of General Energy*. No.2(29), 33-40 [in Ukrainian].

3. Kostiukovskij B.A. (2009) Teoretiko-metodologichiskie osnovy prognozirovanija razvitija energetiki v uslovijakh liberalizatsii i globalizatsii mirovoj ekonomiki i internatsionalizatsii ekologicheskikh ogranichenij. *Theoretical and methodological fundamentals for the forecasting of energy sector development in the context of liberalization and globalization of the global economy and internationalization of environmental constraints* / B.A. Kostiukovskiy, Ye.A. Ruban-Maksimets, D.P. Sas, M.V. Parasiuk // *Problemy zahal'noyi enerhetyky*. // *The Problems of General Energy*. No.19, 31–38 [in Russian].

4. Hnidy M.V. (2004) Vplyv strukturnykh zrushen' v ekomotsi Ukrayiny na efektyvnist' vykorystannia enerhoresursiv. *Impact of structural changes in Ukraine's economy on energy efficiency* / M.V. Hnidy, T.P. Ahejeva // *Problemy zahal'noyi enerhetyky*. *The Problems of General Energy*. No.11, 7–13 [in Ukrainian].

5. Maliarenko Ye. Ye. (2014) Issledovanie strukturnykh izmenenij v ekonomike Ukrainy dlja opredelenija potentsiala energosberezhenija. *Studying structural changes in Ukraine's economy for the determination of the energy saving potential* / Ye.Ye. Maliarenko, N.Yu. Maistrenko // *Materialy mezhd. Nauch.-tekhn. konf. "Energoeffektivnost'-2014"* – Minsk: In-t teplo- i massoobmena im. A.V. Lykova NAN Belarusi // *Proceedings of the Energy Efficiency 2014 International Scientific and Technical Conference* – Minsk: A.V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus, 160–164 [in Russian].

6. *Statistical Reporting Form* No. 4-MTP Report on residues and utilization of fuel and lubrication materials (annual) for 2001–2013 [in Ukrainian].

7. *Statistical Reporting Form* No. 11-MTP Report on the utilization of fuel, heat and electric power (annual) for 2001–2013 [in Ukrainian].

8. *Usage rates and guidelines on setting rates for the use of fuel and heat for heating residential and public buildings, as well as for economic needs in Ukraine* KTM 204 Ukrainy 244-94. [Effective since 2001-04-01]. – K.: UkrNDIinzhpriekt, 2001, 64 [in Ukrainian].

9. Proektuvannia elektoroobladdannia obiektyv tsyvil'noho pryznachennia: DBN V.2.5.-23.03. *Designing electric equipment for civil facilities: DBN V.2.5-23.03*. – K.: State Committee of Ukraine for Building and Architecture, 2004,128 [in Ukrainian].

10. Agejeva T.P. (2002) Metodicheskie osnovy otsenki energosberezhenija i prognozirovanija energopotreblenija v sfere zhylishchnogo i komunalno-bytovogo obsluzhyvanija naselenija Ukrainy: dis. ... kand.tekhn.nauk – 05.14.01. *Methodological fundamentals for the assessment of energy saving and forecasting energy inputs in providing housing and public utility services to Ukrainian population: thesis*. ... Candidate of Technical Sciences – 05.14.01. – K. 184 [in Russian].

Received by the Editorial Board 05.08.2015

ПРОГНОЗУВАННЯ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 620.9

О.Є. МАЛЯРЕНКО, канд. техн. наук,
Н.Ю. МАЙСТРЕНКО,
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172,
м. Київ, 03680, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ З УРАХУВАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ СТРУКТУРНИХ ЗМІНАХ В ЕКОНОМІЦІ

Надано методичний підхід та математичну модель прогнозування рівнів кінцевого споживання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням потенціалу енергозбереження від структурних змін між видами економічної діяльності з особливостями впровадження енергозберігаючих заходів у виробничій і невиробничій сфері країни. Приведено прогнозні розрахункові обсяги кінцевого споживання паливно-енергетичних ресурсів та потенціалу енергозбереження від структурних змін за укрупненими видами економічної діяльності.

Ключові слова: кінцеве споживання паливно-енергетичних ресурсів, потенціал енергозбереження, структура економіки.

Прогнозуванню енергоспоживання присвячено чимало наукових робіт, виконаних у т.ч. в Інституті загальної енергетики НАН України [1–3]. Дослідження впливу структурних змін в економіці на рівні енергоспоживання при галузевій структурі економіки були започатковані в роботі [4]. Особливістю даного дослідження є врахування в моделі прогнозування енергоспоживання потенціалу енергозбереження (ПЕЗ) від структурних зрушень в економіці при формуванні структури економіки за видами економічної діяльності (ВЕД) згідно з класифікатором КВЕД-2010, та врахування особливостей обчислення показників для прогнозування рівнів енергоспоживання по ВЕД, що відносяться до виробничої сфери та послуг.

Реалізація математичної моделі для прогнозування рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів, що враховує потенціал енергозбереження при структурних змінах в економіці, яка формується за ВЕД, ґрунтується на

таких положеннях [5]: в економіці країни виділяються сектори, що об'єднують види економічної діяльності, по яких ведеться укрупнений статистичний облік по споживанню паливно-енергоресурсів (ПЕР), аналізуються у динаміці зміни у споживанні ПЕР при змінах обсягів валової доданої вартості (ВДВ) видів економічної діяльності; аналізуються темпи зміни споживання ПЕР від темпів зміни ВДВ, тобто структурні зрушення в економіці; на основі ретроспективних структурних змін і з урахуванням тенденцій розвитку виробництв, що формують ВДВ, розробляються варіанти прогнозу обсягів ВДВ видів економічної діяльності за однакової величини прогнозного валового внутрішнього продукту країни (ВВП); при фіксованій енергоємності ВВП та ВДВ базового року і різних варіантних обсягах ВДВ за ВЕД при постійному обсязі ВВП прогнозного року обчислюються рівні споживання ПЕР по ВЕД та країні в цілому. Збільшення частки енергоємних секторів економіки у ВДВ буде сприяти збільшенню енергоспоживання цих секторів і країни в цілому. Зростання ж частки неенер-

© МАЛЯРЕНКО О.Є., МАЙСТРЕНКО Н.Ю., 2015

гоємних ВЕД сприятиме зниженню споживання ПЕР. Структурні зміни в економіці, що враховують зміни у енергоспоживанні за рахунок зміни частки певного сектору (укрупнених секцій) економіки від обсягу ВДВ, прийнято називати міжсекторними. У секторі економіки розглядаються внутрішньосекторні структурні зміни від зменшення або збільшення частки певних видів виробництва за ВЕД, що формують даний сектор. За класифікатором видів економічної діяльності виділяють секції, з яких сформовано укрупнені сектори: сільське господарство (включає рослинництво, тваринництво, змішане сільське господарство, лісове господарство, рибництво), промисловість (включає добувну і переробну, а також енергетичний сектор: постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; водопостачання; каналізація та поводження з відходами), транспорт (пасажирські та вантажні перевезення залізничним, автомобільним, водним, авіаційним транспортом та постачання газу й нафти трубопровідним транспортом), інші види економічної діяльності (освіта, культура, охорона здоров'я та надання соціальної допомоги, торгівля і громадське харчування, державне управління, надання інших послуг (юридичних, фінансових, страхова діяльність, ін.).

Економіко-математична модель визначення впливу структурних зрушень на показники енергоефективності та енергоспоживання економіки країни визначає загальний обсяг економії енергоресурсів ΔE_s^t за рахунок міжсекторних та внутрішньосекторних структурних зрушень в економіці при вибраній s -й структурі ВВП в t -му році і обчислюється за формулою:

$$\Delta E_s^t = V_{ВВП}^t (e_{N_s}^{\bar{\delta}} - e_{N_s}^t) = V_{ВВП}^t \cdot \Delta e_{N_s}^{\bar{\delta}-t}, \quad (1)$$

де $\Delta e_{N_s}^{\bar{\delta}-t}$ – різниця між енергоемністю ВВП в базовому ($e_{N_s}^{\bar{\delta}}$) та в t -му роках ($e_{N_s}^t$) при s -й структурі ВВП; $V_{ВВП}^t$ – обсяг прогнозного ВВП у t -му році.

До рівняння (1) додаються такі обмеження:

1) по енергоемності ВВП:

$$e_{N_s}^t < e_{N_s}^{\bar{\delta}}; \quad (2)$$

2) по структурі виробництва ВВП (структура ВВП за укрупненими секторами економіки):

$$\sum_{i=1}^I p_{i_s}^t = 1, \quad (3)$$

де $p_{i_s}^t$ – частка ВДВ i -го сектору економіки у структурі ВВП;

3) по структурі ВДВ за ВЕД (структура окремого сектору за видами економічної діяльності):

$$\sum_{q=1}^Q r_{q_s}^t = 1, \quad (4)$$

де $r_{q_s}^t$ – частка ВДВ q -го виду економічної діяльності (секції) економіки у структурі ВДВ i -го сектору економіки.

Для проведення розрахунків необхідно розрахувати агреговані показники енергетичної ефективності для секторів економіки, що формуються з певного набору видів економічної діяльності. Прогнозні показники визначаються при фіксованій енергоемності ВВП країни та ВДВ окремого сектору за базовий рік і варіантах структури ВДВ. З проведених варіантних розрахунків енергоемності ВВП при різних s -х структурах економіки у t -му році визначається найбільш ефективна по використанню ПЕР структура за умови максимального зниження енергоемності ВВП:

$$\Delta e_{N_s}^{\bar{\delta}-t} \rightarrow \max \text{ при } V_{ВВП}^t = \text{const}.$$

Зміна енергоемності ВДВ i -го сектору економіки в t -му році прогнозного періоду відносно базового року в залежності від зміни структури ВДВ за рахунок міжсекторних зрушень за період ($\bar{\delta} - t$) при s -й структурі виробництва ВВП визначається за формулою:

$$\Delta e_{mc_i}^{\bar{\delta}-t} = e_i^{\bar{\delta}} \cdot \Delta p_{i_s}^{\bar{\delta}-t}, \quad (5)$$

де $\Delta p_{i_s}^{\bar{\delta}-t}$ – зміна частки ВДВ i -го сектору у структурі ВДВ країни відносно структури базового року; $e_i^{\bar{\delta}}$ – енергоемність ВДВ i -го сектору у базовому році.

Зміна енергоемності ВДВ в залежності від сукупності внутрішньосекторних структурних зрушень при незмінній структурі його q -го виробництва, в t -му році прогнозного періоду відносно базового року визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta e_{ac_i}^{\bar{\delta}-t} &= \sum_{q=1}^Q \Delta e_{q_{i_s}}^t = \\ &= e_{q_{i_s}}^{\bar{\delta}} \cdot \Delta r_{q_{i_s}}^{\bar{\delta}-t}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\Delta r_q^{\delta-t}$ – зміна частки q -го виробництва у структурі ВДВ i -го сектору економіки відносно структури базового року;

$\Delta r_q^{\delta-t}$ – енергоємність ВДВ q -го виробництва, що входить до i -го сектору, у базовому році.

Під час дослідження енергетичної ефективності її показники визначались на таких ієрархічних рівнях: країна, сектори економіки, види економічної діяльності.

Зміна енергоємності i -го сектору в t -му році за рахунок міжсекторних та внутрішньосекторних структурних зрушень за період $(\delta - t)$ визначається за формулою:

$$\Delta e_{i_s}^{\delta-t} = \Delta e_{mc_i}^{\delta-t} + \Delta e_{ec_i}^{\delta-t}. \quad (7)$$

Відповідно
$$\Delta e_{N_s}^{\delta-t} = \sum_i \Delta e_{i_s}^{\delta-t}.$$

Енергоспоживання з урахуванням міжсекторних та внутрішньосекторних структурних зрушень у ВВП при s -й структурі його виробництва в t -му році прогнозного періоду відносно базового року визначається за формулою:

$$E_N^t = e_{N_s}^{\delta} \cdot V_{ВВП}^t - \sum_{i=1}^I \Delta e_{i_s}^{\delta-t} \cdot V_{ВВП}^t. \quad (8)$$

Енергоспоживання у i -му секторі економіки в t -му році прогнозного періоду при впровадженні заходів з енергозбереження та реалізації внутрішньосекторних структурних зрушень у s -й структурі виробництва валової доданої вартості відносно базового року можна оцінити такою залежністю:

$$E_{i_s}^t = e_{i_s}^{\delta} \cdot V_{ВДВ_{i_s}}^t - \sum_q V_{q_i}^t \left(\Delta e_{mc_q}^{\delta-t} + \Delta e_{ec_q}^{\delta-t} \right), \quad (9)$$

де $V_{ВДВ_{i_s}}^t$ – валова додана вартість i -го сектора економіки з s -ю структурою валового внутрішнього продукту у t -му році;

$V_{q_i}^t$ – обсяг q -го виробництва, що входить до i -го сектору, у t -му році.

Визначення рівнів прогнозного енергоспоживання для видів економічної діяльності, що відносяться до виробничій сфері та послуг має свої особливості.

Модель розрахунку прогнозного рівня енергоспоживання q -го виду економічної діяльності у t -му році по j -му виду енергоресурсу – $E_{вир_{q_j}}^t$

у **виробничій сфері** може досліджуватися як функціональна залежність від таких аргументів:

$$E_{вир_{q_j}}^t = f \left(\alpha_q^t, N_q^t, e_{вир_{q_j}}^{\delta}, e_{вир_{q_j}}^t, K_q^t, \beta^t \cdot P_{ВЕР}^t \right), \quad (10)$$

де α_q^t – коефіцієнт завантаження m -го обладнання підприємств, що випускають продукцію q -го виду економічної діяльності у t -му році;

N_q^t – встановлена продуктивність підприємств по виробництву продукції за q -м видом економічної діяльності у t -му році;

$e_{вир_{q_j}}^{\delta}$ – енергоємність виробництва продукції на існуючому обладнанні (базовий варіант);

$e_{вир_{q_j}}^t$ – прогнозна енергоємність виробництва продукції за видами економічної діяльності при врахуванні можливої економії енергоресурсів від впровадження набору енергозберігаючих заходів – K_q^t та раціональному використанні ВЕР, вихід яких при проектному завантаженні обладнання – $P_{ВЕР}^t$, а коефіцієнт фактичного використання вторинних енергетичних ресурсів – β^t .

Економія j -го виду енергоресурсу в q -й вершині (відповідає виду економічної діяльності) структури енергоспоживання – $\Delta E_{вир_{q_j}}^t$ визначається вирішенням задачі, критерієм якої є максимум економії j -го виду енергоресурсів:

$$\sum_{j=1}^J \Delta E_{вир_{q_j}}^t = \sum_{j=1}^J \alpha_q^t N_q^t \left(e_{вир_{q_j}}^{\delta} - e_{вир_{q_j}}^t \right) \rightarrow \max. \quad (11)$$

При цьому враховуються такі обмеження:

– по групі взаємозамінних (виключають одночасне застосування) енергозберігаючих заходів:

$$\sum_{l=1}^L Z_{l_q}^t = 1 \text{ або } 0; \quad (12)$$

де $\sum_{l=1}^L Z_{l_q}^t$ – ознака впровадження l -го енергозберігаючого заходу з множини взаємозамінних заходів – L ($l \in L$) в q -й вершині структури енергоспоживання в t -му році;

– по гранично можливій при даному рівні

розвитку технології енергоємності виробництва продукції – $e_{q_j}^{\text{lim}}$:

$$e_{q_j}^t = e_{q_j}^{\delta} \left(1 - \sum_{l=1}^L f_{l_{q_j}}^t Z_{l_{q_j}}^t x_{l_q}^t \right) \leq e_{q_j}^{\text{lim}}, \quad (13)$$

де $f_{l_{q_j}}^t$ – частка зниження енергоємності j -го виду енергоресурсу в q -й вершині внаслідок впровадження l -го заходу в t -му році; $x_{l_q}^t$ – коефіцієнт обсягу впровадження l -го енергозберігаючого заходу в q -й вершині в t -му році, $0 \leq x_{l_q}^t \leq 1$.

Зміна енергоємності ВДВ при реалізації потенціалу енергозбереження для q -го ВЕД економіки може бути оцінена за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta e_q^{\delta-t} &= \sum_j^J \sum_q^Q \Delta e_{q_j}^{\delta-t} = \\ &= \sum_j^J \sum_q^Q \sum_m^M \left(\alpha_{m_{q_j}} e_{m_{q_j}}^{\delta} - \alpha_{m_{q_j}} e_{m_{q_j}}^t \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Свої особливості прогнозування рівнів енергоспоживання має **сфера послуг** – види економічної діяльності, що включають сукупність послуг з державного управління, судової діяльності, юридичних послуг, освіти різного рівня, медичної допомоги, соціального захисту, функціонування закладів культури, спорту, ін. Формування обсягів енергоспоживання в сфері послуг залежить від чисельності населення та його вікових груп, кліматичних умов, благоустрою міст і населених пунктів, інженерного обладнання будівель, ін. Споживання палива цими видами економічної діяльності включає безпосередні витрати палива на опалення і гаряче водопостачання закладів, що надають послуги (лікарень, шкіл, магазинів, офісів, приватних будинків, в яких зареєстровано приватних підприємців, що надають послуги) від теплогенеруючих джерел автономних систем опалення, витрати палива на приготування їжі у закладах громадського харчування, санаторіях, лікарнях, їдальнях освітніх закладів, витрати палива приватними транспортними засобами, які не враховано у секції «Транспорт», витрати теплової енергії на опалення приміщень та закладів від систем централізованого теплопостачання та муніципальних котелень, витрати електричної енергії

на функціонування офісної техніки, медичного та іншого професійного обладнання, освітлення приміщень, опалення приміщень електричними пристроями (електрокотлами, реверсивними кондиціонерами, ін. додатковими електроприладами), нагрів води у бойлерах, приготуванні їжі на електроплитах, живлення побутової техніки.

Прогнозні рівні споживання енергоресурсів у сфері послуг (бюджетній, муніципальній, надання послуг населенням як приватними підприємцями) можна визначати за такою формулою:

$$E_{\text{посл}}^t = \sum_q e_{\text{посл}_q}^t \cdot V_{\text{посл}_q}^t, \quad (15)$$

де $e_{\text{посл}_q}^t$ – енергоємність q -го ВЕД, що відноситься до сфери послуг, в t -му році (визначається за формами щорічної статистичної звітності 4-МТП та 11-МТП [6,7]), кг у.п/1000 грн.;

$V_{\text{посл}_q}^t$ – валова додана вартість q -го ВЕД сфери послуг в t -му році, млн грн.

Прогнозування показників енергоефективності у сфері послуг напряму залежить від чисельності населення та його структури за віковими групами, площі опалювальних будівель (лікарень, бібліотек, освітніх закладів, торговельних приміщень, ін.). Існують норми споживання електричної енергії у розрахунку на 1 місце в освітніх чи ліжко-місце у лікарняних закладах, 1 м² навчальних корпусів, гуртожитків, 1 відвідування у поліклініках та ін. закладах, де ведеться приймання населення, норми на опалення 1 м² приміщень у залежності від їх призначення, витрати гарячої води на господарські та побутові потреби (миття посуду, гігієнічні потреби, прання білизни, ін.), норми палива на приготування їжі у закладах громадського харчування. Ці норми визначено окремими методиками [8,9]. Заходи з енергозбереження у ВЕД, що відносяться до сфери послуг, в основному стосуються комунально-побутового напрямку, і пов'язані з економією енергоресурсів на освітлення, опалення приміщень, де можливо регулювати ці витрати. Споживання енергоресурсів на потреби опалення значно залежить від кліматичних умов та температури зовнішнього повітря у холодний період року.

У роботі [10] рівні прогнозного енергозбере-

ження та енергоспоживання для житлового комунального господарства (ЖКГ) пропонується досліджувати у залежності від показників соціально-економічного розвитку – R_q^t , питомої витрати j -го виду енергоресурсу в базовому році на душу населення – e_{qj}^{δ} , впровадження набору енергозберігаючих заходів для сфери послуг – K_q^t , часткового збереження технічного рівня базового року – a_q^t та кліматичних умови, що впливають на норми споживання теплової енергії – k^t :

$$E_{\text{посл}q_j}^t = f(R_q^t, e_{\text{посл}q_j}^{\delta}, K_q^t, a_q^t, k^t). \quad (16)$$

Набір енергозберігаючих заходів – K_q^t , перспективна питома витрата j -го виду енергоресурсу з урахуванням впровадження набору l -х енергозберігаючих заходів – e_{qj}^t , а також розмір економії j -го виду енергоресурсу в q -й вершині структури енергоспоживання – $\Delta E_{\text{посл}q_j}^t$ – визначаються із рішення наступної задачі, критерієм якої є максимум економії j -го виду енергоресурсу:

$$\sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^J \Delta E_{\text{посл}q_j}^t = \sum_{j=1}^J R_{q_j}^t \Delta e_{q_j}^{\delta-t} \rightarrow \max. \quad (17)$$

При цьому враховуються обмеження по групі взаємозамінних енергозберігаючих заходів – формула (12); обмеження по нормі питомих витрат j -го виду енергоресурсу – формула (13) при $e_{q_j}^{\text{lim}} = e_{q_j}^{\text{норм}}$.

Розвиток тих чи інших ВЕД сфери послуг, тобто їх внутрішньосекторна структура незначно впливає на зміну рівнів енергоспоживання, оскільки енергоспоживання всіх цих ВЕД є типовим. Зрозуміло, що розвиток спортивних, торгівельних та ін. закладів, що привертають

значну кількість населення, буде збільшувати обсяг відповідних ВДВ та знижувати питоме енергоспоживання (нормативна внутрішня температура спортзалів, кіно-концертних, торговельних, виставкових залів не повинна бути нижчою +16°C, а підтримання нормативно допустимої внутрішньої температури у приміщеннях закладів освіти, науки, охорони здоров'я, ін. – не нижче +18°C). Енергозбереження можливо досягти при утепленні зовнішніх стін, заміні вікон і дверей для уникнення втрат теплоти, що дозволить не витратити додаткові електричні прилади опалення. Тобто розвиток сектору послуг буде завжди сприяти зниженню енергоспоживання країни, а розвиток виробничої сфери вимагати зростання споживання енергоресурсів. Енергозбереження у виробничій сфері потребує вкладання значних інвестицій у впровадження нових технологій. Формування певної структури виробничої сфери визначається наявністю ресурсної бази та виробничих потужностей, а також потребою світового ринку.

Прогнозне енергоспоживання у t -му році з урахуванням економічно доцільного потенціалу енергозбереження від структурних зрушень та технологічного енергозбереження у виробничій сфері й наданні послуг має розраховуватись за формулою:

$$E_s^t = \left(e_{N_s}^{\delta} - \Delta e_{N_s}^{\delta-t} \right) \cdot V_{N_s}^t - \sum_{j=1}^J \gamma_{\text{вир}}^t \Delta E_{\text{вир}j}^t - \sum_{j=1}^J \gamma_{\text{посл}}^t \Delta E_{\text{посл}j}^t, \quad (18)$$

де $\gamma_{\text{вир}}^t$, $\gamma_{\text{посл}}^t$ – відповідно економічно обґрунтовані частки впровадження технічно можливого потенціалу енергозбереження у виробництві та сфері послуг у t -му році.

Таблиця 1 – Прогнозна структура економіки, що покладена в Енергетичну стратегію України до 2030 р. (редакція 2013 р.)

Укрупнені ВЕД	Структура ВДВ, %				
	2010 р.	2015 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
	базова	варіанти прогнозної структури			
Сільське господарство	8,2	9,4	10,9	12,7	13,8
Промисловість	27,6	26,5	25,2	23	20,9
Будівництво	3,4	4,1	4,9	5,2	5,5
Транспорт	12,7	13	13,5	14,1	14,5
Інші ВЕД	48,1	47	45,5	45	45,3

Таблиця 2 – Прогноз кінцевого енергоспоживання з урахуванням структурних зрушень по енергоємності 2010 р. згідно з прогнозною структурою економіки за Енергетичною стратегією України до 2030 р. (редакція 2013 р.)

Укрупнені ВЕД	Факт, тис. т у.п.	Прогноз кінцевого енергоспоживання по енергоємності 2010 р. за базовою та прогнозною структурами, тис. т у.п.							
		2010 р.	2015 р.	2015 р.	2020 р.	2020 р.	2025 р.	2025 р.	2030 р.
	Базова	Базова	Прогнозна	Базова	Прогнозна	Базова	Прогнозна	Базова	Прогнозна
Сільське господарство	5226	6979	8049	8906	11921	11363	17737	14503	24764
Промисловість*	90512	119286	114845	152221	138361	194202	162588	247872	189831
Будівництво	1168	1292	1580	1648	2413	2103	3269	2684	4443
Транспорт	17319	24027	24707	30661	32773	39117	43711	49927	57756
Інші ВЕД	12649	17140	16622	21872	20050	27905	24788	35616	32041
Разом	126874	168724	165803	215310	205518	274689	252093	350603	308834

*Промисловість включає ВЕД енергетичного сектору, які до зведеного балансу входять як сектор перетворення.

Ліва колонка в прогнозованих роках відповідає прогнозу кінцевого споживання за базовою структурою економіки (у версії 2013 року), а права колонка – прогнозу кінцевого споживання за прогнозованою структурою економіки відповідно до табл. 1.

Таблиця 3 – Потенціал енергозбереження при структурних змінах в економіці згідно з Енергетичною стратегією України до 2030 р. (редакції 2013 р.)

Укрупнені ВЕД	Економія (перевитрати) ПЕР при зміні структури, тис. т у.п.			
	2015 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Сільське господарство	-1069	-3015	-6375	-10261
Промисловість	4440	13861	31614	58041
Будівництво	-289	-764	-1166	-1759
Транспорт	-680	-2112	-4594	-7829
Інші ВЕД	541	1970	3458	4226
Разом	2944	9940	22937	42418

За описаною методикою проведено обчислення із застосуванням засобів Microsoft Office Excel та визначено економію ПЕР (потенціал енергозбереження) від структурних зрушень при різних варіантах прогнозної структури економіки країни. Результати використані при розробці Енергетичної стратегії України на період до 2030 року редакції 2013 р. (табл. 1–3) та рис. 1 і проекту Енергетичної стратегії України до 2035 р., що розроблена Національним інститутом стратегічних досліджень (табл. 4, 5) та рис. 2.

За діючою енергетичною стратегією України редакції 2013 р. енергоємність ВВП передбачалось знизити з 0,174 кг у.п./грн (2010 р.) до 0,081 кг у.п./грн у 2030 р. за рахунок як структурного, так і технологічного енергозбереження (рис. 1).

Новий документ – проект Енергетичної стратегії України до 2035 року, що вийшов на громадське обговорення, врахував падіння виробництва і, відповідно обсяги енергоспоживання, що зумовлені як економічними, так і політичними чинниками. Енергоємність

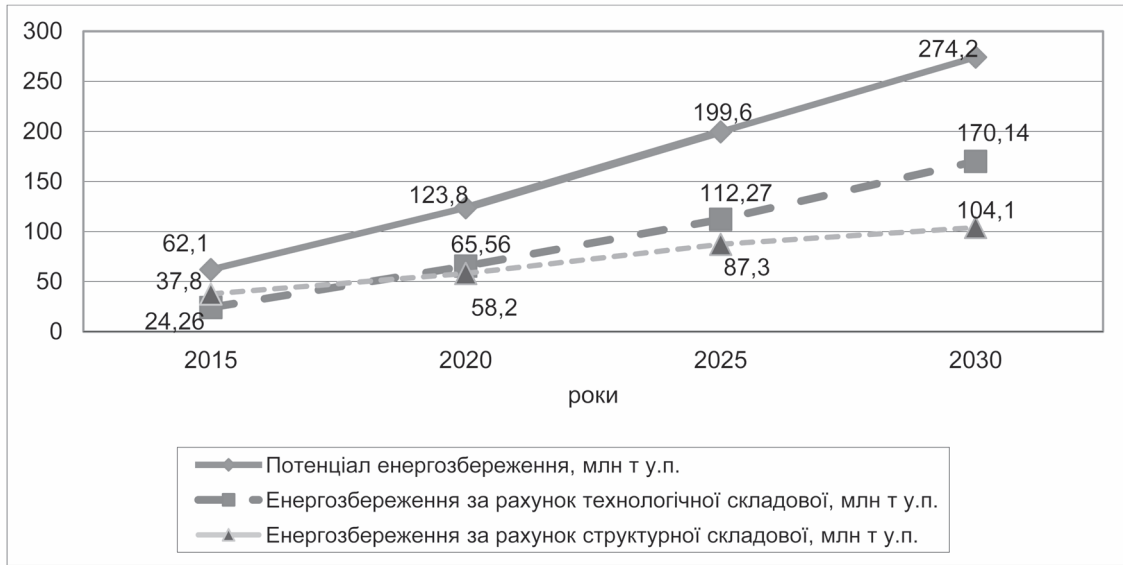


Рис. 1. Обсяги енергозбереження до 2030 року відносно 2010 року

Таблиця 4 — Структура ВДВ по укрупнених ВЕД за даними проекту Енергетичної стратегії України до 2035 р.

Показники	Структура ВДВ, %				
	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.	2035 р.
	базова	варіанти прогнозної структури			
Сільське господарство	10,0	10,6	11,1	11,9	12
Промисловість	23	26,2	27,8	28,3	29,1
Будівництво	2,9	4,1	3,1	3,8	4,4
Транспорт	8,3	8,6	7,9	8,3	7,5
Інші ВЕД	55,8	50,5	50,1	47,7	47,0

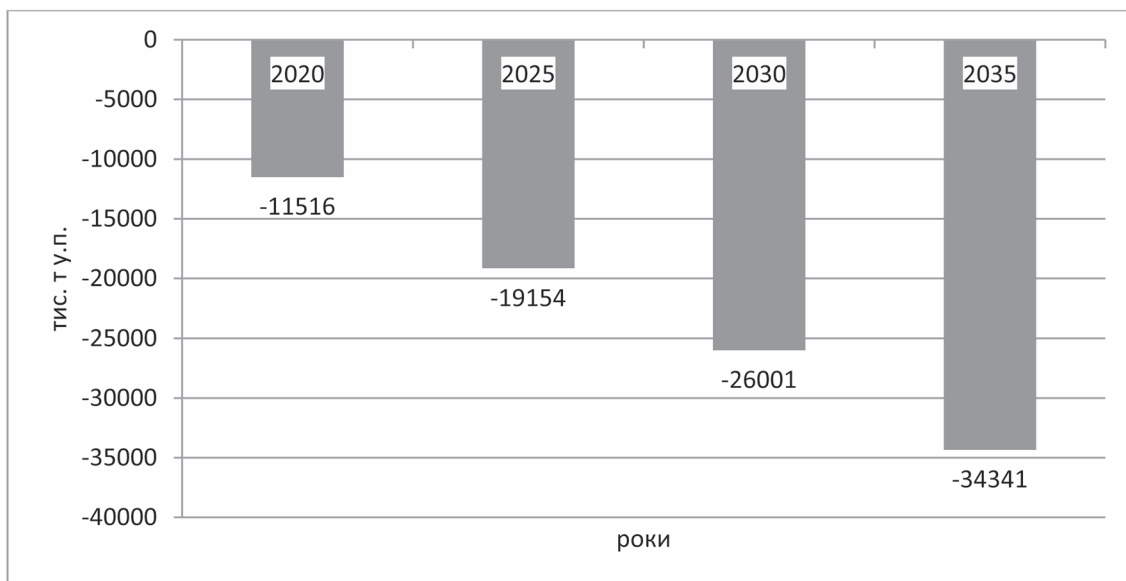


Рис. 2. Обсяги перевитрат паливно-енергетичних ресурсів за рахунок зміни структури економіки країни відносно структури 2013 року на перспективу до 2035 року

Таблиця 5 – Прогноз кінцевого енергоспоживання з урахуванням структурних зрушень по енергоемності 2013 р. за даними проекту Енергетичної стратегії України до 2035 р.

Укрупнені ВЕД	Факт, тис. т у.п.	Прогноз кінцевого енергоспоживання по енергоемності 2013 р., за базовою та прогнозною структурами, тис. т у.п.							
	2013 р.	2020 р.	2020 р.	2025 р.	2025 р.	2030 р.	2030 р.	2035 р.	2035 р.
	Базова	Базова	Прогноз- на	Базова	Прогноз- на	Базова	Прогноз- на	Базова	Прогноз- на
Сільське господарство	4600	6166	6591	7285	8123	8611	10294	10277	12522
Промисловість*	63400	85492	97342	101011	122013	119394	146582	142489	179874
Будівництво	900	1215	1750	1436	1550	1697	2240	2025	3159
Транспорт	8800	11826	12150	13973	13207	16516	16516	19710	17820
Інші ВЕД	12600	16834	15216	19890	17856	23509	20096	28057	23524
Разом	90300	121533	133049	143595	162749	169727	195728	202558	236899

* Промисловість включає ВЕД енергетичного сектору, які до зведеного балансу входять як сектор перетворення.

Ліва колонка в прогнозованих роках відповідає прогнозу кінцевого споживання за базовою структурою економіки (у версії 2013 року), а права колонка – прогнозу кінцевого споживання за прогнозованою структурою економіки відповідно до табл. 1.

ВВП за проектом до 2035 р. з величини 0,33 кг н.е./дол. США (з ПКС 2005 р.) планується знизити до 0,17 кг н.е./дол. США.

Результати розрахунку ефективності енерговикористання при структурних зрушеннях в економіці (рис. 2) показують, що зміна структури економіки на період до 2035 р. дасть перевитрати паливно-енергетичних ресурсів у зв'язку із збільшенням частки промисловості (в основному переробної) та сільського господарства при майже незмінній частці транспортного сектору.

Очевидно, що досягти такого рівня енергоспоживання при структурних негативних змінах можливо лише за рахунок технологічного енергозбереження, причому це має бути докорінна зміна технологій, оскільки планується досягти споживання ПЕР у 2035 р. – 185 млн т у.п. (129,4 млн т н.е.), тобто залишитись по енергоспоживанню на рівні 2013 р. Структурна перебудова економіки, як видно з табл. 5, без технологічного енергозбереження дає набагато більшу величину. Одним з найбільш ефективних і мас-

штабних напрямів зниження енергоспоживання є підвищення енергоефективності виробництва продукції в секторах економіки за напрямками: модернізація технологічного обладнання; скорочення втрат енергоресурсів; підвищення якості продукції та скорочення втрат сировини та матеріалів.

ВИСНОВКИ

Удосконалено економіко-математичну модель, за якою обчислено рівні споживання ПЕР при різних структурах економіки та економію або перевитрати ПЕР при структурних змінах, енергоемність ВВП при різних структурах економіки. Наведена модель відрізняється від попередньої тим, що адаптована до нового класифікатора видів економічної діяльності КВЕД-2010, введеного у 2013 р., має більшу кількість показників енергетичної ефективності за рахунок збільшення та перегрупування секцій з 16 до 24. Модель використано для прогнозування енергоспоживання

при структурних змінах між секціями та в секціях видів економічної діяльності при групуванні вихідної інформації як за КВЕД-2005, так і за КВЕД-2010.

1. *Маляренко О.Є.* Прогнозування змін кінцевого споживання енергоресурсів з урахуванням структурних і технологічних зрушень в економіці / О.Є. Маляренко, Т.О. Євтухова, Н.Ю. Майстренко // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – № 4(35). – С.33–40.
2. *Маляренко О.Є.* Урахування цінового фактора при прогнозуванні споживання вуглеводнів на короткострокову перспективу в умовах глобалізації / О.Є. Маляренко, Т.О. Євтухова // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – № 2(29). – С.12–19.
3. *Костюковський Б.А.* Теоретико-методологічні основи прогнозування розвитку енергетики в умовах лібералізації та глобалізації світової економіки та інтернаціоналізації екологічних обмежень / Б.А. Костюковський, Е.А. Рубан-Максимець, Д.П. Сас, М.В. Парасюк // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 19. – С. 31–38.
4. *Гнідий М.В.* Вплив структурних зрушень в економіці України на ефективність використання енергоресурсів / М.В. Гнідий, Т.П. Агеєва // Проблеми загальної енергетики. – 2004. – № 11. – С. 7–13.
5. *Маляренко Е.Е.* Исследование структурных изменений в экономике Украины для определения потенциала энергосбережения / Е.Е. Маляренко, Н.Ю. Майстренко // Материалы междунауч.-техн. конф. «Энергоэффективность-2014». – Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2014. – С.160–164.

6. *Форма статистичної звітності № 4-МТП* "Звіт про залишки і використання палива та пально-мастильних матеріалів". (річна) за 2001–2013 рр.
7. *Форма статистичної звітності № 11-МТП* "Звіт про результати використання палива, теплоенергії і електроенергії". (річна) за 2001–2013 рр.
8. *Норми та вказівки з нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні.* КТМ 204 України 244-94. [Чинний від 2001-04-01]. – К.: УкрНДІнжпроект, 2001. – 64 с.
9. *Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В.2.5-23.03.* – К.: Держком. України з будів. та архітект., 2004. – 128 с.
10. *Агеєва Т.П.* Методические основы оценки энергосбережения и прогнозирования энергопотребления в сфере жилищного и коммунально-бытового обслуживания населения Украины: Дис. ... канд.техн.наук. 05.14.01. – Киев, 2002. – 184 с.

Надійшла до редколегії: 05.08.2015