Modeling the Energy and Mass Flows in Evaluating the Energy Efficiency of Industrial Systems

Assoc. Prof. Nadezhda Evstatieva, PhD
Faculty 'Electrical Engineering, Electronics and Automation',
Department of Theoretical and Measuring Electrical Engineering,
University of Ruse 'Angel Kanchev', Bulgaria
E-mail: nevstatieva@uni-ruse.bg

Prof. Ivan Evstatiev, PhD
Faculty 'Electrical Engineering, Electronics and Automation',
Department of Electronics,
University of Ruse 'Angel Kanchev', Bulgaria
E-mail: ievstatiev@uni-ruse.bg

Моделиране на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлени системи

Доц. д-р Надежда Евстатиева
Факултет „Електротехника, електроника и автоматика",
катедра "Теоретична и измервателна електротехника"
Русенски университет „Ангел Кънчев", България
E-mail: nevstatieva@uni-ruse.bg

Проф. д-р Иван Евстатиев
Факултет „Електротехника, електроника и автоматика",
катедра "Електроника"
Русенски университет „Ангел Кънчев", България
E-mail: ievstatiev@uni-ruse.bg

Abstract: *Key features defining the energy efficiency of industrial systems are energy and mass flows. These are the energy coming from energy sources, ensuring operation of the system - electricity, gas, liquid fuels, water and others. Assessment of energy consumption per unit of output is formed by quantitative estimates of the mass flows, providing the raw material for the production process, flow of finished goods and waste. The relationship between energy and mass flows is complex and depends on many factors. In this paper, modelling the energy and mass flows in order to assess the energy efficiency of industrial systems has been suggested.*

Key words: *energy efficiency, modeling, industrial system.*

Резюме: *Основни характеристики, определящи енергийната ефективност на промишлени системи, са енергийните и масови потоци. Такива са енергията, постъпваща от енергийните източници, осигуряващи дейността на системата – електричество, газ, течни горива, вода и др. Оценката за разхода на енергия на единица продукция се формира от количествените оценки на масовите потоци, осигуряващи суровината за производствения процес, потоците от готова продукция и отпадъци. Важно за енергийната ефективност е да се оценят енергийните потоци от остатъчна топлина и тяхното използване за производствения процес. Връзката между енергийните и масови потоци е сложна и зависи от много фактори. В публикацията е предложено моделиране на енергийните и масови потоци с цел оценка на енергийната ефективност на промишлени системи.*

Ключови думи: *Енергийна ефективност, моделиране, промишлена система.*

JEL Classification: *C19*

I. Introduction

Implementing measures for energy efficiency in industrial systems is of particular importance for business. Energy efficiency improves the cost structure, provides better competitiveness for the production and sets an example for social responsibility to society. Energy efficiency is one of the main directives in the policy of the EU and the Republic of Bulgaria (Direktiva 2006/32/EO na Evropeiskiya parlament i na saveta, 2006), (Zakon za energiyna efektivnost, 2015), (Naredba № rd-16-346, 2009), (Natsionalen plan za deistvie za energiyna efektivnost 2014-2020, 2014).

Taking into account the importance of energy efficiency, a number of tasks, concerning energy consumption of industrial systems, related to assessment of the state of affairs and identifying of appropriate energy saving measures, whose implementation guarantees a considerable reduction of energy consumption.

The main characteristics related to measures for energy efficiency of industrial systems are as follows (Operativna programa "Inovatsii i konkurentnosposobnost" 2014-2020, 2015):

- annual energy consumption of the company for a year, selected as representative;
- corrected annual energy consumption of the company for a year, selected as representative;
- annual energy savings from the recommended package of measures;
- planned energy savings for the whole company as a result from the implementation of energy efficiency measures;
- the factor of energy savings.

These characteristics present information about the effect from the energy efficiency measures after their introduction. Each of the characteristics is presented as average annual value. They, however, do not provide information about the dynamics of change of energy and mass flows after the measures of energy efficiency in the company have been introduced. This dynamics is definitive for the effect of these

I. Въведение

От особена важност за бизнеса е внедряването на мерки за енергийна ефективност в промишлените системи. Чрез енергийната ефективност се подобрява структурата на разходите, осигурява се по-добра конкурентоспособност на произвежданата продукция и се дава пример за социална отговорност към обществото. Енергийната ефективност е основно направление в политиката на Европейски съюз и на Република България (Директива 2006/32/ЕО на Европейския парламент и на съвета, 2006), (Закон за енергийната ефективност, 2015), (Наредба № рд-16-346, 2009), (Национален план за действие за енергийна ефективност 2014-2020, 2014).

Отчитайки важността на енергийната ефективност, се предвиждат редица задачи по отношение на енергопотреблението на промишлените системи, свързани с оценка на състоянието и набелязване на подходящи енергоспестяващи мерки, чието внедряване гарантира значително намаляване на енергопотреблението.

Основни характеристики, свързани с мерки за енергийна ефективност на промишлена система са (Оперативна програма "Иновации и конкурентноспособност" 2014-2020, 2015):

- годишното потребление на енергия на предприятието за годината, избрана за представителна;
- коригираното годишно потребление на енергия на предприятието за годината, приета за представителна;
- годишните спестявания на енергия от препоръчания пакет мерки;
- планираните енергийни спестявания за цялото предприятие в резултат от изпълнението на мерки за енергийна ефективност;
- факторът на енергийните спестявания.

Тези характеристики представят информация за ефекта от мерките за енергийна ефективност, след въвеждането на мерките. Всяка от характеристиките се представя, като средна за годината стойност. Те обаче не дават информация за динамиката на изменението на енергийните и масови потоци след въвеждането на мерките за енергийна ефективност в предприятието, която е определяща при measures. The information is also important for the organisation of production in the company.

The information about the dynamics of change of energy and mass flows after the measures of energy efficiency in the company have been introduced can be obtained through their modelling.

For assessment of the dynamics of the effect from the measures for energy efficiency, it is necessary to take into account the dynamics of change of energy and mass flows, which are fundamental for the economic effect.

The model of studying factors for improving the competitive advantages of regional production clusters on the basis of improving the economic efficiency through implementing technological innovations is well-known (Antonova, 2008). A mathematical model for study of the production function of the industrial companies and increasing their efficiency through technological innovations transfer is also known (Antonova, 2009). These models are based on the economic characteristics of production, when assessing the impact of energy efficiency measures for the production system and do not present the dynamics of energy and mass flows of the industrial systems.

The analytical models find significant application for modelling energy and mass flows in industrial systems (Efremov, A., 2013), (Dorf, R. and R. Bishop, 2008), (Gajic, 2003). They present the development of processes in time through analytical equations. The energy and mass flows in industrial systems have more random character and their development in time depends not only on the technical parameters, but also on a number of economic factors, the dynamics of the finished products market dynamics, the price of the energy sources, etc. This makes the analytical models unsuitable for modelling of energy and mass flows in industrial systems.

When modelling the technological processes, the method of finite differences is applied (Velev, 1984), (Evstatiev, 2009). In this case time and space are divided into

отчитане на ефекта от тези мерки. Тази информация е важна и за организацията на производството в предприятието.

Информацията за динамиката на изменението на енергийните и масови потоци след въвеждането на мерките за енергийна ефективност може да се получи чрез тяхното моделиране.

За оценка на динамиката на ефекта от мерките за енергийна ефективност е необходимо отчитане на влиянието на динамиката на изменение на енергийните и масови потоци, които са основополагащи за икономическия ефект.

Известен е моделът за изследване на фактори за повишаване на конкурентните предимства на регионални производствени клъстери на базата на повишаване на икономическата ефективност чрез прилагане на технологични нововъведения (Antonova, 2008). Известен е също математически модел за изследване на производствената функция на индустриалните предприятия и повишаване на ефективността им чрез трансфер на технологични иновации (Antonova, 2009). Тези модели се базират на икономическите характеристики на производството, при оценка на ефекта от мерките за енергийна ефективност на производствена система и не представят динамиката на енергийните и масови потоци на промишлените системи.

За моделиране на енергийните и масови потоци в промишлени системи голямо приложение намират аналитичните модели (Ефремов, 2013), (Dorf and Bishop, 2008), (Gajic, 2003). Те представят чрез аналитични зависимости развитието на процесите във времето. Енергийните и масови потоци в промишлените системи имат повече случаен характер и тяхното развитие във времето зависи не само от техническите параметри, но и от редица икономически фактори, динамиката на пазара на готовата продукция, цената на енергийните ресурси и др. Това прави аналитичните модели неподходящи за моделиране на енергийните и масови потоци в промишлени системи.

При моделиране на технологични процеси приложение намира методът на крайните разлики (Велев, 1984), (Евстатиев, 2009). В този случай времето и пространството се разделят на безкрайно малки интервали и участъци, и се описinfinitely small intervals and divisions and the energy and mass flows between those intervals and divisions are described in each time temporary interval. This method is unsuitable for modelling of energy and mass flows in industrial systems due to the fact that the process of their change is random.

Taking into account the numerous factors that affect the energy and mass flows in the industrial system and their random nature, their representation seems very close to regression modelling (Chatterjee and Hadi, 2006), (Mitkov, 2016), (Nelles, 2001), (Garipov, 2004). The production factors depend on the organisation of the process, the experts, supporting production, the location of the object, the market, the prices of production and resources, etc.

The aim of the study is to model the dynamics of changing the energy and mass flows when assessing the energy efficiency of industrial systems, which leads to improvement of the company management and reduction of energy and financial costs of the production process.

II. Exposition

1. Justification of major approximations and equations used

A few basic approximations are adopted when modelling energy and mass flows in industrial systems with assessment of the energy efficiency of industrial systems. According to (Operativna programa "Inovatsii i konkurentnosposobnost" 2014-2020, 2015), when assessing the current state of energy costs, as well as that of mass flows of finished products, the information used for the energy flows and annual production is claimed to be representative. A number of factors have an impact on the development of energy and mass flows with assessment of the energy efficiency of industrial systems such as:

- market for finished products. For some productions there are periods of greater demand throughout the year, and vice versa, periods when demand is reduced. Thus, for food industry companies there is a

ват енергийните и масови потоци между безкрайно малките участъци във всеки временен интервал. Този метод не е подходящ за моделиране на енергийните и масови потоци в промишлени системи, поради това, че процесът на тяхното изменение има случаен характер.

Отчитайки многото фактори, влияещи на енергийните и масови потоци в промишлена система, и техния случаен характер, тяхното представяне е близко до регресионното моделиране (Chatterjee and Hadi, 2006), (Митков, 2016), (Nelles, 2001), (Гарипов, 2004). Факторите са производствени и зависят от организацията на процеса, от обслужващите производството специалисти, от местоположението на обекта, от пазара, цени на продукция и ресурси, и други.

Цел на изследването е да се моделира динамиката на изменение на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлени системи, което дава възможност да се усъвършенства управлението на предприятието и да се намалят енергийните и финансови разходи за производствения процес.

II. Изложение

1.Обосновка на основните приближения и използвани зависимости

При моделирането на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлени системи се приемат няколко основни приближения. Съгласно (Оперативна програма "Иновации и конкурентоспособност" 2014-2020, 2015), при оценката на текущото състояние на енергийните разходи, както и на масовите потоци на готовата продукция, се използва информация за енергийни потоци и готова продукция за годината, приета за представителна. На развитието във времето на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлени системи влияят редица фактори. Такива са:

- пазар за готовата продукция. За някои производства има периоди в годината, свързани с по-голямо търсене и съответно други периоди, при които търсенето е намалено. Така например, за предприятия от хранително вкусовата промишленост има голямо търсене на продукция в периоди-

great demand of production during the periods before big holidays. For other companies, it is the seasons that affect this trend. These are companies, whose production is related to products for heating and air-conditioning such as fireplaces, heaters, etc.;
- energy consumption, related to energy costs for air-conditioning of domestic and industrial premises. It is clear that during the cold periods of the year there are significant energy costs for heating, and during the hot summer days there are cooling costs;
- periods, related to the annual leave of personnel. Some companies give the leaves to all their employees at the same time of year, for example, July, August, December or January;
- national holidays. They also affect energy costs and production.

The specific features, determining the dynamics of annual change of energy and mass flows, allow the adoption of the approximation that the dynamics of the annual change of energy and mass flows for future years is analogous to the change in the year, chosen as representative for a certain production.

Information about the dynamics of change in the impact of measures for energy efficiency during the year is contained in the assessment of specific energy consumption. It represents the ratio between energy consumption and the production for specified periods of time. Presented as a function of time, the specific energy consumption shows the dynamics of change of the energy and mass flows in the industrial system.

It is assumed that the reduction of energy costs after implementing energy efficiency measures is calculated on the basis of the technical characteristics of the equipment and machinery suggested in the measures.

2. Methods of modelling energy and mass flows with assessment of the energy efficiency of industrial systems.

те преди големите празници. За други предприятия от значение са годишните сезони. Такива са предприятия, чието производство е свързано с продукция за отопление и климатизация, като камини, печки и др.;
- разход на енергия, свързан с разходи за климатизация на битови и производствени помещения. Ясно е, че през студените периоди на годината има значителни разходи за отопление, а по време на горещите летни дни има разходи за охлаждане;
- периоди, свързани с годишен отпуск на персонала. Практика за някои фирми е да се пускат всички работещи през определен период от годината, например юли, август, декември или януари;
- националните празници. Те също оказват влияние на разхода на енергия и производството на продукция.

Разгледаните особености, определящи динамиката на годишното изменение във времето на енергийните и масови потоци, позволяват да се приеме приближението, че динамиката на годишното изменение във времето на енергийните и масови потоци за следващи години е аналогично на изменението в годината, избрана за представителна за определено производство.

Информация за динамиката на изменение през годината на ефекта от мерките за енергийна ефективност се съдържа в оценката специфичен разход на енергия. Тя представляваща съотношение между разход на енергия и произведена продукция за определени периоди от време. Представен във функция от времето, специфичният разход на енергия показва динамиката на изменение на енергийните и масови потоци в промишлената система.

Приема се, че намаляването на енергийните разходи след внедряване на мерки за енергийна ефективност се изчислява на базата на техническите характеристики на предлаганите в мерките съоръжения, машини и др.

2.Методика на моделирането на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлена система.

The methods involve the following steps:

2.1. Breaking the representative year into equal time intervals. Usually, it is convenient to use the monthly reports for energy resources and production costs.

2.2. Determining the company's energy costs during the equal time intervals chosen – electricity, natural gas, liquid fuels, etc.

2.3. Align the energy costs to energy consumption in *kWh*.

2.4. Determining the company's production for the intervals chosen.

2.5. Determining the specific energy consumption for a unit of output for each interval of time with the equation

$$e_i = \frac{E_i}{n_i}, \text{ kWh/ produktion unit} \quad (1)$$

where E_i is energy consumption of all kinds, used by th e company, *kWh*;

n_i - quantity of products, *production unit.*

2.6. Determining the average annual specific energy consumption for a unit of output with the equation

$$e_{an}^{av} = \frac{E_{an}}{n_{an}}, \text{ kWh/ produktion unit} \quad (2)$$

where E_{an} is the annual energy consumption of all kinds, consumed by the company, *kWh*;

n_{an} - the annual quantity of finished products, *production unit*

2.7. Calculating the ratio between specific energy consumption per unit of output for each interval of time and the average annual value of the equation

$$\Delta e_i = \frac{e_i}{e_{an}^{av}} \quad (3)$$

2.8. Plotting of graphic expression of the specific energy consumption for the representative year.

2.9. A similar treatment (according to 2.1 ÷ 2.8) of the information from other years.

2.10. When there is information available for more than one year, mathematical expectation for each separate item will be

Методиката включва следните стъпки:

2.1. Разбиване на равни интервали от време периода на избраната за представителна година. Обикновено е удобно да се използват месечните отчети за разходи на енергийни ресурси и производство.

2.2. Определяне на енергийните разходи на предприятието през избраните равни интервали от време – ел. енергия, природен газ, течни горива и др.

2.3. Привеждане на енергийните разходи към консумация на енергия в *kWh*.

2.4. Определяне на производството на продукция на предприятието за избраните интервали от време.

2.5. Определяне на специфичния разход на енергия за единица продукция за всеки отделен интервал от време с израза

$$e_i = \frac{E_i}{n_i}, \text{ kWh.ед. пр.}^{-1} \quad (1)$$

където E_i е разходът на енергия от всички видове, консумиран от предприятието, *kWh*;

n_i - количеството произведена продукция, бр.

2.6. Определяне на средния годишен специфичен разход на енергия за единица продукция с израза

$$e_{год.}^{ср.} = \frac{E_{год.}}{n_{год.}}, \text{ kWh.ед. пр.}^{-1} \quad (2)$$

където $E_{год.}$ е годишният разход на енергия от всички видове, консумиран от предприятието, *kWh*;

$n_{год.}$ - количеството произведена продукция за годината, *ед. пр.*.

2.7. Изчисляване на отношението на специфичния разход на енергия за единица продукция за всеки отделен интервал от време към средната годишна стойност със зависимостта

$$\Delta e_i = \frac{e_i}{e_{год.}^{ср.}} \quad (3)$$

2.8. Построяване на графичната зависимост на специфичен разход на енергия за представителната година.

2.9. Аналогична обработка (съгласно т. 2.1 ÷ 2.8) и на информацията за други години.

2.10. При налична информация за повече от една година търсене на математичното очакване за всяка отделна точка за анализираните години с израза sought for the years under analysis with the equation

$$\Delta e_i^{math.\exp} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\frac{e_{i,j}}{e_{an}^{av}} \quad (4)$$

2.11. Calculating the new average annual specific energy consumption per unit of output, based on the specifications of the new equipment and machinery.

$$e_{av.an.}^{new} = \frac{E_{an}^{new}}{n_{an}^{new}}, \text{ kWh/ produktion unit} \quad (5)$$

After introducing the measures for energy efficiency, two variants are reviewed – without a change of productivity of the industrial system and with a change of productivity.

When there is no change of productivity of the industrial system, the energy consumption is reduced as a result of the measures. In this case, the "planned energy savings" (PES) for the whole company are calculated under the formula (Operativna programa "Inovatsii i konkurentosposobnost" 2014-2020, 2015)

$$PES = \frac{AS}{AC}100, \% \quad (6)$$

Where AS are the annual energy savings from the recommended package of measures, *kWh*;

AC - annual energy consumption of the company, *kWh*.

In this case, for known PES, the new value of annual energy consumption per unit of output is calculated using the equation

$$e_{av.an.}^{new1} = \frac{E_{an}^{new}}{n_{an}} = \frac{E_{an} - (E_{an}.PES)/100}{n_{an}},$$

kWh/ produktion unit (7)

In the second case, the productivity of the industrial system increases and so does the energy consumption. The new energy consumption is greater, but when it comes to a unit of output, it is smaller. The planned energy savings (PES) for the whole company are calculated under the formula (Operativna programa "Inovatsii i konkurentnosposobnost" 2014-2020, 2015)

$$\Delta e_i^{мат.оч.} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\frac{e_{i,j}}{e_{год.}^{ср.}} \quad (4)$$

2.11. Изчисляване на новия средногодишен специфичен разход на енергия за единица продукция, на базата на характеристиките на новото оборудване и машини.

$$e_{ср.год.}^{нов} = \frac{E_{год.}^{нов}}{n_{год}^{нов}}, \text{ kWh.ед. пр.}^{-1} \quad (5)$$

След въвеждането на мерките за енергийна ефективност се разглеждат два варианта – без промяна на производителността на промишлената система и с промяна на производителността.

Когато няма изменение на производителността на промишлената система, в резултат на мерките се намалява разходът на енергия. В този случай „планираните енергийни спестявания за цялото предприятие" (ПЕС) се изчисляват по формулата (Оперативна програма "Иновации и конкурентоспособност" 2014-2020, 2015)

$$ПЕС = \frac{ГС}{ГП}.100, \% \quad (6)$$

където $ГС$ са годишните спестявания на енергия от препоръчания пакет мерки, kWh;

$ГП$ - годишното потребление на енергия на предприятието, *kWh*.

В този случай, при известни ПЕС, новата стойност на средния годишен разход на енергия за единица продукция се изчислява с израза

$$e_{ср.год.}^{нов1} = \frac{E_{год.}^{нов}}{n_{год.}} = \frac{E_{год.} - (E_{год.}.ПЕС)/100}{n_{год.}},$$

kWh.ед. пр.$^{-1}$ (7)

Във втория случай се увеличава производителността на промишлената система и съответно разходът на енергия. Новият разход на енергия е по-голям, но за единица продукция той е по-малък. Планираните енергийни спестявания за цялото предприятие (ПЕС) се изчисляват съгласно зависимостта (Оперативна програма "Иновации и конкурентоспособност" 2014-2020, 2015)

$$PES = \frac{AS}{CAEC}100, \%\qquad(8)$$

Where $CAEC$ - corrected annual energy consumption, kWh.

$CAEC$ is the consumption, which the industrial system would have, in order to produce the increased quantity of products, without the introduction of measures.

When the measures for improving the energy efficiency lead to increase of productivity and we know the value of PES and the increase of productivity (*k* times), the annual average energy consumption per unit od output is calculated for the new productivity and the corrected energy consumption. The equation is

$$e_{av.an.}^{new2} = \frac{E_{an}^{new}}{k.n_{an}} = \frac{CAEC - (CAEC.PES)/100}{k.n_{an}}, \%\qquad(9)$$

Where $CAEC = k.E_{an}$;

k - the increase of productivity of the industrial system.

$k.n_{an}$ - annual productivity after the introduction of measures, *produktion unit*.

2.11. Calculating the new specific energy consumption for the intervals under study using the formula

$$e_i^{new} = \Delta e_i . e_{av.an.}^{new}, \textit{ kWh/ produktion unit}\qquad(10)$$

2.12. Constructing the dynamics in the time of the graphic equation of the specific energy consumption per unit of output and the graphic equation of the specific energy consumption modelled.

3. Modelling the energy and mass flows with assessment of the energy efficiency of one industrial system in the Republic of Bulgaria, related to woodworking industry

The output data are shown in Table 1, where according to the methods, the division by months of the representative year is adopted (i.2.1 of the methods).

According to i.2.1 ÷ 2.5 of the methods for modelling applied, the energy consumption is represented in Table 1 (electrical – bar 2; diesel – bars 3 and 4; natural gas

$$ПЕС = \frac{ГС}{КГП}.100, \%\qquad(8)$$

където $КГП$ - коригираното годишното потребление на енергия, *kWh*.

$КГП$ е това потребление на енергия, което би изразходвала промишлената система, за да се произведе увеличеното количество продукция, без да са въведени мерките.

Когато мерките за подобряване на енергийната ефективност водят до повишаване на производителността, известни са ПЕС и повишаването на производителността (с *k* пъти), средният годишен разход на енергия за единица продукция се изчислява при новата производителност и коригираното енергийно потребление. Изразът е

$$e_{ср.год.}^{нов2} = \frac{E_{год.}^{нов}}{k.n_{год.}} = \frac{КГП - (КГП.ПЕС)/100}{k.n_{год.}}, \%\qquad(9)$$

където $КГП = k.E_{год.}$;

k - увеличението на производителността на промишлената система.

$k.n_{год}$ - годишна производителност след въвеждане на мерките, *ед. пр.$^{-1}$*.

2.11. Изчисляване на новите специфични разходи на енергия за разглежданите интервали по формулата

$$e_i^{нов} = \Delta e_i . e_{ср.год.}^{нов}, \textit{ kWh.ед. пр.}^{-1}\qquad(10)$$

2.12. Построяване на динамиката във времето на графичната зависимост на специфичния разход на енергия за единица продукция и на графична зависимост на моделирания специфичен разход на енергия.

3. Моделиране на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на една промишлена система в Република България, свързана с дървообработващата промишленост

Изходните данни са представени в табл.1, където съгласно методиката се приема разбиването по месеци на представителната година (т. 2.1 от методиката).

Съгласно т.2.1 ÷ 2.5 от предложената методика за моделиране, в табл.1 са представени енергийните разходи (ел. енергия – стълб 2; дизелово гориво – стълб 3 и 4; природен газ – стълб 5 и 6; общ разход на енергия – стълб 7) и произведена-

– bars 5 and 6; total energy consumption – bar 7) and the finished products (bar 8). After introducing the measures for energy efficiency, the productivity of the industrial system has increased *k*=2,8 times and the planned energy savings for the whole company are PES = 40, %.

To determine the energy equivalent of the diesel in *kWh* (bar 4) its density at 20ºC has been used, which is 840 $kg.m^{-3}$ (Stamov, 1990) and the transformation coefficient, which is 11,75 $kWh.kg^{-1}$ (Naredba za metodikite za opredelyane na natsionalnite indikativni tseli, 2011).

To determine the energy equivalent of natural gas in *kWh* (bar 6) its density at 20ºC has been used, which is 0,69578 $kg.Nm^{-3}$ (http://www.teceko.com/priroden-gaz) and the transformation coefficient, which is 13,10 $kWh.kg^{-1}$ (Naredba za metodikite za opredelyane na natsionalnite indikativni tseli, 2011).

та продукция (стълб 8). След въвеждането на мерките за енергийна ефективност, производителността на промишлената система се увеличава *k*=2,8 пъти и планираните енергийни спестявания за цялото предприятие са $ПЕС$ =40, %.

За определяне на енергийния еквивалент на дизеловото гориво в *kWh* (стълб 4) се използва неговата плътност при 20ºC, която е 840 $kg.m^{-3}$ (Стамов, 1990) и коефициентът на превръщане, който е 11,75 $kWh.kg^{-1}$ (Наредба за методиките за определяне на националните индикативни цели, 2011).

За определяне на енергийния еквивалент на природния газ в *kWh* (стълб 6) се използва неговата плътност при 20ºC, която е 0,69578 $kg.Nm^{-3}$ (http://www.teceko.com/priroden-gaz) и коефициентът на превръщане, който е 13,10 $kWh.kg^{-1}$ (Наредба за методиките за определяне на националните индикативни цели, 2011).

Table 1. Energy consumption and finished products for the representative year

Таблица 1. Енергийните разходи и произведената продукция за представителната година

Periods of the year Периоди от годината	Electric Energy Consumption Разход на ел. енергия	Diesel energy consumption Разход на дизелово гориво		Natural gas energy consumption Разход на природен газ		Total energy consumption Общ разход на енергия	Finished products Произведена продукция
						E_i	n_i
	kWh	m^{-3}	*kWh*	*thousands хил. N.* m^{-3}	*kWh*	*kWh*	*number / брой*
1	2	3	4	5	6	7	8
January Януари	38950	3,959	39075	2,423	22085	100110	11501
February Февруари	39095	3,909	38582	1,626	14821	92498	11501
March Март	34489	3,949	38977	1,57	14310	87776	11501
April Април	49991	4,340	42836	1,359	12387	105214	11666
May Май	37907	4,230	41750	0,527	4803	84460	11666
Juny Юни	31294	4,390	43329	0,363	3309	77932	11666
July Юли	37462	4,996	49311	0,205	1869	88642	10856
August Август	35774	4,896	48324	0,513	4676	88774	10856
September Септември	28617	4,886	48225	0,3	2734	79576	10856
October Октомври	27614	4,769	47070	0,323	2944	77628	10814

November Ноември	38993	4,704	46428	0,588	5359	90780	10814
December Декември	39461	4,714	46528	0,785	7155	93144	10814
Тотал Общо	**439647**	**53,742**	**530435**	**10,582**	**96452**	**1066534**	**134511**

In Table 2. The results from the calculation, according to the methods of modelling are presented.

The specific energy consumption for a unit of output (bar 2) is calculated according to equation (1).

The average annual specific energy consumption for a unit of output for the representative year (i.2.6 of the methods) has been calculated according to (2) and is written down in Table 2 bar 3, row „Average" (at the bottom).

В табл.2 са представени резултатите от разчета съгласно методиката за моделиране.

Специфичният разход на енергия за единица продукция (стълб 2) е изчислен съгласно зависимост (1).

Средният годишен специфичен разход на енергия за единица продукция за представителната година (т.2.6 от методиката) е пресметнат съгласно (2) и е записан в табл.2 стълб 3, ред „Среден" (най-отдолу).

Table 2. Calculations of modelling the energy and mass flows with assessment of the energy efficiency of one industrial system

Таблица 2. Разчети от моделиране на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлена система

Periods of the year **Периоди от годината**	**Specific energy consumption** **Специфичен разход на енергия** e_i *kWh/number of products* *kWh/брой продукция*	**Deviation from the specific energy consumption from the average annual value** **Отклонение на специфичния разход на енергия от средната годишна стойност**	**Specific energy consumption after introducing the measures** **Специфичен разход на енергия след въвеждане на мерките** e_i *kWh/number of products* *kWh/брой продукция*
1	2	3	4
January / Януари	8,7045	1,098	5,224
February / Февруари	8,0426	1,014	4,824
March / Март	7,6320	0,963	4,581
April / Април	9,0189	1,137	5,409
May / Май	7,2398	0,913	4,344
June / Юни	6,6803	0,843	4,010
July / Юли	8,1653	1,03	4,900
August / Август	8,1774	1,031	4,905
September / Септември	7,3301	0,924	4,396
October / Октомври	7,1785	0,905	4,305
November/ Ноември	8,3947	1,059	5,038
December / Декември	8,6133	1,086	5,167
Average / Среден	e_{an}^{av} **= 7,9290 =** $e_{год.}^{ср.}$	**-**	$e_{av.an}^{new}$ **= 4,7574 =** $e_{ср.год.}^{нов}$

Calculating the deviation from the specific energy consumption for a unit of output for each interval of time of the average annual value for the representative year (i.2.7 of the methods) is according to (3) and the result is written down in bar 3.

Calculating the new average annual specific energy consumption for a unit of output on the basis of the new equipment and machines (i.2.10 of the methods) is according to equations (6 and 8) and the result is written down in bar 4, row „Average".

The new specific values of energy consumption for the intervals under study have been calculated using formula (10) and the result is written down in bar 4.

The graph lines of the specific energy consumption results for the representative year and those modelled after introducing the measures, as well as the average specific energy consumption values for the respective years are presented on Fig.1.

Изчисляването на отклонението на специфичния разход на енергия за единица продукция за всеки отделен интервал от време от средната годишна стойност на представителната година (т.2.7 от методиката) е съгласно (3) и резултатът е записан в стълб 3.

Изчисляването на новия средногодишен специфичен разход на енергия за единица продукция, на базата на характеристиките на новото оборудване и машини (т.2.10 от методиката) е съгласно зависимости (6 или 8) и резултатът е записан в стълб 4, ред „Среден".

Новите специфични разходи на енергия за разглежданите интервали се изчисляват по формула (10) и резултатът е записан в стълб 4.

Графичните зависимости от получените резултати на специфичните разходи на енергия за представителната година и моделираните след въвеждане на мерките на специфичните разходи на енергия, както и средните за съответните години специфични разходи на енергия са представени на фиг.1.

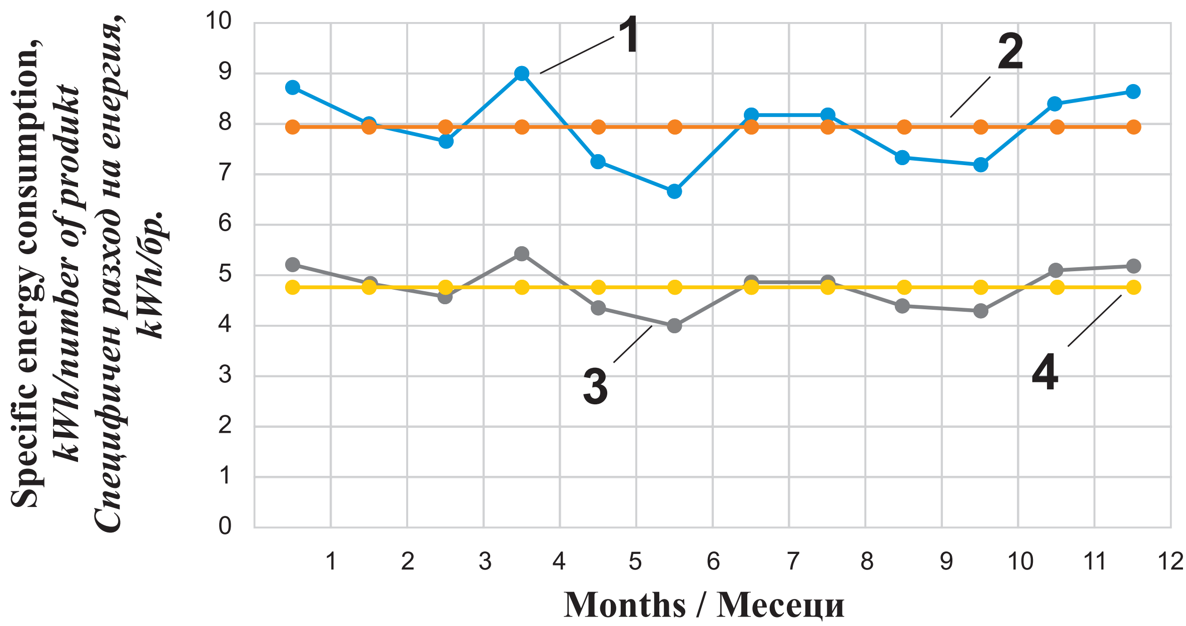

Figure 1. Graphic presentation of:

1 – dynamics of change of the specific energy consumption results for the representative year; **2** - average specific energy consumption for the representative year; **3** – the modelled specific energy consumption after implementation of the measures; **4** - average specific energy consumption after implementation of the measures.

Фигура 1. Графично изображение на:

1 - динамиката на изменението на специфичните разходи на енергия за представителната година; **2** - среден специфичен разход на енергия за представителната година; **3** - моделираните специфични разходи на енергия след въвеждане на мерките; **4** - среден специфичен разход на енергия след въвеждане на мерките.

4. Analysis of the results obtained

From the graphic representation obtained of the example for modelling of energy and mass flows in an industrial system, after implementing energy efficiency measures, it follows that as a result of these measures, the average annual energy consumption for a unit of output has decreased by 40%.

From the modelled specific energy consumption it can be assumed that the lowest values of this consumption can be obtained for the months of May, June, September and October. This can be explained with the decreased consumption for air conditioning of domestic and industrial premises, costs of heating dryers, etc.

It can be seen from the same graph that the biggest specific energy consumption can be calculated for the months of November, December, January and April. This can be explained with the increased energy costs for heating the premises.

For the summer months, July and August, there is a slight increase of the specific energy consumption. This can be explained with the increased energy consumption for air conditioning of the premises. Another reason can be the increase of waste due to uncomfortable conditions at the work place, created by the high daily temperatures.

Taking into account the decreased specific energy consumption for the months of May, June September and October, it is appropriate to increase the production for these periods when there are industrial and technological capabilities for this.

III. Conclusion

The main characteristics, assessing the effect from the energy efficiency measures of the industrial system are the annual energy consumption of the company for the selected representative year, the corrected annual energy consumption, the annual energy savings due to the measures recommended, the planned energy savings and the factor of energy saving. Taking into consideration these characteristics, which provide average annual assess-

4. Анализ на получения резултат

От получената графична зависимост на разгледания пример за моделиране на енергийните и масови потоци в промишлена система, след прилагане на мерки за енергийна ефективност, следва, че в резултат на мерките средният годишен разход на енергия за единица продукция е намалял с 40%.

От моделирания специфичен разход на енергия може да се направи изводът, че най-малки специфични разходи на енергия може да се получат за месеците май, юни, септември и октомври. Това се обяснява с намалените разходи за климатизация на битови и производствени помещения, разходи за нагряване на сушилни и др.

От същата графика се вижда, че най-големи специфични разходи на енергия може да се получат за месеците ноември, декември, януари и април. Това се обяснява с повишаването на енергийните разходи за отопление на помещенията.

За летните месеци юли и август също се наблюдава леко увеличение на специфичния разход на енергия. Това може да се обясни с увеличаване на енергията за климатизация на помещенията. Друга причина може да бъде повишаването на брака в резултат на некомфортни условия на работните места, дължащи се на високата дневна температура.

Отчитайки намаления специфичен разход на енергия за месеците май, юни, септември и октомври, е подходящо да се увеличи производството на продукция за тези периоди, при наличие на производствени и технологични възможности.

III. Заключение

Основни характеристики, оценяващи ефекта от мерките за енергийна ефективност на промишлена система са годишното потребление на енергия на предприятието за избраната представителна година, коригираното годишно потребление на енергия, годишните спестявания на енергия от препоръчания пакет мерки, планираните енергийни спестявания и факторът на енергийните спестявания. Отчитайки тези характеристики, даващи средногодишни оценки от ефекта на мерките, е обосновано използванеment of the effect of measures, the use of another characteristic has been justified – the dynamics of change in the specific energy consumption, obtained after introducing energy efficiency measures. This characteristic provides information about the energy and mass flows in the industrial system after introducing the energy efficiency measures.

The analysis of the dynamics of change in the specific energy consumption, obtained after introducing energy efficiency measures is a prerequisite for obtaining additional effect from the measures. Using this characteristic, it is possible to correct the intensity of production in periods of the year, when the specific energy consumption is smaller, which leads to additional economic effects.

The requirements and the main characteristics, related to measures of energy efficiency of the industrial system, according to the operative programme "Innovations and competitiveness" for energy audit.

The use of the specific energy consumption, as a function of time, for presenting the dynamics of change in the energy and mass flows in an industrial system, has been justified.

Methods for modelling the energy and mass flows in assessment of energy efficiency of the industrial system through the dynamics of change of the specific energy consumption have been developed.

The energy and mass flows in assessment of energy efficiency of one industrial system, in the field of woodworking industry in the Republic of Bulgaria have been modelled according to the methods developed.

The result from the modelling has been analysed. The reasons for obtaining bigger or, respectively, smaller specific energy consumption by months have been analysed as well. The results obtained from the modelling of energy and mass flows are a prerequisite for fulfilling measures, increasing the energy efficiency of the industrial system, which leads to enhancing the economic efficiency of the company.

то на друга характеристика - динамиката на изменение на специфичния разход на енергия, получаван след въвеждане на мерки за енергийна ефективност. Тази характеристика носи информация за енергийните и масови потоци в промишлената система след въвеждане на мерки за енергийна ефективност.

Анализът на динамиката на изменение на специфичния разход на енергия, получаван след въвеждане на мерки за енергийна ефективност, се явява предпоставка за получаване на допълнителен ефект от мерките. Използвайки тази характеристика, е възможно коригиране на интензивността на произвеждане на продукция в периоди от годината, когато специфичният разход на енергия е по-малък, което води до допълнителни икономически ефекти.

Анализирани са изискванията и основните характеристики, свързани с мерки за енергийна ефективност на промишлена система, съгласно оперативна програма "Иновации и конкурентноспособност" за енергиен одит.

Обосновано е използването за представяне на динамиката на изменение на енергийните и масови потоци в промишлена система на характеристиката специфичен разход на енергия във функция от времето.

Разработена е методика на моделирането на енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на промишлена система, чрез динамиката на изменение на специфичния разход на енергия.

Моделирани са, съгласно разработената методика, енергийните и масови потоци при оценка на енергийната ефективност на една промишлена система в Република България, свързана с дървообработващата промишленост.

Извършен е анализ на резултата от моделирането. Анализирани са причините за по-голям и съответно по-малък специфичен разход на енергия по месеци. Получаваните при моделирането на енергийните и масови потоци резултати са предпоставка за изпълнение на мерки, повишаващи енергийната ефективност на промишлената система, което води до повишаване на икономическата ефективност на предприятието.

Reference/Литература

Direktiva 2006/32/EO na Evropeiskiya parlament i na saveta (2006), (in Bulgarian) http://www.seea.government.bg/documents/EE_Kraino_Potreblenie.doc .

Zakon za energiyna efektivnost (2015), (in Bulgarian) http://www.seea.government.bg/documents/ZEE.doc .

Naredba № rd-16-346, (2009), (in Bulgarian). http://www.seea.government.bg/documents/Obsledvane_PS_final_Prilojeniya.pdf .

Natsionalen plan za deistvie za energiyna efektivnost 2014-2020, (2014), (in Bulgarian), https://www.me.government.bg/files/useruploads/files/neeap_bg-03.07.2014_new-me.pdf

Operativna programa "Inovatsii i konkurentnosposobnost" 2014-2020 (2015), (in Bulgarian). http://www.opcompetitiveness.bg/images/module3/1939_OPIC_2014-2020_adopted_by_EC_16.03.2015.pdf

Antonova, D. (2008). Development of Competitive Advantage by Formation of Regional Knowledge Clusters,.// Analle Universitati "E.Murgu", Studii Economice, Fascicola II,, 2008, No N. II,Anul X, pp. 97-111, ISSN 1584-0972.

Antonova, D. (2009). Significance of Knowledge Production Function for Industrial Clustering,.// Journal of Entrepreneurship and Innovation,, 2009, No Vol.1, N°1, ISSN 1314-0167.

Efremov, A. (2013). Identifikaciya na mnogomerni sistemi (in Bulgarian), DAR-RH, ISBN 978-954-9489-34-7

Dorf, R. and R. Bishop, (2008) Modern Control Systems. Pearson Education, Inc., Prentice Hall

Gajic, Z., (2003) Linear Dynamic Systems and Signals. Prentice Hall.

Velev D., (1984) Tehnicheska termodinamika i toploobmen (in Bulgarian). 288 pages., Tehnika, Sofia.

Evstatiev, I., (2009). Prilozhenie na modeliraneto v elektronnite sistemi za upravlenie na protsesite v selskoto stopanstvo (in Bulgarian). EE&AE'2009-International Scientific Conference – 01-03.10.2009, Rousse, Bulgaria, Proceedings, 2009, pp. 754-758.

Chatterjee, S. and A. S. Hadi, (2006) Regression Analysis by Example. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Mitkov A., (2016) Teoriya na eksperimenta (in Bulgarian). Ruse, Dunav pres AD, ISBN 978-954-712-474-5.

Nelles, O., (2001) Nonlinear System Identification. From Classical Approaches to Neural Networks and Fuzzy Models. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-08674-8.

Garipov, E., (2004) Chast II. Identifikaciya chrez diskretni stohastichni regressionni modeli (in Bulgarian). TU - Sofia, ISBN 954-438-392-1.

Stamov S., (1990). Spravochnik po otoplenie, ventilatsia I klimatizatsia (in Bulgarian). Chast 1. Tehnika. Sofia. 1990. 311pages.

Naredba za metodikite za opredelyane na natsionalnite indikativni tseli, (2011) (in Bulgarian). http://www.seea.government.bg/documents/Metodiki_10_04_2009.pdf; http://www.teceko.com/priroden-gaz.

For contacts:

Nadezhda Evstatieva, Assoc. Professor, PhD, University of Ruse, Bulgaria, e-mail: nevstatieva@uni-ruse.bg

Ivan Evstatiev, Professor, PhD, University of Ruse, Bulgaria, e-mail: ievstatiev@uni-ruse.bg