

Добыча полезных ископаемых

DOI: 10.34828/UdSU.2024.62.24.010

УДК 621.311

С.А. Хорьков, В.В. Зиновьев, А.И. Попов

РАЗРАБОТКА НОРМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. В статье показана разработка цеховых норм электропотребления промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции. При разработке норм учитывают технологическое и вспомогательное электропотребление, а также потери электрической энергии в цеховой сети. Разработка норм опирается на базу данных в виде электронных таблиц MS Excel. База данных включает файл со списком электрооборудования и мощностями машин, файл со списком продукции и времени исполнения технологических операций для ее изготовления, файл со списком количества производимой продукции. Для расчета норм написана программа на языке Python. Программное средство позволяет учитывать особенности производства каждой номенклатуры продукции. Это способствует более точному расчёту электропотребления цеха. Программа для расчетов норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации электрической энергии и снижения её затрат на производство продукции. Указанный итог обеспечивает повышение энергоэффективности производства.

Ключевые слова: нормы электропотребления, номенклатура продукции, база данных, программа для расчёта норм электропотребления.

Для цитирования: Хорьков С.А., Зиновьев В.В., Попов А.И. Разработка норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия // Управление техносферой: электрон. журнал, 2024. Т.7. Вып.3. URL:<https://technosphere-ing.ru> С. 498–509.

DOI: 10.34828/UdSU.2024.62.24.010.

Эффективное управление электропотреблением в цехах промышленных предприятий является важным аспектом для повышения производительности и снижения затрат на энергию. Для достижения этих целей производят

разработку норм электропотребления с использованием расчетно-экспериментального подхода [1,2].

Норма электропотребления — усредненная расчетная величина, обычно директивно устанавливаемая для прогноза и анализа электропотребления, а также для стимулирования энергосбережения [3]. Разработка норм электропотребления цеха должна быть ориентирована на существующую систему учета выпуска продукции и электропотребления, а нормы электропотребления должны иметь возможность экспериментальной проверки.

Расчетно-экспериментальным методом целесообразно разрабатывать нормы потребления электроэнергии по всей номенклатуре, выпускаемой цехом продукции с учетом того, на каком агрегате производится изделие, т.е. привязывать нормы электропотребления через номенклатуру к агрегату. Такая технологическая норма электропотребления имеет возможность проверки [4].

Кроме технологического нормирования следует нормировать электропотребление вспомогательного оборудования и потери электроэнергии в цеховых трансформаторах и линиях электропередачи.

Вспомогательное оборудование имеет значительную долю в общем электропотреблении, нормы его электропотребления должны рассчитывать для каждого вида оборудования [4].

Потери электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередачи нельзя сопоставить с общим технологическим и вспомогательным электропотреблением. Они значительно меньше их. Однако некоторые виды норм технологического и вспомогательного электропотребления соизмеримы с ним. Поэтому расчет этих потерь является целесообразным [4].

Расчет потребления энергии на единицу изделия j -ого вида i -ой операцией производят по формуле:

$$w_{yji} = k_{3ji} \cdot P_{ji} \cdot t_{ji}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/т} \quad (1)$$

где k_{3ji} – коэффициент загрузки по мощности агрегата при выполнении i -ой операции изделия j -ого вида; он должен проверяться экспериментально и при необходимости уточняться;

P_{ji} – мощность агрегата при выполнении i -ой операции изделия j -ого вида, кВт;

t_{ji} – время выполнения i -ой операции изделия j -ого вида, ч/т.

Расчет потребления энергии на единицу изделия j -ого вида производят по формуле (удельный расход энергии на изделие j -ого вида):

$$w_{yj} = \sum_1^n w_{yji}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/т} \quad (2)$$

где n – количество технологических операций при выпуске единицы определенного вида продукции.

Расчет потребления энергии на G_j изделий j -ого вида производят по формуле (абсолютный расход энергии на изделие j -ого вида):

$$W_{aj} = w_{yj} \cdot G_j, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (3)$$

где G_j – количество изделий j -ого вида, т;

Расчет потребления энергии на выпуск всей номенклатуры продукции производят по формуле:

$$W_a = \sum_1^k W_{aj}, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (4)$$

где k – количество единиц номенклатуры продукции.

Расчет месячного потребления энергии некоторого агрегата, выполняющего вспомогательные функции, производят по формуле:

$$W_{ei} = k_{3i} \cdot P_i \cdot t_i, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (5)$$

где k_{3i} – коэффициент загрузки по мощности i -го агрегата;

P_i – мощность i -го агрегата, кВт;

t_i – время выполнения работы i -ым агрегатом, ч.

Расчет месячного потребления энергии вспомогательным оборудованием производят по формуле:

$$W_{\epsilon} = \sum_1^m W_{\epsilon i}, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (6)$$

где m - количество единиц вспомогательного оборудования

Расчет потерь в трансформаторах производят по формуле:

$$\Delta W_T = \Delta P_x * 8760 + \Delta P_k * \left(\frac{S_{\max}}{S_{\text{THOM}}}\right)^2 * \tau \quad (7)$$

где: ΔP_x – потери активной мощности холостого хода, кВт;

ΔP_k – потери активной мощности короткого замыкания, кВт;

S_{\max} – полная максимальная мощность нагрузки, кВА

S_{THOM} – номинальная мощность трансформатора, кВА

τ – время максимальных потерь, ч

Расчет потерь в фидерах (питающих линиях): производят по формуле:

$$\Delta W_{\lambda} = \frac{S_{\max}^2}{U_{\text{НОМ}}} * r * l * \tau_{\max} \quad (8)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение, В;

r – удельное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина линии, км.

Расчет норм электропотребления по номенклатуре продукции значительно облегчается при создании программного средства, так как номенклатура продукции может включать значительное количество типов и расчет электропотребления вручную занимает много времени. Программное средство позволит автоматизировать процесс расчета (и коррекции) удельных

норм электропотребления по номенклатуре продукции. Результаты расчетов можно будет формировать в виде таблиц и графиков удельного и абсолютного потребления [4].

Одним из вариантов расчета нормативного электропотребления технологического оборудования с помощью программного продукта, является создания программы на языке программирования Python [6]. Этот язык прост в обращении и позволяет работать с табличными базами данных, в частности таблицами MS Excel. Составными частями базы данных является годовая (полная) номенклатура продукции, технологические операции, сгруппированные по видам номенклатуры продукции и машины, реализующие эти операции

Для работы Python с базами данных (реализованными в виде таблиц MS Excel), их необходимо преобразовать в формат CSV. CSV (Comma-Separated Values) — текстовый формат для представления табличных данных. Перевод файлов в формат CSV позволяет упростить обработку и анализ данных при создании кода на Python.

Нами создана программа для расчетов норм потребления электроэнергии цехом промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции. Программа имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024 [7].

Разработка и запуск программы включает следующие этапы:

1. Формируют базы данных в виде таблиц Microsoft Excel и преобразуют их в формат CSV:

- Таблица с номенклатурой продукции (prod.csv), которая включает в себя:

название продукции; номер отделения; машины для производства этой продукции с данными о номере станка, о коэффициенте загрузки и времени производства

- Таблица с машинами (machines.csv), которая включает в себя:

название машины; мощность машины.

- Таблица с количеством продукции (quantity.csv), которая включает в себя:

название продукции; количество продукции.

2. Создают виртуальное окружение (делается при создании проекта):

Для создания необходимо в командной строке ввести « python -m venv env ».

3. Создают проект (рис.1.).

```
import csv

productsFilename = "prod.csv"
machinesFilename = "machines.csv"
quantityFilename = "quantity.csv"
machinesArray = []
productsArray = []
productsQuantityArray = []

with open (machinesFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        machineID = row[0]
        machineName = row[1]
        machinePower = row[2]
        machinesArray.append([machineID, machineName, machinePower])
        #print(machineID, machineName, machinePower)

#print(machinesArray[0][0])

with open (productsFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        productID = row[0]
        productName = row[1]
        productLogic = row[2]
        #print(productID, productName, productLogic)
        operations = []
        for i in range(3,54):
            if row[i] != "":
                #print(row[i])
                operations.append(row[i].split('\'))
        #print(operations)
        productsArray.append([productID, productName, productLogic, operations])
```

```
#print(productsArray[1][3][0][2])
# 0 - продукт
# 1 - свойство (ID, Name, Logic, Operations)
# 2 - Массив операций
# 3 - Свойство операции

with open (quantityFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        productID = row[0]
        quantity = row[1]
        productsQuantityArray.append([productID, quantity])

#print(productsQuantityArray[0])

for product in productsArray:
    productID = product[0]
    productName = product[1]
    productLogic = product[2]
    energy = 0
    if productLogic == "0":
        for operation in product[3]:
            energy += float(operation[1]) * float(operation[2]) *
float(machinesArray[int(operation[0])-1][2])
            total_energy = energy
            total_energy1 = energy * int(productsQuantityArray[int(productID)-1][1])
            # Округляем результат до двух знаков после запятой
            rounded_energy = round(total_energy, 2)
            rounded_energy1 = round(total_energy1, 2)
            print(productName, ';', rounded_energy, ';', rounded_energy1 )
```

Рис. 1. Листинг проекта main.py

4. Запускают программу main.py:

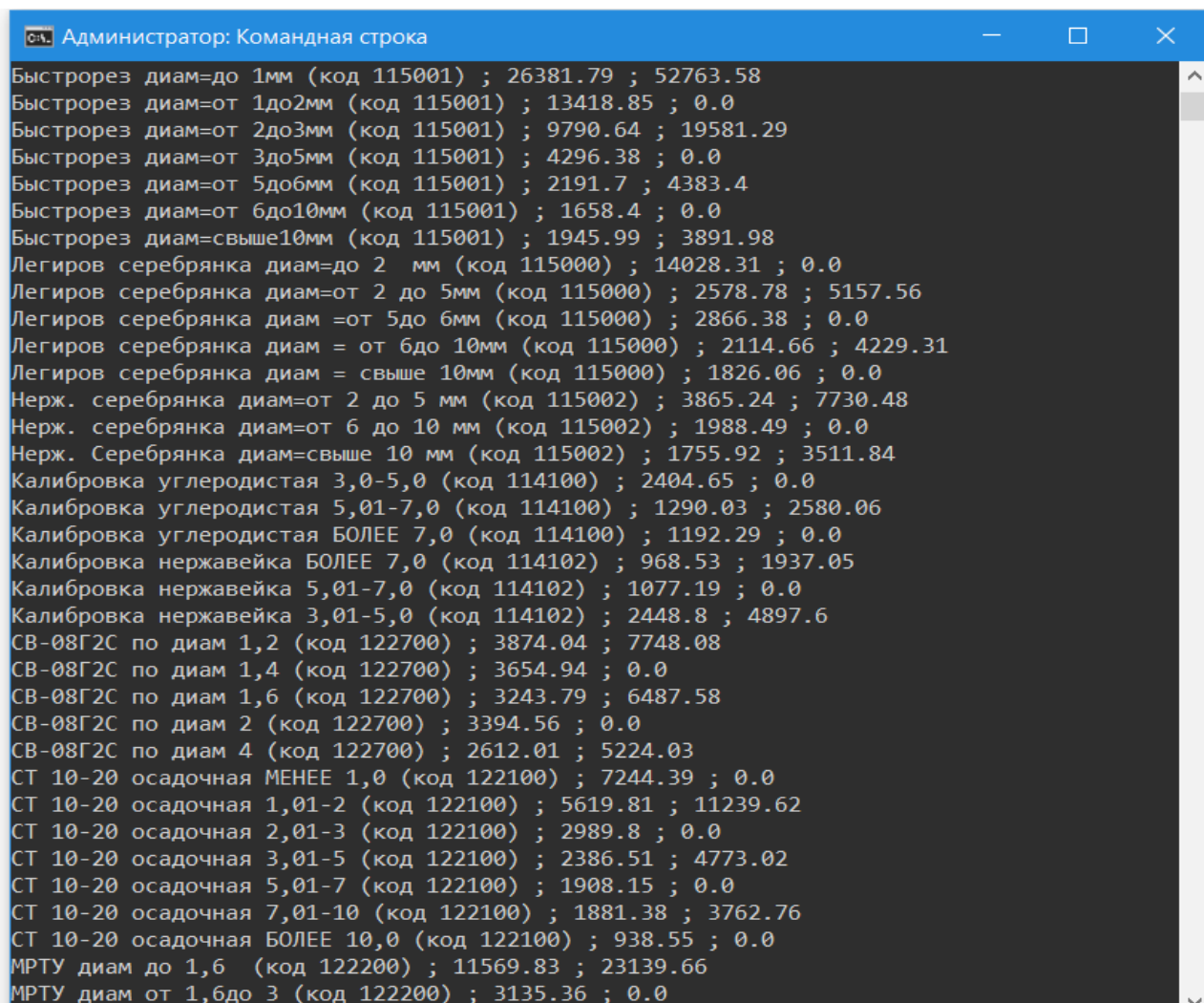
4.1. Открыть командную строку.

```
C:\Users\User>
```

4.2. В командной строке перейти в папку с проектом (с помощью команды

```
cd "c:\projects\prod"):
```

```
C:\Users\User> cd "c:\projects\prod"
```



```
Администратор: Командная строка
Быстрорез диам=до 1мм (код 115001) ; 26381.79 ; 52763.58
Быстрорез диам=от 1до2мм (код 115001) ; 13418.85 ; 0.0
Быстрорез диам=от 2до3мм (код 115001) ; 9790.64 ; 19581.29
Быстрорез диам=от 3до5мм (код 115001) ; 4296.38 ; 0.0
Быстрорез диам=от 5до6мм (код 115001) ; 2191.7 ; 4383.4
Быстрорез диам=от 6до10мм (код 115001) ; 1658.4 ; 0.0
Быстрорез диам=свыше10мм (код 115001) ; 1945.99 ; 3891.98
Легиров серебрянка диам=до 2 мм (код 115000) ; 14028.31 ; 0.0
Легиров серебрянка диам=от 2 до 5мм (код 115000) ; 2578.78 ; 5157.56
Легиров серебрянка диам =от 5до 6мм (код 115000) ; 2866.38 ; 0.0
Легиров серебрянка диам = от 6до 10мм (код 115000) ; 2114.66 ; 4229.31
Легиров серебрянка диам = свыше 10мм (код 115000) ; 1826.06 ; 0.0
Нерж. серебрянка диам=от 2 до 5 мм (код 115002) ; 3865.24 ; 7730.48
Нерж. серебрянка диам=от 6 до 10 мм (код 115002) ; 1988.49 ; 0.0
Нерж. Серебрянка диам=свыше 10 мм (код 115002) ; 1755.92 ; 3511.84
Калибровка углеродистая 3,0-5,0 (код 114100) ; 2404.65 ; 0.0
Калибровка углеродистая 5,01-7,0 (код 114100) ; 1290.03 ; 2580.06
Калибровка углеродистая БОЛЕЕ 7,0 (код 114100) ; 1192.29 ; 0.0
Калибровка нержавеющей БОЛЕЕ 7,0 (код 114102) ; 968.53 ; 1937.05
Калибровка нержавеющей 5,01-7,0 (код 114102) ; 1077.19 ; 0.0
Калибровка нержавеющей 3,01-5,0 (код 114102) ; 2448.8 ; 4897.6
СВ-08Г2С по диам 1,2 (код 122700) ; 3874.04 ; 7748.08
СВ-08Г2С по диам 1,4 (код 122700) ; 3654.94 ; 0.0
СВ-08Г2С по диам 1,6 (код 122700) ; 3243.79 ; 6487.58
СВ-08Г2С по диам 2 (код 122700) ; 3394.56 ; 0.0
СВ-08Г2С по диам 4 (код 122700) ; 2612.01 ; 5224.03
СТ 10-20 осадочная МЕНЕЕ 1,0 (код 122100) ; 7244.39 ; 0.0
СТ 10-20 осадочная 1,01-2 (код 122100) ; 5619.81 ; 11239.62
СТ 10-20 осадочная 2,01-3 (код 122100) ; 2989.8 ; 0.0
СТ 10-20 осадочная 3,01-5 (код 122100) ; 2386.51 ; 4773.02
СТ 10-20 осадочная 5,01-7 (код 122100) ; 1908.15 ; 0.0
СТ 10-20 осадочная 7,01-10 (код 122100) ; 1881.38 ; 3762.76
СТ 10-20 осадочная БОЛЕЕ 10,0 (код 122100) ; 938.55 ; 0.0
МРТУ диам до 1,6 (код 122200) ; 11569.83 ; 23139.66
МРТУ диам от 1,6до 3 (код 122200) ; 3135.36 ; 0.0
```

Рис. 2. Результаты расчёта

4.3. Активировать виртуальное окружение (с помощью команды `env\Scripts\activate.bat`):

```
c:\projects\prod> env\Scripts\activate.bat
```

4.4. Запустить проект (с помощью команды `python main.py`):

```
c:\projects\prod> python main.py
```

Программа выводит в консоль название продукции, потребление удельной энергии на производство продукции, потребление полной энергии на производство продукции (рис.2.).

ВЫВОДЫ:

1. Расчетно-экспериментальным методом разработаны нормы потребления электроэнергии для цеха промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции; нормы проверены на практике.

2. При разработке норм учитывалось технологическое и вспомогательное электропотребление, а также потери электрической энергии в цеховой сети.

3. Разработка норм опиралась на базы данных в виде электронных таблиц MS Excel, включающих файл со списком электрооборудования и мощностями машин, файл со списком продукции и технологических операций для ее изготовления, файл со списком количества продукции.

4. Для расчета норм была написана программа на языке Python.

5. Программа для расчетов норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. / Под ред. акад. Л. А. Мелентьева и канд. экон. наук Ю. А. Кузнецова. М.: Энергия, 1966. 319 с.
2. Сальников А.Х., Шевченко Л. А. Нормирование потребления и экономия топливно-энергетических ресурсов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 240 с.
3. Гусаков В.Г., Герасимовича Л.С. Энергоэффективность аграрного производства. / Под. общ. ред. академиков В.Г. Гусакова, Л.С. Герасимовича. Минск: Белорусская наука, 2011. 776 с.
4. Хорьков С.А. Расчеты электропотребления при энергетическом обследовании промышленного предприятия: учебно-методическое пособие. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2011. 111 с.

5. Копцев, Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии на промышленном предприятии/ Л.А. Копцев, А.Л. Копцев. Промышленная энергетика, 2011, № 1, с. 18–23.
6. Любанович Билл. Простой Python. Современный стиль программирования. 2-е изд. СПб.: Питер, 2021.
7. Свидетельство о гос. регистрации прогн. для ЭВМ № 2024661345 Российская Федерация / С.А. Хорьков, В.В. Зиновьев, А.И. Попов; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.05.2024.

Поступила в редакцию: 25.05.2024

Сведения об авторах

Хорьков Сергей Алексеевич

доцент кафедры теплоэнергетики, Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1/7, г. Ижевск, Россия.

E-mail: horkov_07@mail.ru

Зиновьев Виталий Валерьевич

заведующий лабораторией, Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1/7, г. Ижевск, Россия.

E-mail: vi777vz@gmail.com

Попов Алексей Иванович

магистрант, Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1/7, г. Ижевск, Россия.

E-mail: popov.alexey2020@mail.ru

S.A. Khorkov, V.V. Zinoviev, A.I. Popov

DEVELOPMENT OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION NORMS FOR A WORKSHOP OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Annotation. The article shows the development of shop norms of electric power consumption at an industrial enterprise for the whole nomenclature of products. When developing norms, technological and auxiliary electric consumption, and also losses of electric energy in a shop network are taken into account. Development of norms is based on a database in the form of MS Excel spreadsheets. The database includes a file with a list of electrical equipment and machine capacities, a file with a list of products and the time of technological operations for their manufacture, a file with a list of the quantity of manufactured products. A Python program is written to calculate the norms. The software tool allows you to take into account the peculiarities of production of each nomenclature of products. This contributes to a more accurate calculation of electrical consumption of the shop. The program for calculating the norms of electricity consumption for the shop of an industrial enterprise has the State registration in the Federal Service for Intellectual Property № 2024661345 dated 16.05.2024. The obtained results can be used to optimize electrical energy and reduce its costs for the production of products. The specified result provides increase of energy efficiency of production.

Keywords: power consumption norms, product nomenclature, database, program for calculation of power consumption norms.

For citation: Khorkov S.A., Zinoviev V.V., Popov A.I. [Development of electric energy consumption norms for a workshop of an industrial enterprise] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2024, vol. 7, issue 1. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 498–509. DOI: 10.34828/UdSU.2024.62.24.010

REFERENCES

1. Gofman I.V. *Normirovanie potrebleniya energii i energeticheskie balansy promyshlennykh predpriyatii*. [Rationing of energy consumption and energy balances of industrial enterprises]. In Melenteva L.A., Kuznetsova Yu. A. (eds.). Moscow: Energiya, 1966, 319 p.
2. Sal'nikov A.Kh., Shevchenko L.A. *Normirovanie potrebleniya i ekonomiya toplivno-energeticheskikh resursov*. [Rationing consumption and saving fuel and energy resources]. Moscow: Energoatomizdat, 1986. 240 p.
3. Gusakov V.G., Gerasimovicha L.S. *Energoeffektivnost' agrarnogo proizvodstva* [Energy efficiency of agricultural production]. In V.G. Gusakova, L.S. Gerasimovicha (eds.). Minsk: Belorusskaya nauka, 2011. 776 p.
4. Khor'kov S.A. *Raschety elektropotrebleniya pri energeticheskom obsledovanii promyshlennogo predpriyatiya: uchebno-metodicheskoe posobie*. [Calculations of power consumption in the

- energy survey of an industrial enterprise: an educational and methodological manual]. Izhevsk: Publ. «Udmurtskii universitet», 2011, 111 p.
5. Koptsev, L.A. Rationing and forecasting of electricity consumption at an industrial enterprise / L.A. Koptsev, A.L. Koptsev. – *Industrial Energy*, 2011, no. 1, pp. 18–23.
 6. Lyubanovich Bill. *Prostoi Python. Sovremenniy stil' programmirovaniya* [Simple Python. Modern programming style]. 2-e izd. St. Petersburg: Piter, 2021.
 7. Certificate of state registration of computer software No. 2024661345 Russian Federation / S.A. Khorkov, V.V. Zinoviev, A.I. Popov; copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University". – Registered in the Register of Computer Programs on 05/16/2024.

Received: 25.05.2024

About the Authors

Khorkov Sergey Alekseevich

Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, University st., 1, Izhevsk, Russia.

E-mail: horkov_07@mail.ru

Zinoviev Vitaly Valeryevich

Head of the Laboratory, Associate Professor of the Department of Oil and Gas, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, University st., 1, Izhevsk, Russia.

E-mail: vi777vz@gmail.com

Popov Alexey Ivanovich

Master student, Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutseriev, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, University st., 1, Izhevsk, Russia.

E-mail: popov.alexey2020@mail.ru