

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

NAHORNA Nataliia Oleksandrivna – assistant of the department of theory and methods of technological education of Poltava National V. G. Korolenko Pedagogical University.

Circle of research interests: research of the process of forming the design and technological competence of the future

teachers of technologies, the basics of designing and modeling, heuristic methods of creative search.

Дата надходження рукопису 20.03.2019р.

УДК 621.315 + 631.1

НАЗАРОВА Ольга Петрівна –

кандидат технічних наук,

доцент кафедри «Вища математика і фізика»

Таврійського державного агротехнологічного університету

ORCID ID 0000-0003-0636-4748

e-mail: nazarova777o@gmail.com

РОЖКОВА Олена Павлівна –

старший викладач кафедри «Вища математика і фізика»

Таврійського державного агротехнологічного університету

ORCID ID 0000-0003-2393-6090

e-mail: eleropa67@gmail.com

ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Трансформатор є унікальним пристроєм, завдяки якому синусоїдальний струм зайняв чільне місце в електроенергетиці.

Одним з головних завдань експлуатації трансформаторів є контроль режиму їх роботи. При паралельній роботі трансформаторів і змінному графіку їх сумарного навантаження можлива оптимізація кількості працюючих трансформаторів протягом доби. Критерій оптимальності - мінімум втрат активної потужності. Однак, обчислення всіх характеристик досить трудомісткий процес, також не завжди можливо наочно побудувати залежності. Тому моделювання процесів можливо розрахувати в пакеті MathCad, чому створені програмні блоки можна використовувати при написанні курсових і дипломних робіт для магістрантів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Номинальна потужність трансформатора визначається його допустимим нагріванням. Для кожного трансформатора на основі заводських даних визначають максимально допустиму температуру верхніх шарів масла. Ця температура для трансформаторів без примусової циркуляції масла не повинна бути вище 35 С. Перевищення температури масла над температурою навколишнього повітря повинна бути не більше 60 С.

На підстанціях без постійного чергування персоналу контроль режиму трансформаторів здійснюється при кожному відвідуванні підстанції оперативним персоналом, але не рідше 1 разу на місяць.

Визначення номінальні параметрів трансформаторів розглядається в літературі [1; 10] для різних типів.

Мета статті. Розробка динамічного моделювання характеристик силових трансформаторів та розрахунок оптимальних режимів навантаження, побудова залежності характеристик.

Методи дослідження. Для реалізації поставленої мети використано *теоретичні методи*: аналіз, узагальнення та систематизація методичної, психолого-педагогічної літератури з проблеми дослідження, аналіз нормативно-правової документації в сфері освіти, освітніх та навчальних програм.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Принцип дії трансформатора розглянемо на прикладі однофазного трансформатора з двома обмотками – первинною і вторинною, приведеного на рис.1.

На рисунку зображено замкнутий магнітопровід, на якому розташовані дві обмотки з числом витків w_1 і w_2 . До однієї з них (первинної) підводиться електрична енергія від джерела живлення, до іншої (вторинної) підключається приймач енергії.

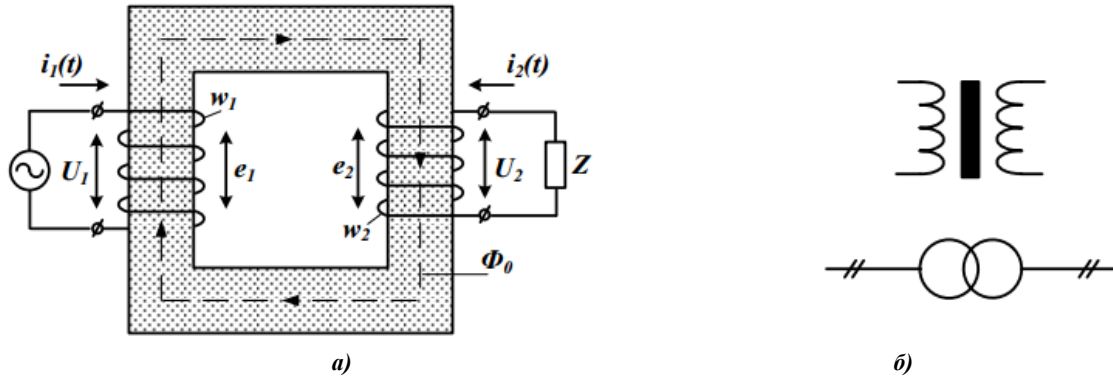


Рис.1. Електромагнітна схема і умовне графічне зображення однофазного трансформатора з двома обмотками – первинною (а) і вторинною (б)

Визначення параметрів залежності змінювання вторинної напруги трансформатора від характеру навантаження

$$\Delta U_2 \% = \beta \cdot \left(u_{ka} \% \cdot \cos \phi_2 + u_{кр} \% \cdot \sin \phi_2 \right), (1)$$

де $\Delta U_2\%$ – змінювання вторинної напруги трансформатора, %; β – коефіцієнт навантаження трансформатора. Приймаємо $\beta = 1$ за умовами завдання, $u_{ка}$, $u_{кр}$ – відповідно активна і реактивна складова напруги короткого замикання трансформатора, %:

$$\Delta u_{ка} \% = \frac{I_{ном1} \cdot R}{U_{\phi 1}} \cdot 100,$$

$$\Delta u_{кр} \% = \frac{I_{ном1} \cdot X}{U_{\phi 1}} \cdot 100, (2)$$

Всі отримані дані підставляємо у формулу залежності $\Delta U_2\%$ (1) змінюючи кут ϕ_2 в межах від $+90^\circ$ до -90° для номінального навантаження (рис.2).

Таким чином при активному навантаженні ΔU_2 може змінюватись до 1,144%. При індуктивному навантаженні змінювання вторинної напруги змінюється в діапазоні від 1,144% до 5,38%; при ємнісному навантаженні змінювання вторинної напруги змінюється в діапазоні від 1,144% до -5,38%.

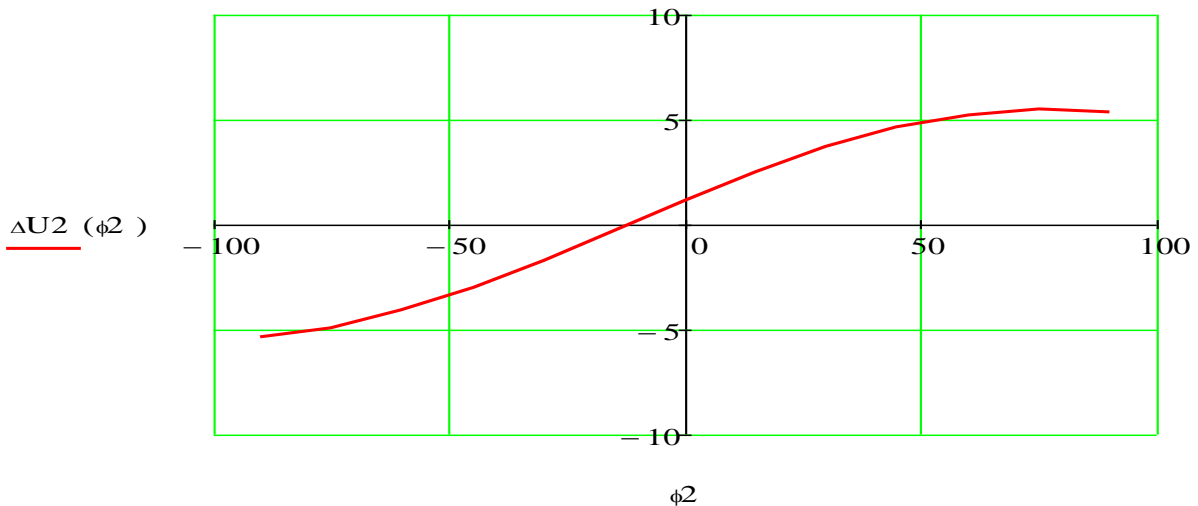


Рис. 2. Залежність зміни напруги від характеру навантаження

Зовнішня характеристика, є залежністю вторинної напруги від коефіцієнта навантаження при незмінних значеннях первинної напруги ($U_1=U_1$, $N=const$), частоти ($f=const$) і незмінному характері навантаження ($\cos \phi_2=const$). $U_2'=f(\beta)$; $U=const$,

$\omega c=const$, $\cos \phi_2=1$; $\cos \phi_2=0,8$ $\phi_2>0$; $\cos \phi_2=0,8$ $\phi_2<0$. Вторинна напруга знижується із збільшенням навантаження із-за збільшення активного і індуктивного падінь напруги у вторинній обмотці трансформатора. Значення характеристики вторинної напруги у відсотках при

$\cos \phi_2=1$, $\cos \phi_2=0,8$ та при $\phi_2<0$, тобто при активному, індуктивному і ємнісному навантаженні.

Приймаємо змінювання навантаження трансформатора від $0,075H \leq \beta \leq 1,5H$, а вторинну напругу у відносних одиницях, яка дорівнює номінальній напрузі і отримуємо $U_2H=1$, так як U_2/UH .

$$\Delta U_2' = 1 \cdot \left(1 - \frac{\beta \cdot (U_{ка} \cdot \cos \phi_2 + U_{кр} \cdot \sin \phi)}{100} \right) (3)$$

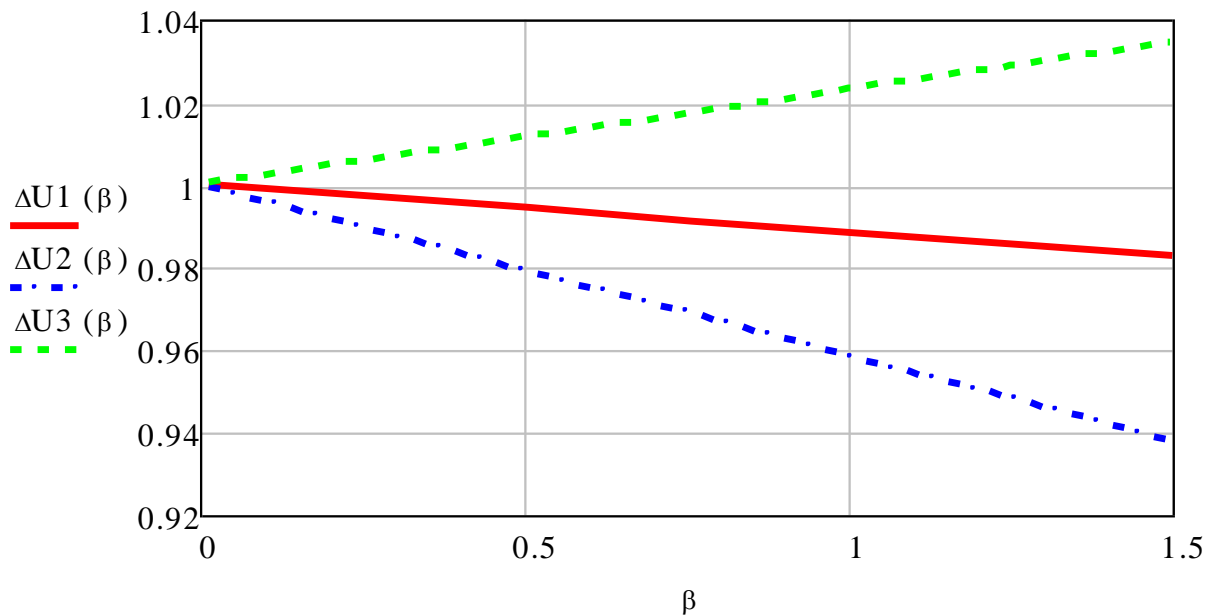


Рис. 3. Графічні залежності зовнішніх характеристик трансформатора

ΔU1 (β) - Зовнішня характеристика трансформатора при $\cos \varphi_2 = 1$,

ΔU2 (β) - Зовнішня характеристика трансформатора при $\cos \varphi_2 = 0,8, \varphi_2 > 0$,

ΔU3 (β) - Зовнішня характеристика трансформатора при $\cos \varphi_2 = 0,8, \varphi_2 < 0$

Таким чином, при $\cos \varphi_2 = 1$, тобто при активному навантаженні вторинна напруга змінюється від 1 до 0,983 і складає 1,715%; при $\cos \varphi_2 = 0,8, \varphi_2 > 0$, тобто при індуктивному навантаженні вторинна напруга змінюється від 1 до 0,938 і складає 6,213%; при $\cos \varphi_2 = 0,8, \varphi_2 < 0$, тобто при ємнісному навантаженні вторинна напруга змінюється від 1 до 1,035 і складає (-3,469%).

Взагалі при розрахунку трансформаторів орієнтуються на їхню середню завантаженість, яка відповідає величинам 0,5...0,7.

К.к.д. трансформатора, як і електричної машини, із збільшенням відносного навантаження β спочатку зростає, досягаючи при певній значенні β максимуму, а потім зменшується при подальшому збільшенні навантаження.

ККД трансформаторів залежить від величини навантаження β і від її характеру $\cos(\varphi_2)$. Максимальне значення ККД β_{max} відповідає

навантаженню β, при якому електричні втрати дорівнюють магнітним.

Залежність ккд трансформатора від коефіцієнта навантаження визначається за виразом:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 \cdot P_{к.ном}}{\beta \cdot S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_{к.ном}}, \quad (4)$$

де P₀, P_{кн} – втрати холостого ходу і короткого замикання трансформатора, Вт.

Коефіцієнт навантаження, коли ккд буде максимальним, це значення у точці перегибу, коли втрати холостого ходу і втрати короткого замикання, тобто зміні втрати дорівнюють постійним.

$$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{к.ном}}}, \quad (5)$$

Таким чином трансформатор буде працювати з максимальним ККД при коефіцієнті навантаження β_{max} = 0,429. Значення ККД буде найбільшим при активному навантаженні $\cos \varphi_2 = 1$

При $\cos \varphi_2 = 1$ ккд змінюється на 0,8% при зміні β від 0 до 1.5; к.к.д. трансформатора виходить найбільшим за умови, коли змінні втрати в обмотках дорівнюють постійним втратам холостого ходу.

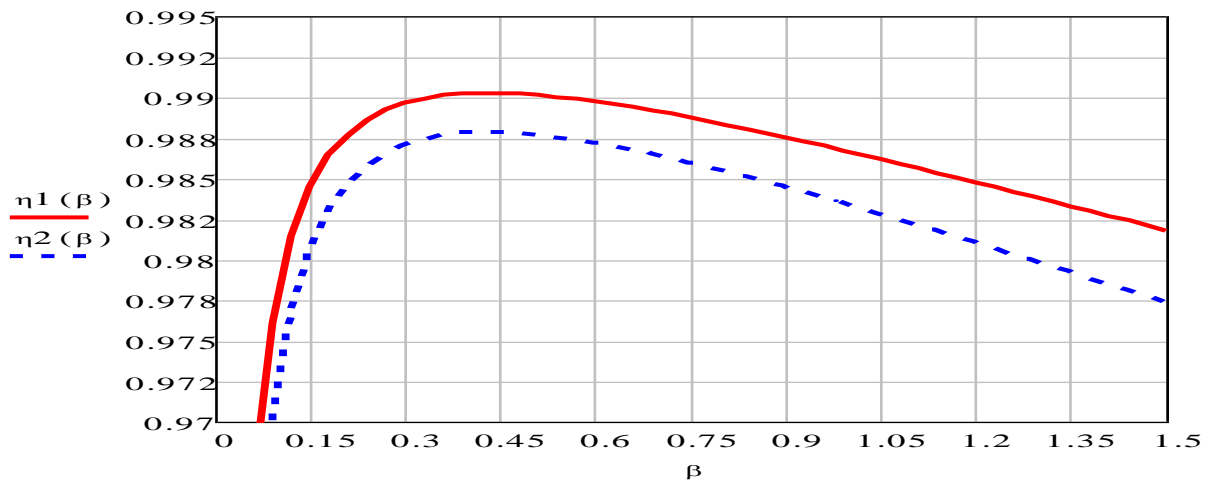


Рис. 4. Крива залежності ККД трансформатора від величин

навантаження ($\eta_1(\beta)$ - де $\cos \varphi_2 = 1$, $\eta_2(\beta)$ - де $\cos \varphi_2 = 0,8$)

Наявність надлишкових трансформаторних потужностей висуває завдання раціонального їх використання. В запропоновано кількісні оцінки навантажень силових трансформаторів підстанцій, при яких перехід на паралельну роботу створює позитивний ефект.

При роздільній роботі трансформаторів при максимальному навантаженні загальні активні втрати будуть складати:

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{T1 \max} + \Delta P_{T2 \max} ;$$

$$\Delta P_{\Sigma \%} = \frac{\Sigma \Delta P - \Delta P_{\Sigma}}{\Sigma \Delta P} \cdot 100\% . \quad (6)$$

При роздільній роботі трансформаторів при максимальному навантаженні загальні реактивні втрати будуть складати:

$$\Sigma \Delta Q = \Delta Q_{T1 \max} + \Delta Q_{T2 \max} ;$$

$$\Delta Q_{\Sigma \%} = \frac{\Sigma \Delta Q - \Delta Q_{\Sigma}}{\Sigma \Delta Q} \cdot 100\% . \quad (7)$$

При роздільній роботі трансформаторів при максимальному навантаженні загальні втрати електроенергії будуть складати:

$$\Sigma \Delta W = \Delta W_{T1 \max} + \Delta W_{T2 \max} ;$$

$$\Delta W_{\Sigma \%} = \frac{\Sigma \Delta W - \Delta W_{\Sigma}}{\Sigma \Delta W} \cdot 100\% . \quad (8)$$

Результати розрахунків кривих наведених витрат (рис.5)

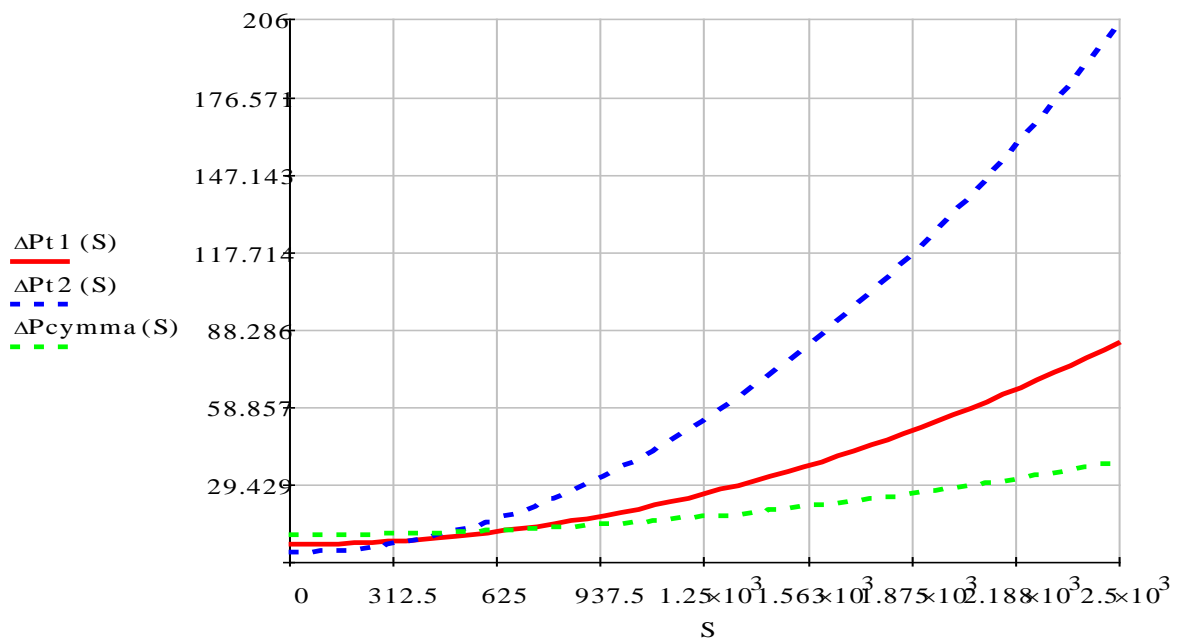


Рис.5. Графічні залежності приведені

активних втрат трансформаторів, де
 $\Delta P_{t1} (S)$ - наведені активні втрати TV1;
 $\Delta P_{t2} (S)$ - наведені активні втрати TV2;
 $\Delta P_{\text{сумма}}(S)$ - наведені активні втрати TV1 і TV2.

Значення навантажень при яких втрати потужності будуть рівні для 1- го та 2-го трансформаторів, а також втрати 2-го і сумарним втратам при паралельній роботі трансформатора. Ці значення відповідно рівні.

Найменші втрати першого трансформатора на першому етапі навантаження від холостого ходу, до 379,185 кВА, робота другого трансформатора найкраща від 379,185 кВА до 679,958 кВА;

Найкращий режим на останньому етапі, коли працюють обидва трансформатори паралельно від 679,958 кВА.

Статистика свідчить, що загальний максимум складає 92% від загального навантаження, а між трансформаторами це навантаження розкладається як 88% для першого і 95% для другого.

Таким чином, при забезпеченні максимального навантаження найменші втрати активної і реактивної потужності будуть при паралельній роботі; під час роздільної роботи трансформаторів на те ж навантаження втрати активної і реактивної потужності будуть більші, відповідно, на 37,33% і 0,068%.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. В пакеті MathCad автоматизовано розрахунок характеристик, визначено номінальні струми та напруги первинної і вторинної обмоток силових трансформаторів 10/0,4 кВ, визначено що повні втрати енергії за рік в період експлуатації двох силових трансформаторів, які встановлено на ТП 10/0,4 кВ; при забезпеченні максимального навантаження найменші втрати активної і реактивної потужності будуть при паралельній роботі; під час роздільної роботи трансформаторів на те ж навантаження втрати активної і реактивної потужності будуть більші, відповідно, на 37,33% і 0,068%.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Блок В. М. Электрические сети и системы. М.: Высшая школа, 1986. 432 с.
2. Быстрицкий Г. Ф., Кудрин Б. И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учеб. пособие для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 176 с.
3. Ермолаев С. О., Мунтян В. О., Яковлев В. Ф. Эксплуатация энергообладнання та залежного автоматизації в системі АПК: підручник. К.: Мета, 2003. 543 с.
4. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник. Суми: ВТД «Університетська кня», 2006. 153 с.
5. Романюк Ю. Ф. Электричні системи та мережі: навч. посібник. К.: Знання, 2007. 292 с.

6. Справочник по исследованию электроснабжения / под. общ. ред. Ю.Г. Барбина, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова, А.Г. Смирнова. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.

REFERENCES

1. Blok, V. M. (1986). Elektricheskiye seti i sistemy [Electrical networks and systems]. Vysshaya shkola, Moscow, Russian.
2. Bystritskiy, G. F. (2003). Vybory i ekspluatatsiya silovykh transformatorov: ucheb. posobiye dlya vuzov [Selection and operation of power transformers: studies. manual for universities]. Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», Moscow, Russian.
3. Yermolayev, S. O. (2003). Ekspluatatsiya enerhoobladnannya ta zasobiv avtomatyzatsiyi v systemi APK [Exploitation of power equipment and dependent automation in the system of agrarian and industrial complex]. Meta, Kyiv, Ukraine.
4. Rudnytskyy, V. H. (2006). Vnutrishnozavodske elektropostachannya. Kursove proektuvannya [In-plant electrical supply. Course design]. VTD «Universytet-ska knyha», Sumy, Ukraine.
5. Romanyuk, YU. F. (2007). Elektrichni systemy ta merezhi [Electrical systems and networks]. Znannya, K., Ukraine.
6. Spravochnyk po proektyrovanyu élektrosnabzheniya (1990) [Handbook of electrical supply] / Barybyn, YU. H., Fedorov, L. E. and Zymenkov, M. H.; pod obshch. red. Barybyn, YU. H., Fedorov, L. E., Zymenkov, M. H. and Smyrnova A. H. Énerhoatomyzdat, Moscow, Russian.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

НАЗАРОВА Ольга Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вища математика і фізика», Таврійський державний агротехнологічний університет

Наукові інтереси: моделювання процесів і систем.

РОЖКОВА Олена Павлівна – старший викладач кафедри «Вища математика і фізика», Таврійський державний агротехнологічний університет.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання (фізика і технології).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

NAZAROVA Olga Petrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Higher Mathematics and Physics", Tavrichesky State Agrotechnological University.

Circle of research interests: Modeling of processes and systems

ROZHKOVA Elena Pavlovna – Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics and Physics, Tavrichesky State Agrotechnological University.

Circle of research interests: theory and teaching methods (physics and technology).

Дата надходження рукопису 12.04.2019р.