

O. P. PRISHCHENKO, T. T. CHERNOGOR

APPLICATION OF ELEMENTS OF STUDYING THE FUNCTION OF ONE VARIABLE WHEN SOLVING CHEMICAL PROBLEMS

In the article some problems are examined with chemical maintenance, for the decision of that the elements of research of function one variable are used. A course of higher mathematics is basis of physical and mathematical training of specialists-chemists of university profile. The primary purpose of teaching of educational discipline "Higher mathematics" is preparation of students to using of modern mathematical vehicle as an effective instrument for the decision of scientific and practical problems in area of chemical and contiguous disciplines. Mathematics for chemical engineers is primarily a useful tool for solving many chemical engineering problems and tasks. It is difficult to find a branch of mathematics that is not at all used to solve these problems at all stages of their analysis. As a result of study of higher mathematics a student must know the methods of mathematical analysis in application to one function and a few real variables. Many chemical phenomena are described through functional dependence. At the study of chemical processes, it is necessary to use research elements functions of one variable, the exposure of properties of function, characterizing her different internals, behaves to that. In practical classes in higher mathematics, when considering the topic 'Derivative and its applications', it is often necessary to solve problems of a general nature. But for students of chemical specialties, tasks that are directly related to their profession are of greater interest. Thus, considering tasks similar to those given in this article, we will increase the interest and motivation of future specialists to study this material.

Keywords: function, function of one variable, stationary points, graph of a function, dynamic equilibrium, reaction rate, kinetic equation, Raoult's law, oxygen concentration, asymptote, minimum of a function.

O. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ХІМІЧНИХ ЗАДАЧ

У статті розглядаються деякі задачі з хімічним змістом, при розв'язанні яких використовуються елементи дослідження функції однієї змінної. Курс вищої математики є основою фізико-математичної підготовки фахівців-хіміків університетського профілю. Основною метою викладання навчальної дисципліни «Вища математика» є підготовка студентів до використання сучасного математичного апарату в якості ефективного інструменту для вирішення наукових і практичних завдань в області хімічних і суміжних дисциплін. Математика для інженерів хіміків-технологів – це в першу чергу корисний інструмент для розв'язання багатьох хіміко-технологічних проблем та задач. Важко знайти такий розділ математики, який зовсім не використовується для вирішення цих проблем на усіх стадіях їх аналізу. В результаті вивчення вищої математики студент повинен знати методи математичного аналізу в застосуванні до функції однієї та кількох дійсних змінних. Багато хімічних явищ описуються за допомогою функціональної залежності. При вивченні хімічних процесів доводиться використовувати елементи дослідження функції однієї змінної, до яких відноситься виявлення властивостей функції, що характеризують різні її якості. На практичних заняттях з вищої математики, при розгляді теми «Похідна та її застосування» часто доводиться вирішувати завдання загального характеру. Але для студентів хімічних спеціальностей більший інтерес представляють завдання, які безпосередньо пов'язані з їхньою професією. Таким чином, розглядаючи завдання, подібні наведеним в даній статті, ми підвищимо інтерес і мотивацію майбутніх фахівців до вивчення даного матеріалу.

Ключові слова: функція, функція однієї змінної, стаціонарні точки, графік функції, динамічна рівновага, швидкість реакції, кінетичне рівняння, закон Рауля, концентрація кисню, асимптота, мінімум функції.

O. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИИ ОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПРИ РЕШЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В статье рассматриваются некоторые задачи с химическим содержанием, при решении которых используются элементы исследования функции одной переменной. Курс высшей математики является основой физико-математической подготовки специалистов-химиков университетского профиля. Основной целью преподавания учебной дисциплины «Высшая математика» является подготовка студентов к использованию современного математического аппарата в качестве эффективного инструмента для решения научных и практических задач в области химических и смежных дисциплин. Математика для инженеров химиков-технологов – это в первую очередь полезный инструмент для решения многих химико-технологических проблем и задач. Трудно найти такой раздел математики, который совсем не используется для решения этих проблем на всех стадиях их анализа. В результате изучения высшей математики студент должен знать методы математического анализа в применении к функции одной и нескольких действительных переменных. Многие химические явления описываются при помощи функциональной зависимости. При изучении химических процессов приходится использовать элементы исследования функции одной переменной, к которым относится выявление свойств функции, характеризующих различные ее качества. На практических занятиях по высшей математике, при рассмотрении темы «Производная и ее приложения» зачастую приходится решать задачи общего характера. Но для студентов химических специальностей больший интерес представляют задачи, которые непосредственно связаны с их профессией. Таким образом, рассматривая задачи, подобные приведенным в данной статье, мы повысим интерес и мотивацию будущих специалистов к изучению данного материала.

Ключевые слова: функция, функция одной переменной, стационарные точки, график функции, динамическое равновесие, скорость реакции, кинетическое уравнение, закон Рауля, концентрация кислорода, асимптота, минимум функции.

Introduction. A course of higher mathematics is basis of physical and mathematical training of specialists-chemists of university profile.

The primary purpose of teaching of educational discipline «Higher mathematics» is preparation of

students to using of modern mathematical vehicle as an effective instrument for the decision of scientific and practical problems in area of chemical and contiguous disciplines.

© Prishchenko O.P., Chernogor T.T., 2021

As a result of study of higher mathematics a student must know the methods of mathematical analysis in application to one function and a few real variables.

Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical problems. Concept of function – one of basic in modern mathematics. Many chemical phenomena are described through functional dependence. At the study of chemical processes, it is necessary to use research elements functions of one variable, the exposure of properties of function, characterizing her different internals, behaves to that.

Research of function $y = f(x)$ is expedient to the new in a certain sequence.

1. To find the range of definition of function.
2. To find (if it is possible) the intersections of chart with the axes of coordinates.
3. Find the intervals of constant sign of the function (the intervals at $f(x) < 0$ which or $f(x) > 0$).
4. To find out whether a function is even, odd number or general view.
5. To find the asymptotes of chart of function.
6. To find the intervals of monotony of function.
7. To find the extremums of function.
8. To find the intervals of bulge (to the concavity) and inflection point of chart of function.

On the basis of undertaken a study to build the chart of function. We will notice that the brought chart over of research is not obligatory. In more simple cases it is enough to execute a few operations only, for example 1, 2, 7. If the chart of function is not quite clear and after implementation of all eight operations, then it is possible additionally to investigate a function on periodicity, to build a few points of chart are additional, to educe other features of function. It is sometimes expedient to accompany implementation of operations of research the gradual construction of chart of function.

Rules of research of stationary points

First rule.

1. To find $f'(x)$.
2. To make and decide equation roots of that $x_j (j = 1, 2, \dots, k)$ are stationary points.
3. To investigate the changes of sign $f'(x)$ in transition of stationary point x_j . If in transition of this point a derivative changes a sign with «+» on «-», then x_j is a point of local a maximum of function; if $f'(x)$ changes a sign with «-» on «+», then x_j is a point of local a minimum of function; if a sign does not change, then x_j – only stationary point.

Second rule.

1. To find $f'(x)$ и $f''(x)$.
2. To make and decide equation roots of that $x_j (j = 1, 2, \dots, k)$ are stationary points.
3. To define a second derivative sign in a stationary point x_j .

If $f''(x) > 0$, then x_j is a point of local maximum, $f(x_j)$ is a local minimum; if $f''(x) < 0$, then x_j is a point of local minimum, $f(x_j)$ is a local maximum [1–10].

Presentation of the main research material. We will consider some problems with chemical maintenance, for the decision of that the elements of research of function one variable are used.

Construction of line of equilibrium

Let some substance of M being in an air environment as steams be taken in by water. In such the case it is said that a substance goes across from a gas phase Φ_y in a liquid phase Φ_x , where x and y at are his concentrations accordingly in liquid and gas phases. Clear that in initial moment of process concentration $x = 0$.

With beginning of dissolution of substance of M in water there is a transition of part of his molecules in retrograde with speed, to the proportional concentration of M in water and on the border of division of phases.

In course of time speed of transition of M will decrease in water, and speed of reverse transition to increase, thus this process will proceed until transition speeds in both directions will not become equal.

Such process state is named a *dynamic equilibrium*, and at him there will not be a change of concentration of substance in each their phases. Concentrations of substance of M set here in contacting phases Φ_x and Φ_y named *equilibrium* and are in certain functional dependence: $y = f(x)$, chart, named that by the *line of equilibrium*.

Raoult's law: partial pressure of any component in pairs above mixture of liquid is equal to the product of pressures of the saturated steam of this component on his mole fraction in a liquid, that is $p = Px$,

where p is partial pressure of component in pairs; P is pressure of steam of clean component; x is a mole fraction of the indicated component in a liquid.

Such property is possessed, for example, mixture of benzol and toluene, mixture of isomer hydrocarbons of and other.

Dalton's law: common pressure of P of steams of mixture is equal to the sum of partial pressures of components, that is

$$P = P_A x_A + P_B x_B, \quad (1)$$

where A and B are the components included in mixture.

We will consider binary mixture from components A and B , conformable to the Raoult's law, and we will set connection between the equilibrium concentrations of component A in gas and liquid phases.

We will designate the mole fractions of components A and B a liquid accordingly through x_A and x_B .

Considering, that

$$x_A + x_B = 1, \quad (2)$$

we will write down the Raoult's law for each of them:

$$p_A = P_A x_A;$$

$$p_B = P_B x_B = P_B (1 - x_A). \quad (3)$$

According to equality (1), we will find common pressure of P of steams of mixture, taking into account here correlation (2):

$$P = P_A + P_B (1 - x_A). \quad (4)$$

On the other hand, knowing common pressure of P above mixture and partial pressure of легколетучего component A , it is possible to define maintenance of him in pairs, shown in mole fractions:

$$y_A = \frac{P_A}{P},$$

from (see formulas (3), (4)) where

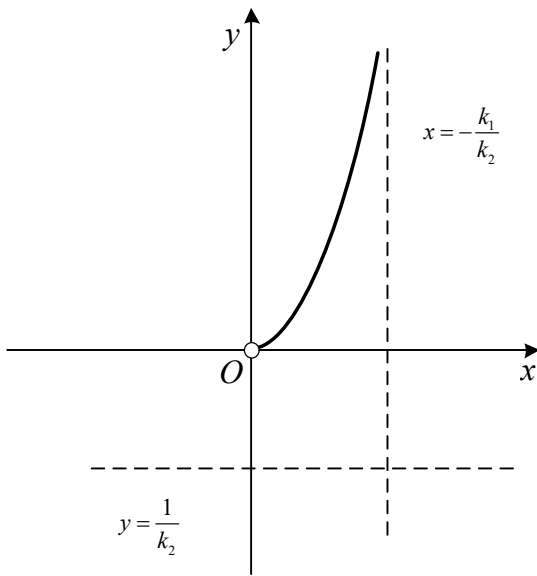


Fig. 1

$$y_A = \frac{P_A x_A}{P_A x_A + P_B (1 - x_A)},$$

or

$$y_A = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A}, \quad (5)$$

where $\alpha = \frac{P_A}{P_B}$ and named *relative volatility*.

Equation (5) expresses analytical connection between the molar stakes of highly volatile component in pairs and in a liquid and named equation of line of equilibrium.

Problem. To investigate the line of equilibrium of binary mixture from components A and B , conformable to the Raoult's law, and to build her chart.

Decision. We will write down equation (5) in a kind

$$y = \frac{x}{k_1 + k_2 x},$$

where $y = y_A$, $x = x_A$, $k_1 = \frac{1}{\alpha}$, $k_2 = 1 - \frac{1}{\alpha} \neq 0$, and we investigate a function

$$f(x) = \frac{x}{k_1 + k_2 x}$$

subject to condition $k_1 > 0$ и $k_2 < 0$.

Range of definition

$$x \in \left(-\infty; -\frac{k_1}{k_2} \right) \cup \left(-\frac{k_1}{k_2}; +\infty \right).$$

We will find limits on the left and on the right in a point

$$x_0 = -\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{\alpha - 1} \neq 0.$$

$$\lim_{x \rightarrow x_0 - 0} \frac{x}{k_1 + k_2 x} = +\infty, \quad \lim_{x \rightarrow x_0 + 0} \frac{x}{k_1 + k_2 x} = -\infty.$$

Consequently, $x = -\frac{k_1}{k_2}$ is a vertical two-sided

asymptote.

We will find unvertical asymptotes:

$$k = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{1}{k_1 + k_2 x} = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{x}{k_1 + k_2 x} = \frac{1}{k_2}.$$

So, $y = \frac{1}{k_2}$ is a horizontal asymptote.

Because, $y' = \frac{k_1}{(k_1 + k_2 x)^2} > 0$ the investigated

function increasing.

Knowing a second derivative $y'' = \frac{-2k_1 k_2}{(k_1 + k_2 x)^3}$, we

find the intervals of direction of concavity of chart of function, namely $x < -\frac{k_1}{k_2}$ a concavity is sent up, and for

$x > -\frac{k_1}{k_2}$ – downward. Because $x > 0$ and $y < 0$ (as

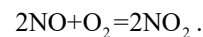
mole fractions), then the line of equilibrium of binary mixture will be located in the first quadrant (fig. 1).

A maximum of speed of oxidization of oxide of nitrogen

Mathematical formula, relating speed of reaction with concentrations, name *equation of speed of reaction* or *kinetic equation*.

In general case the type of kinetic equation cannot be predicted coming from stoichiometric equation of reaction. However, the basic law of chemical kinetics, that can be set forth so, is known: *speed of reaction at every instant is proportional to the product of concentrations of the reactive substances, erected in some degree, being an order of reaction on this component*.

As an example we will consider the trimolecular reaction



In this reaction kinetic equation looks like in the conditions of practical irreversibility

$$v = \bar{k} [\text{NO}]^2 [\text{O}_2]. \quad (6)$$

If to enter denotations

$$x = \frac{[\text{NO}]}{[\text{NO}]_0}; y = \frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2]_0},$$

where $[\text{NO}]_0$ and $[\text{O}_2]_0$ are initial concentrations accordingly NO and O₂, that equation (6) can be written down so:

$$v = kx^2y, \tag{7}$$

where $k = \bar{k} [\text{NO}]_0 [\text{O}_2]_0$.

Problem. To set at what percentage of oxygen in gas mixture speed of oxidization of oxide of nitrogen will be maximal.

Decision. In equation (7) it comfortably the concentration of NO and O₂ to express in by volume percent's. Then $x + y = 100$ and kinetic equation will assume an air $v = k(100x^2 - x^3)$.

Thus, a problem stands in that, to find a maximum of function.

For her decision we will take advantage of the second rule of research of stationary points, that is we will find

$$v' = k(200x - 3x^2) \text{ and } v'' = k(200 - 6x);$$

we will work out an equation

$$200x - 3x^2 = 0,$$

deciding that, we will get stationary points $x_1 = 0$, $x_2 = 200/3$.

We will now find the value of the second derivative at fixed points:

$$v''(0) = 200k > 0;$$

$$v''(200/3) = k(200 - 400) < 0,$$

since $k > 0$.

So, $x_2 = 200/3$ is the maximum point of the function and therefore $y_2 = 100 - 200/3 = 33,3$ is the maximum concentration O₂ (fig. 2).

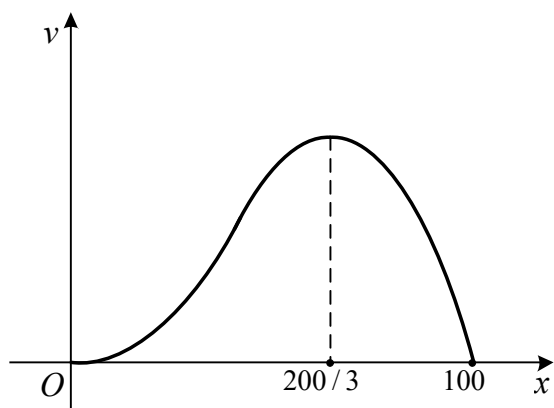


Fig. 2

Conclusion. Speed of oxidization will appear maximal, if in mixture it will be contained 33,3% oxygen. So in the process of reaction stoichiometrical correlation $y : x$ is saved, then at maintenance in initial mixture of 33,3% oxygen speed of reaction will be

maximally possible during all process. However, this result is faithful only in one case, when the examined reaction will be irreversible, that maybe in the certain range of temperatures.

Problem. Let gas consisting of oxide of nitrogen and rare gas is mixed up with air, the concentration of oxygen in that makes 20,8%. To define, what volume of air must be added to the volume of oxide of nitrogen, to provide high speed of oxidization last.

Decision. Though a and b are by volume stakes in mixture accordingly oxide of nitrogen and other rare gases, that is $a + b = 1$. Then, if to designate the added volume of air through x , then concentration NO and O₂ accordingly will be equal

$$[\text{NO}] = \frac{a}{1+x}, [\text{O}_2] = \frac{0,208x}{1+x}.$$

Putting these concentrations in equation (7), we get

$$v = 0,208ka^2 \frac{x}{(1+x)^2}.$$

For determination of value of x , at that speed of oxidization v has at most at set a , we find the first derivative from v on x :

$$v' = 0,208ka^2 \frac{1-2x}{(1+x)^4},$$

and we determine a stationary point $x = 0,5$. Applying the first rule of research of stationary points, we set that $x = 0,5$ is a point of local a maximum of function.

Conclusion. At adding to one volume of initial gas 0,5 volume of air composition of gas mixture will meet the condition of high speed of oxidization of NO. The corresponding here concentration of oxygen in mixture will be equal $\frac{0,208 \cdot 0,5}{1+0,5} = 0,0693$, that is 6,93%. During

such concentration of oxygen high speed of reaction will be arrived at during all process of oxidization.

Arrhenius' equation

The constant of speed of chemical reaction in most cases sharply increases with the height of temperature (as governed, in 2-3 times at the increase of temperature on 10 °C near-by a room temperature). Temperature dependence of constant of speed of elementary reaction in many cases is well described by equation of Arrhenius:

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right),$$

where T is an absolute temperature; E is Arrhenius energy of activating; R – universal gas permanent; k_0 is a constant (so-called Arrhenius multiplier).

As values of concentrations small depend on a temperature, then speed of the chemical reaction, described by general stoichiometrical equation

$$\sum_{i=1}^l a_i A_i \rightarrow \sum_{j=1}^m b_j B_j,$$

depends on a temperature as follows:

$$v = k_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right) [A_1]^{a_1} [A_2]^{a_2} \dots [A_i]^{a_i},$$

or

$$v = v_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right),$$

where

$$v_0 = k_0 [A_1]^{a_1} [A_2]^{a_2} \dots [A_i]^{a_i}.$$

Problem. To investigate and build the chart of constant of speed of reaction as to the function depending on energy of activating of E, that is

$$k(E) = k_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right), \text{ where } E \geq 0.$$

Decision. We will mark foremost, that a function $k_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right)$ in equation of Arrhenius is always positive, because $k_0 > 0$ and

$$\exp\left(\frac{E}{RT}\right) > 0.$$

At $E=0$ constant of speed of reaction $k(0) = k_0$.
With the height of E a size $k(E)$ diminishes and

$$\lim_{E \rightarrow +\infty} k_0 e^{-E/RT}.$$

Since

$$k'(E) = k_0 \left(-\frac{1}{RT}\right) e^{-E/RT} < 0;$$

$$k''(E) = k_0 \left(\frac{1}{RT}\right)^2 e^{-E/RT} > 0,$$

that a function $k_0 e^{-E/RT}$ droningly decreases and the concavity of her chart is sent up (fig. 3) [11–17].

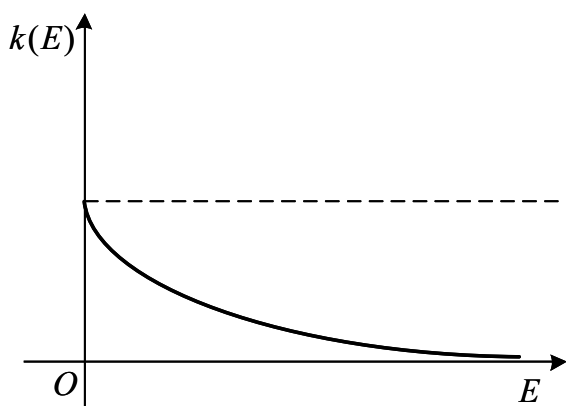


Fig. 3

Conclusions and development prospects of this direction. On practical employments on higher mathematics, at consideration of theme «Derivative and her applications» it is frequently necessary to decide the problems of general character. But for the students of chemical specialties greater interest is presented by problems that is directly related to their profession.

Thus, examining problems similar to resulted in this article, we will promote interest and motivation of future specialists in the study of this material [18–23].

References

1. Высшая математика в примерах и задачах : уч. пособ. : Т. 1 / Ю.Л. Геворкян, Л.А. Балака, С.С. Габриелян и др. ; под ред. Ю.Л. Геворкяна. – Х.: Підручник НТУ «ХП», 2011. – 408 с.
2. Вища математика в прикладах і задачах : у 2 т. Т. 1 : Аналітична геометрія та лінійна алгебра. Диференціальне та інтегральне числення функції однієї змінної : навч. посіб. / Л.В. Курпа, Н.О. Кириллова, Г.Б. Лінник та ін. ; за ред. Л.В. Курпи. – Харків : НТУ «ХП», 2009. – 532 с.
3. Геворкян Ю.Л. Краткий курс высшей математики : учеб. пособ. : в 2 ч. Ч. 1 / Ю.Л. Геворкян, А.Л. Григорьев, Н.А. Чикина. – Х.: Підручник НТУ «ХП», 2011. – 324 с.
4. Диференціальні рівняння та їх застосування : н.-мет. посіб. / Пріщенко О.П., Черногор Т.Т. – Х.: НТУ «ХП», 2017. – 88 с.
5. Ерёмин В. В. Математика в химии. – 2-е изд., испр. / В.В. Ерёмин. – М.: МЦНМО, 2016. – 64 с.
6. Збірник розрахунково-графічних завдань з вищої математики : у 2 ч. Ч. 1 / Н.О. Чікіна, І.В. Антонова, Л.О. Балака та ін. ; за ред. Н.О. Чікіної. – Х.: Підручник НТУ «ХП», 2012. – 224 с.
7. Методические указания к решению расчетных заданий по теме «Дифференциальные уравнения и их приложения» по курсу высшей математики для студентов химических специальностей / сост. А.М. Мануйлова, Е.И. Орлова, Т.Т. Черногор и др. – Харьков : ХПИ, 1989. – 76 с.
8. Пріщенко О. П., Черногор Т. Т. Аналіз прикладів застосування диференціальних рівнянь в хімічній та харчовій технології // Вісник НТУ «ХП». – Харків : НТУ «ХП», 2018. – № 40 (1316). – с. 39–45.
9. Пріщенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола С.І. – Харків: НТУ «ХП». – с.320.
10. Пріщенко О.П., Черногор Т.Т. Деякі особливості проведення регресійного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола С.І. – Харків: НТУ «ХП». – с. 319.
11. Скатецкий В.Г. Математические методы в химии : учеб. пособ. для студентов вузов / В.Г. Скатецкий, Д.В. Свиридов, В.И. Яшкин. – Минск : ТетраСистемс, 2006. – 368 с.
12. Тевяшев А.Д. Вища математика у прикладах та задачах : у 3 ч. Ч. 1 : Лінійна алгебра і аналітична геометрія. Диференціальне числення функції однієї змінної : навч. посіб. / А.Д. Тевяшев, О.Г. Литвин. – Харків : ХНУРЕ, 2002. – 552 с.
13. Бухкало С.І. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – с. 29–33.
14. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
15. Prishchenko O. P., Chernogor T. T. Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes // Вісник НТУ «ХП» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – №15 (1340). – С. 36–41.
16. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола С.І. Х.:НТУ «ХП», 2018. – 205 с.
17. Бухкало С.І., Ігліні С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. – С. 52–57.

18. Бухкало С.І., Білоус О.В., Демидов І.М. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 1/6(73), – с. 22–26. – Х. : Технол. центр.
19. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, Vol.70, (2018), – pp.2047–2052.
20. Прищенко О. П., Черногор Т. Т. Використання тензорів при аналізі особливостей фізичних властивостей твердих тіл // *Вісник НТУ «ХП» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – №6 (1360). – С. 42 – 48.
21. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Analysis of opportunities of analytical method of optimization in chemical technology // *Вісник НТУ «ХП» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. – Х. : НТУ «ХП», 2020. – №5 (1359). – С. 71 – 77.
22. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
23. Говоров П.П., Бухкало С.І., Кіндінова А.К. Медико-біологічні аспекти на шляху розповсюдження COVID-19. *Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти матеріали II Міжн. н-практичної конференції, 22–23 квітня 2021 р./ред. колегія А.В. Кіпенський, О.В. Білоус [та ін.]*. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. – С. 102–106.: ISBN 978-617-7988-44-0
- 2019, 15-17 travnya 2019 r.: u 4 ch. CH. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «HPI». – s.320.
10. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Deyaki osoblivosti provedennya regresijnogo analizu Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnya 2019 r.: u 4 ch. CH. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «HPI». – s. 319.
11. Skateckij V.G. Matematicheskie metody v himii : ucheb. posob. dlya studentov vuzov / V.G. Skateckij, D.V. Sviridov, V.I. YAshkin. – Minsk : TetraSistems, 2006. – 368 s.
12. Tevyashev A.D. Vishcha matematika u prikladah ta zadachah : u 3 ch. CH. 1 : Linijna algebra i analitichna geometriya. Diferencialne chislennya funkciï odnicï zminnoi : navch. posib. / A.D. Tevyashev, O.G. Litvin. – Harkiv : HNURE, 2002. – 552 s.
13. Buhkalo S.I. Deyaki vlastivosti polimernih vidhodiv u yakosti sirovini dlya energo- i resursozberigayuchih procesiv // *Integrovani tekhnologii ta energozberezhennya*. – H.: NTU «HPI». 2014. – № 4. – s. 29–33.
14. Buhkalo S.I. Modeli energetichnogo miksu dlya utilizacii polimernoï chastki TPV // *Visnik NTU «HPI»*. – H.: NTU «HPI». 2016. – № 19 (1191). – s. 23–32.
15. Prishchenko O. P., Chernogor T. T. Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes // *Visnik NTU «HPI» Seriya: Innovacijni doslidzhennya u naukovih robotah studentiv*. – Harkiv : NTU «HPI», 2019. – №15 (1340). – S. 36 – 41.
16. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnya 2018r. CH. II / za red. prof. Sokola Є.І. H.:NTU «HPI». 205 s.
17. Buhkalo S.I., Iglin S.P. Deyaki modeli doslidzhennya strukturmohimichnih zmin pri ekspluatacii polimernih virobiv. *Integrovani tekhnologii ta energozberezhennya*. H.: NTU «HPI», 2016. № 3. – S. 52–57.

References (transliterated)

1. Vysshaja matematika v primerah i zadachah : ucheb. posob. : T. 1 / Ju.L. Gevorkjan, L.A. Balaka, S.S. Gabriellan i dr. ; pod red. Ju.L. Gevorkjana. – Khar'kov : Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 376 p.
2. Vishcha matematika v prikladakh i zadachakh : u 2 t. T. 1 : Analitichna geometriya ta linijna algebra. Diferencial'ne ta integral'ne chislennya funkciï odnicï zminnoi : navch. posib. / L.V. Kurpa, N.O. Kirillova, G.B. Linnik ta in. ; za red. L.V. Kurpi. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2009. – 532 p.
3. Gevorkyan YU.L. Kratkij kurs vysshej matematiki : ucheb. posob. : v 2 ch. CH. 1 / YU.L. Gevorkyan, A.L. Grigor'ev, N.A. CHikina. – Kh. : Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 324 p.
4. Diferencial'ni rivnyannya ta ih zastosuvannya: n-met. posib./ Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Kh. : NTU «KhPI», 2017, p 88.
5. Eryomin V. V. Matematika v himii. – 2-e izd., ispr. / V.V. Eryomin. – M. : MCNMO, 2016. – 64 s.
6. Zbirnik rozrahunkovo-grafichnih zavdan' z vishchoj matematiki : u 2 ch. CH. 1 / N.O. CHikina, I.V. Antonova, L.O. Balaka ta in. ; za red. N.O. CHikinoï. – H. : Pidruchnik NTU «HPI», 2012. – 224 s.
7. Metodicheskie ukazaniya k resheniyu raschetnyh zadanij po teme «Diferencial'nye uravneniya i ih prilozheniya» po kursu vysshej matematiki dlya studentov himicheskikh special'nostej / sost. A.M. Manujlova, E.I. Orlova, T.T. Chernogor i dr. – Har'kov : HPI, 1989. – 76 s.
8. Prishchenko O. P., Chernogor T. T. Analiz prikladiv zastosuvannya diferencial'nih rivnyan' v himichnij ta harchovij tekhnologii // *Visnik NTU «HPI»*. – Harkiv : NTU «HPI», 2018. – № 40 (1316). – s. 39 – 45.
9. Prishchenko O.P., Chernogor T.T., Buhkalo S.I. Deyaki osoblivosti provedennya korelyacijnogo analizu Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnya 2019 r.: u 4 ch. CH. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «HPI». – s.320.
10. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Deyaki osoblivosti provedennya regresijnogo analizu Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnya 2019 r.: u 4 ch. CH. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «HPI». – s. 319.
11. Skateckij V.G. Matematicheskie metody v himii : ucheb. posob. dlya studentov vuzov / V.G. Skateckij, D.V. Sviridov, V.I. YAshkin. – Minsk : TetraSistems, 2006. – 368 s.
12. Tevyashev A.D. Vishcha matematika u prikladah ta zadachah : u 3 ch. CH. 1 : Linijna algebra i analitichna geometriya. Diferencialne chislennya funkciï odnicï zminnoi : navch. posib. / A.D. Tevyashev, O.G. Litvin. – Harkiv : HNURE, 2002. – 552 s.
13. Buhkalo S.I. Deyaki vlastivosti polimernih vidhodiv u yakosti sirovini dlya energo- i resursozberigayuchih procesiv // *Integrovani tekhnologii ta energozberezhennya*. – H.: NTU «HPI». 2014. – № 4. – s. 29–33.
14. Buhkalo S.I. Modeli energetichnogo miksu dlya utilizacii polimernoï chastki TPV // *Visnik NTU «HPI»*. – H.: NTU «HPI». 2016. – № 19 (1191). – s. 23–32.
15. Prishchenko O. P., Chernogor T. T. Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes // *Visnik NTU «HPI» Seriya: Innovacijni doslidzhennya u naukovih robotah studentiv*. – Harkiv : NTU «HPI», 2019. – №15 (1340). – S. 36 – 41.
16. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnya 2018r. CH. II / za red. prof. Sokola Є.І. H.:NTU «HPI». 205 s.
17. Buhkalo S.I., Iglin S.P. Deyaki modeli doslidzhennya strukturmohimichnih zmin pri ekspluatacii polimernih virobiv. *Integrovani tekhnologii ta energozberezhennya*. H.: NTU «HPI», 2016. № 3. – S. 52–57.
18. Buhkalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listya gorih volos'kogo ta kalenduli. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovih tekhnologij*. 2015. № 1/6(73), – s. 22–26. – H. : Tekhnol. centr.
19. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, Vol.70, (2018), – pp.2047–2052.
20. Prishchenko O. P., Chernogor T. T. Vikoristannya tenzoriv pri analizi osoblivostej fizichnih vlastivostej tverdih til // *Visnik NTU «HPI» Seriya: Innovacijni doslidzhennya u naukovih robotah studentiv*. – Harkiv : NTU «HPI», 2020. – №6 (1360). – S. 42 – 48.
21. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Analysis of opportunities of analytical method of optimization in chemical technology // *Visnik NTU «HPI» Seriya: Innovacijni doslidzhennya u naukovih robotah studentiv*. – Harkiv : NTU «HPI», 2020. – №5 (1359). – S. 71 – 77.
22. Zipunnikov Mykola; Bukhhalo Svetlana; Kotenko Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2, pp. 138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
23. Govorov P.P., Buhkalo S.I., Kindinova A.K. Mediko-biologichni aspekti na shljahu rozpovsjudzhennja COVID-19. *Zdorov'ja nacii i vdoskonalennja fizkul'turno-sportivnoi osviti materiali II Mizhn. n-praktichnoi konferencii, 22–23 kvitnja 2021 r./red. kolegija A. V. Kipens'kij, O. V. Bilous [ta in.]*. – Harkiv: Drukarnja Madrid, 2021, – pp. 102–106.: ISBN 978-617-7988-44-0

Надійшла (received) 29.04.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прищенко Ольга Петрівна (Прищенко Ольга Петровна, Prishchenko Olga Petrivna) – старший викладач кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0530-2131> e-mail: priolga2305@gmail.com

Черногор Тетяна Тимофіївна (Черногор Татьяна Тимофеевна, Chernogor Tetiana Timofiyivna) – старший викладач кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7823-7628> e-mail: tatyanchernogor54@gmail.com