

ISSN 2308-4804

SCIENCE AND WORLD

International scientific journal

№ 4 (68), 2019, Vol. I

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

The journal is founded in 2013 (September)

Volgograd, 2019

UDC 53:51+54+67.02+631
LBC 72

SCIENCE AND WORLD

International scientific journal, № 4 (68), 2019, Vol. I

The journal is founded in 2013 (September)
ISSN 2308-4804

The journal is issued 12 times a year

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications.

Registration Certificate: III № ФС 77 – 53534, 04 April 2013

Impact factor of the journal «Science and world» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Australia)

EDITORIAL STAFF:

Head editor: Musienko Sergey Aleksandrovich

Executive editor: Manotskova Nadezhda Vasilyevna

Lukienko Leonid Viktorovich, Doctor of Technical Science

Borovik Vitaly Vitalyevich, Candidate of Technical Sciences

Dmitrieva Elizaveta Igorevna, Candidate of Philological Sciences

Valouev Anton Vadimovich, Candidate of Historical Sciences

Kislyakov Valery Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences

Rzaeva Aliye Bayram, Candidate of Chemistry

Matvienko Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences

Kondrashihin Andrey Borisovich, Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences

Authors have responsibility for credibility of information set out in the articles.

Editorial opinion can be out of phase with opinion of the authors.

Address: Russia, Volgograd, Angarskaya St., 17 «G»

E-mail: info@scienceph.ru

Website: www.scienceph.ru

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

УДК 53:51+54+67.02+631
ББК 72

НАУКА И МИР

Международный научный журнал, № 4 (68), 2019, Том 1

Журнал основан в 2013 г. (сентябрь)
ISSN 2308-4804

Журнал выходит 12 раз в год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС 77 – 53534 от 04 апреля 2013 г.**

Импакт-фактор журнала «Наука и Мир» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Австралия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Мусиенко Сергей Александрович

Ответственный редактор: Маноцкова Надежда Васильевна

Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук

Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук

Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук

Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук

Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук

Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: Россия, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г»

E-mail: info@scienceph.ru

www.scienceph.ru

Учредитель и издатель: Издательство «Научное обозрение»

CONTENTS

Physical and mathematical sciences

- Tattibekov K.S.*
THE CONSTRUCTION OF SOLUTIONS OF ONE
QUASILINEAR SYSTEM OF EQUATIONS BY THE HIROTA'S METHOD 8
- Shaldanbayev A.Sh., Akylbayev M.I., Shomanbayeva M.T., Kopzhassarova A.A., Shaldanbayeva A.A.*
ON THE SPECTRAL PROPERTIES
OF WAVE OPERATOR, PERTURBED BY THE LOWEST TERM..... 12

Chemical sciences

- Jabarov E.E., Ilyasova Kh.N., Makhmudova N.F., Salimova T.A., Teymurova E.M., Yagubov A.I.*
ADSORPTION PROPERTIES OF SOME CATIO-SUBSTITUTED FORMS OF BENTONITES 19
- Makhmudov F.T., Ragimli M.A., Efendiyeva Sh.Z., Aliyeva V.Kh., Ilyasova Kh.A., Abbasov M.A.*
THE SORPTION SULPHONOL-TOXIC COMPONENT
OF ORGANIC NATURE FROM SOLUTIONS ON SOLID SORBENT 23

Technical sciences

- Abidov K.G.*
THE METHOD FOR DETERMINATION OF ZONE
OF ENERGY-EFFICIENT SELF-STARTING OF THE PUMPING UNIT 27
- Aleksandrova A.V., Molchanov D.V., Shelko K.O.*
THE INTRODUCTION OF IoT
AND SELF-ORGANIZING NETWORKS AT MODERN ENTERPRISES..... 30
- Arifjanov A.M., Jurayev Sh.Sh.*
STUDY OF THE WATER RESISTANCE OF BENTONITE..... 33
- Veshkurtsev Yu.M.*
THEORETICAL FOUNDATIONS
OF THE STATISTICAL MODULATION OF QUASIRANDOM SIGNAL..... 36
- Garifullin R.Ya.*
EFFECT OF WATER QUALITY ON THE THERMAL
TRANSFER RATE REDUCTION OF HEAT-TRANSFER
APPARATUSES AND THE METHOD FOR CLEANING FROM SCALING..... 47
- Gorovykh O.G., Alzhanov B.A.*
THE FUZZ OF THE TYPHA PERIANTH
AS A NATURAL SORBENT OF OIL AND OIL PRODUCTS..... 51
- Salam Abdulkhaleq Noaman, Basim Najim Al-din Abed, Kiyas Sabbar Hashim, Nebras Jalel Ibrahim*
SIMPLE ENCRYPTION ALGORITHM USING MATHEMATICAL COMPLEMENT 58
- Rakhmanov A.T., Kuznetsov S.F., Khamrayev A.K.*
ERROR OF STATIC CHARACTERISTICS OF CONVERTER OF DISPERSE
MEDIA MOISTURE WHEN MODELLING THE EXPONENTIAL PROCESS 63

Rakhmanov A.T., Kuznetsov S.F., Khamrayev A.K., Gulyamov S.S.

MATCHING OF LINE-APPROXIMATED STATIC CHARACTERISTICS
OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONVERTERS AND AUTOMATIC BRIDGE 67

Agricultural sciences

Volokitina A.V., Sofronova T.M.

CREATION OF THE RUSSIAN WILDFIRE BEHAVIOUR PREDICTION SYSTEM..... 72

Inzhechik O.G., Akhmediyeva S.A.

SOIL-IMPROVING ROLE OF PERENNIAL GRASSES
IN THE SUBMONTANE STEPPE ZONE OF EAST KAZAKHSTAN 79

Inzhechik O.G., Akhmediyeva S.A.

PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION
OF “KOKTAS” NEW VARIETY OF AWNLESS BROME 81

Nekrasov V.G.

AGRICULTURE PRODUCTION IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA 84

СОДЕРЖАНИЕ

Физико-математические науки

- Таттибеков К.С.*
ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ
КВАЗИЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ХИРОТЫ 8
- Шалданбаев А.Ш., Ақылбаев М.И., Шоманбаева М.Т., Копжасарова А.А., Шалданбаева А.А.*
О СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ
ВОЛНОВОГО ОПЕРАТОРА, ВОЗМУЩЁННОГО МЛАДШИМ ЧЛЕНОМ..... 12

Химические науки

- Джаббаров Э.Э., Ильясова Х.Н., Махмудова Н.Ф., Салимова Т.А., Теймурова Э.М., Ягубов А.И.*
АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ
КАТИОНОЗАМЕЩЁННЫХ ФОРМ БЕНТОНИТОВ 19
- Махмудов Ф.Т., Рагимли М.А., Эфендиева Ш.З., Алиева В.Х., Ильясова Х.А., Аббасов М.А.*
СОРБЦИЯ СУЛЬФОНОЛА – ТОКСИЧНОГО КОМПОНЕНТА
ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ИЗ РАСТВОРОВ НА ТВЁРДОМ СОРБЕНТЕ 23

Технические науки

- Абидов К.Г.*
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО
САМОЗАПУСКА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ 27
- Александрова А.В., Молчанов Д.В., Шелко К.О.*
ВНЕДРЕНИЕ IoT И САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....30
- Арифжанов А.М., Жураев Ш.Ш.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ БЕНТОНИТА 33
- Вешкурцев Ю.М.*
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ
МОДУЛЯЦИИ КВАЗИСЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА..... 36
- Гарифуллин Р.Я.*
ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА СНИЖЕНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ТЕПЛООБМЕННЫХ
АППАРАТОВ И СПОСОБ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ НАКИПИ 47
- Горовых О.Г., Альжанов Б.А.*
ВОЛОСКИ ОКОЛОЦВЕТНИКА ПОЧАТКОВ РОГОЗА
КАК ПРИРОДНЫЙ СОРБЕНТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ 51
- Ноаман Салам Абдулхалек, Басим Наджм Аль-дин Абед, Киян Саббар Хашим, Небрас Джалел Ибрагим*
ПРОСТОЙ АЛГОРИТМ ШИФРОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕМЕНТА..... 58
- Рахманов А.Т., Кузнецов С.Ф., Хамраев А.К.*
ПОГРЕШНОСТЬ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД
ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ПРОЦЕССА..... 63

Рахманов А.Т., Кузнецов С.Ф., Хамраев А.К., Гулямов С.С.
СОГЛАСОВАНИЕ ЛИНЕЙНО-АППРОКСИМИРОВАННЫХ
СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА 67

Сельскохозяйственные науки

Волокитина А.В., Софронова Т.М.
РАЗРАБОТКА РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ 72

Инжечик О.Г., Ахмадиева С.А.
ПОЧВОУЛУЧШАЮЩАЯ РОЛЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ
В ПРЕДГОРНОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА 79

Инжечик О.Г., Ахмадиева С.А.
ПРОДУКТИВНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
НОВОГО СОРТА КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО «КОКТАС» 81

Некрасов В.Г.
АГРАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ 84

УДК 51-73

ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ КВАЗИЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ХИРОТЫ

К.С. Таттибеков, кандидат физико-математических наук, доцент
Таразский государственный педагогический университет, Казахстан

***Аннотация.** В работе построены различные солитонные решения системы нелинейных эволюционных уравнений, описывающей магнон-фононные взаимодействия в 1Д магнетиках и инвариантные относительно групп сдвигов по x и t , удовлетворяющих на бесконечности нулевым граничным условиям.*

***Ключевые слова:** солитоны, Хирота, магнон-фононные, Ландау-Лифшица, трilinearная форма, магнетик, нелинейные дифференциальные.*

Математический аппарат теории солитонов – метод обратной задачи рассеяния – стал мощным инструментом для исследования нелинейных уравнений, в частности, производных. МОЗР позволяет построить точные N-солитонные решения интегрируемых эволюционных уравнений, когда для них известны соответствующие задачи рассеяния. Если последние неизвестны, то N-солитонные решения интегрируемых уравнений могут быть найдены прямыми методами – метод преобразования Бэклунда [1], метод Хироты [5]. Более того, метод Хироты даёт возможность получить солитонные решения и неинтегрируемые уравнения, в частности, производные.

В этой работе построены различные солитонные решения системы нелинейных эволюционных уравнений,

$$4iS_t = 2[S, S_{xx}] + (2u + \{S, \sigma_3\})[S, \sigma_3], \quad (*)$$

$$u_{tt} = u_{xx} - \lambda(S_3)_{xx}. \quad (**)$$

предложенной в работах [4], описывающей магнон-фононные взаимодействия в 1Д магнетиках, удовлетворяющих следующим граничным условиям:

$$S_1(\pm\infty, t) = S_2(\pm\infty, t) = S_3(\pm\infty, t) - 1 = u(\pm\infty, t) = 0. \quad (\Gamma)$$

Перепишем систему (*), (**) в виде

$$iS_t^\pm = S^+ S_{3xx} - S_{xx}^+ S_3 + S^+ u + \Delta S_3 S^+ + \omega S^+, \quad (1a)$$

$$iS_{3t} = \frac{1}{2} (S^- S_{xx}^+ - S^+ S_{xx}^-) \quad (1б)$$

$$u_{tt} = u_{xx} - \lambda S_{3xx} \quad (1в)$$

где $S^\pm = S_1 \pm iS_2$. Здесь мы сделали замену

$$S^+ \rightarrow S^+ e^{i\omega t}$$

где ω – постоянное действительное число, подлежащее к определению.

Далее, используя условие классического спина атомов магнетика

$$S^+ S^- + S_3^2 = 1,$$

уменьшим число неизвестных функции на одну. Для этого достаточно перейти к новой неизвестной функции $W(x, t)$ по формулам

$$S^+ = \frac{2W}{1+W W^*}, \quad S_2 = \frac{1-W W^*}{1+W W^*} \quad (2)$$

где * – означает комплексное сопряжение. Тогда система (1) и граничные условия (Г) переходят соответственно к

$$iW_t + W_{xx} + \frac{2W_x^2}{1+W W^*} - \Delta \frac{1-W W^*}{1+W W^*} - uW - \omega W = 0, \quad (3a)$$

$$u_{tt} = u_{xx} - \lambda \cdot \left(\frac{1-W W^*}{1+W W^*} \right)_{xx} \quad (3b)$$

$$W(\pm\infty, t) = 0, \quad u(\pm\infty, t) = 0. \quad (4)$$

Нетрудно убедиться в том, что система нелинейных дифференциальных уравнений (3) инвариантна относительно группы сдвигов в пространстве независимых переменных

$$(x, t, u, W) \rightarrow (x + v\varepsilon, t + \varepsilon, u, W),$$

ε – действительный параметр, порождённый образующей $\partial_t + v\partial_x$, где v – постоянное число. Глобальными инвариантами этой группы являются

$$\xi = x - vt, \quad u = u, \quad W = W,$$

так что, инвариантно относительно группы сдвигов решение системы (3) имеет вид

$$u(x, t) = u(x - vt), \quad W(x, t) = W(x - vt),$$

определяющий волну неизменного профиля, движущийся с постоянной скоростью v . Тогда система (3) переходит к следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$-ivW_\xi + W_{\xi\xi} - \frac{2W_\xi^2 W^*}{1+W W^*} - \Delta \frac{1-W W^*}{1+W W^*} W - uW - \omega W = 0, \quad (5a)$$

$$(1 - v^2)u_{\xi\xi} = \lambda \left(\frac{1-W W^*}{1+W W^*} \right)_{\xi\xi}, \quad (5b)$$

а граничные условия (4) к

$$W(\pm\infty) = u(\pm\infty) = 0. \quad (6)$$

Уравнение (5b) после двукратного интегрирования, с учетом условия на бесконечности (6), даёт

$$u = -\frac{\lambda}{1-v^2} \left(1 - \frac{1-W W^*}{1+W W^*} \right). \quad (7)$$

После подстановки (7) в (5a) получим

$$-ivW_\xi + W_{\xi\xi} - \frac{2W_\xi^2 W^*}{1+W W^*} - \frac{\lambda + \Delta(1-v^2)}{1-v^2} \frac{1-W W^*}{1+W W^*} W + \frac{\lambda - \omega(1-v^2)}{1-v^2} W = 0 \quad (8)$$

Последнее уравнение интегрируем, используя формализацию Хироты [5]. Подстановка $W = g/f$, где g, f – функции комплексные, в (8) и последующее расщепление приводит к двум уравнениям

$$f^* (-ivD_\xi + D_\xi^2 - \Delta - \omega) g \cdot f + g^* D_\xi^2 g \cdot g = 0, \quad (9a)$$

$$g^* \left(-ivD_\xi + D_\xi^2 + \frac{2\lambda + \Delta(1-v^2)}{1-v^2} - \omega \right) g \cdot f - f^* D_\xi f \cdot f = 0. \quad (9b)$$

где D_ξ^n есть оператор Хироты, определяемый по формуле

$$D_{\xi}^n q \cdot r = \left(\frac{\partial}{\partial \xi} - \frac{\partial}{\partial \xi'} \right)^n q(\xi) \cdot r(\xi') \text{ при } \xi' = \xi.$$

В отличие от обычной для данного метода билинейной формы, выражения (9) являются трилинейными, что усложняет дальнейшие вычисления. Отметим, что трилинейную форму Хироты имеет и уравнение Ландау-Лифшица [2]. Выражения (9) легко могут быть преобразованы к билинейным формам Хироты [5].

Для построения солитонных решений уравнения (8), удовлетворяющих граничному условию (6), разложим функции g, f в формальные ряды теории возмущений

$$g = \varepsilon g_1 + \varepsilon^3 g_3 + \varepsilon^5 g_5 + \dots, \quad (10a)$$

$$f = 1 + \varepsilon^2 f_2 + \varepsilon^4 f_4 + \dots, \quad (10b)$$

где ε – некоторый действительный параметр.

Подставив (10) в (9), и приравняв к нулю коэффициенты при каждой степени ε , получим:

$$\mathbb{P} g_1 \cdot 1 = 0 \quad (11a)$$

$$2f_{2\xi\xi} = g_1^* \mathbb{Q} g_1 \cdot 1 \quad (11b)$$

$$\mathbb{P} g_3 \cdot 1 = -\mathbb{P} g_1 \cdot f_2 - f_2^* \mathbb{P} g_1 \cdot 1 - g_1^* D_{\xi}^2 g_1 \cdot g_1 \quad (11в)$$

$$2f_{2\xi\xi} = g_1^* \mathbb{Q} (g_1 \cdot f_2 + g_3 \cdot 1) + g_3^* \mathbb{Q} g_1 \cdot 1 - 2f_2^* D_{\xi}^2 f_2 \cdot 1 \quad (11г)$$

$$\mathbb{P} g_5 \cdot 1 = -\mathbb{P} (g_1 \cdot f_4 + g_3 \cdot f_2) - f_2^* D_{\xi}^2 \mathbb{P} (g_1 \cdot f_2 + g_3 \cdot 1) - f_4^* \mathbb{P} g_1 \cdot 1 - 2g_1^* D_{\xi}^2 g_1 \cdot g_3 - g_3^* D_{\xi}^2 g_1 \cdot g_1 \quad (11д)$$

и т. д., где через \mathbb{P} и \mathbb{Q} обозначены операторы

$$\mathbb{P} \equiv -iv D_{\xi} + D_{\xi}^2 - \Delta - \omega,$$

$$\mathbb{Q} \equiv -iv D_{\xi} - D_{\xi}^2 + \frac{2\lambda + 4(1-v^2)}{1-v^2} - \omega.$$

Для солитонных решений ряды (10) обрываются. Функция

$$g = \exp(k_1 \xi + \eta_1),$$

где k_1, η_1 – комплексные числа, являются решением уравнения (11a), если имеет место равенство

$$-iv k_1 + k_1 - \Delta - \omega = 0. \quad (12)$$

Тогда из (11б), интегрируя, найдём

$$f_2 = \frac{-iv k_1 - k_1^2 + 2\lambda/(1-v^2) + \Delta - \omega}{2(k_1^* + k_1)^2} \exp\{(k_1 + k_1^*)\xi + \eta_1 + \eta_1^*\}.$$

Уравнение для g_3 (11в), после подстановки в него g_1, f_2 примет вид $\mathbb{P} g_3 \cdot 1 = 0$. Следовательно, в силу линейности оператора, можно взять $g_3 = 0$. Аналогично, из (11г) имеем, что $f_4 = 0$.

Далее нетрудно убедиться в том, что все уравнения для g_i, f_i ($i \geq 3$) в (11) являются линейными однородными, так что возьмём

$$g_i = 0, \quad f_i = 0 \text{ для } i \geq 3.$$

Таким образом, решением трилинейных уравнений (9) являются

$$g = \varepsilon g_1, \quad f = 1 + \varepsilon^2 f_2 \quad (13)$$

где g_1, f_2 – вполне определённые функции.

Теперь можно написать явный вид солитонного решения системы (*), (**). Из (12) имеем, что

$$k_1 = k + iv/2,$$

где k – любое действительное число, и

$$\omega = k^2 - \Delta + v^2/4.$$

Тогда в силу (13), по формулам $W = g/f$, (2), (7) получим точное решение системы уравнений (1) удовлетворяющее граничному условию (Г) в виде

$$S^+ = \frac{2 \exp \left\{ i \frac{v}{2} (x-vt) + i(k^2 - \Delta + \frac{v^2}{4})t + i\eta_0 \right\}}{4|A| ch^2 k(x-vt-x_0) + 2(ReA - |A|) + 1 \sqrt{|A|}} \left\{ (|A| + ReA - iImA) ch k(x-vt-x_0) - (|A| + ReA + iImA) sh k(x-vt-x_0) \right\},$$

$$S_3 = 1 - \frac{2}{4|A| ch^2 k(x-vt-x_0) + 2(ReA - |A|) + 1},$$

$$u = \frac{-2\lambda}{1-v^2} \cdot \frac{1}{4|A| ch^2 k(x-vt-x_0) + 2(ReA - |A|) + 1},$$

где $A = \frac{(v^2 - 4k^2 + 4\Delta)(1-v^2) + 4\lambda - 4ikv(1-v^2)}{16k^2(1-v^2)}$, ($k > 0$), η_0, x_0, v ($v \neq 1$) – любые действительные числа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абловиц, М. Солитоны и метод обратной задачи: пер. с англ. / М. Абловиц, Х. Сигур. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
2. Богдан, М.М. Точные многосолитонные решения уравнений Ландау-Лифшица для неизотропного ферромагнетика / М.М. Богдан, А.С. Ковалев // Письма в ЖЭТФ. – 1980. – Т. 31. – № 8. – С. 453–457.
3. Захаров, В.Е. Коллапс ленгмюровских волн / В.Е. Захаров // ЖЭТФ. – 1972. – Т. 62. – Вып. 5. – С. 1745–1759.
4. Мырзакулов, Р. Новые нелинейные эволюционные уравнения, описывающие динамику магنون-фононных систем / Р. Мырзакулов // Вестник АН Каз ССР. – 1990. – № 1. – С. 74–77.
5. Hirota, R. Bilinearization of Soliton Equations / R. Hirota // J. Phys. Soc. Jap. – 1982. – V. 51. – No. 1. – P. 323–331.

Материал поступил в редакцию 11.03.19.

THE CONSTRUCTION OF SOLUTIONS OF ONE QUASILINEAR SYSTEM OF EQUATIONS BY THE HIROTA'S METHOD

K.S. Tattibekov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Taraz State Pedagogical University, Kazakhstan

Abstract. Various soliton solutions of a system of nonlinear evolution equations describing magnon-phonon interactions in 1D magnets and invariant with respect to groups of shifts in x and t satisfying zero boundary conditions at infinity are constructed.

Keywords: solitons, Hirota, magnon-phonon, Landau-Lifschitz, trilinear form, magnetic, nonlinear differential.

УДК 517.2

О СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ ВОЛНОВОГО ОПЕРАТОРА, ВОЗМУЩЁННОГО МЛАДШИМ ЧЛЕНОМ

А.Ш. Шалданбаев¹, М.И. Ақылбаев², М.Т. Шоманбаева³,
А.А. Копжасарова⁴, А.А. Шалданбаева⁵

¹ доктор физико-математических наук,

^{2,3} кандидат физико-математических наук, ⁴ PhD, ⁵ старший преподаватель

^{1,3,4} Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова,

^{2,5} Региональный социально-инновационный университет (Шымкент), Казахстан

Аннотация. Некорректность минимального волнового оператора общеизвестна, так как нуль для него является бесконечнократным собственным значением. Как показали наши исследования, положение изменится, если возмутить его младшим членом, содержащим в качестве коэффициента спектральный параметр, в итоге задача принимает вид операторного пучка. Полученный пучок операторов легко факторизуется с помощью функционально-дифференциальных операторов первого порядка, спектральные свойства которых легко изучаются классическим методом разделения переменных. Непосредственное применение метода разделения переменных к исходному пучку операторов наталкивается на непреодолимые трудности.

Ключевые слова: отклоняющийся аргумент, сильная разрешимость, спектр, пучок операторов, волновое уравнение, полнота, базисность, задача Дирихле.

1. Введение

Пусть $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ – четырёхугольник ограниченный отрезками: $AB: 0 \leq y \leq 1, x = 0$; $BC: 0 \leq x \leq 1, y = 1$; $CD: 0 \leq y \leq 1, x = 1$; $DA: 0 \leq x \leq 1, y = 0$ (см. Рис 1).

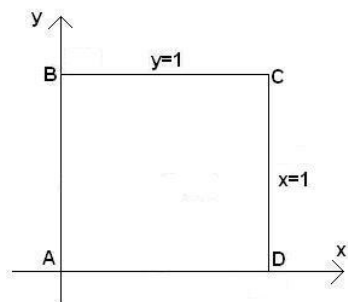


Рисунок 1.

Через $C^{1,1}(\Omega)$ обозначим множество функции $u(x, t)$, непрерывно дифференцируемых в области Ω , по Ω переменным x и t . Под границей области Ω понимаем совокупность отрезков: $\Gamma = AB \cup BC \cup CD \cup DA$.

Исследовать спектральные свойства операторного пучка

$$u_{xx} - u_{yy} = -2\lambda u_x + \lambda^2 u; \quad (1.1)$$

$$u|_{y=0} = 0, \quad (1.2)$$

$$u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, \quad |\alpha| = 1. \quad (1.3)$$

2. Методы исследований

Лемма 2.1 [9]. Пусть A – плотно определённый оператор в гильбертовом пространстве H . Тогда (а) A^* – существует и замкнут; (б) A допускает замыкание, если и только если $D(A^*)$ плотно в H , причем в этом случае $\overline{A} = A^{**}$.

Лемма 2.2. Множество функции, финитных в области Ω , плотно в пространстве $L^2(\Omega)$ [8].

Лемма 2.3. Если симметрический оператор A имеет полную систему собственных векторов, то замыкание этого оператора \bar{A} самосопряжён в H , иначе говоря, оператор A самосопряжён в существенном в H .

Лемма 2.4. Оператор

$$Lu = iu_x(x, y) + u_y(x, 1 - y), \quad (2.1)$$

$$D(L) = \{u \in C^{1,1}(\Omega) \cap C(\bar{\Omega}); u|_{y=0} = 0, u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, |\alpha| = 1\} \quad (2.2)$$

является симметрическим оператором в пространстве $L^2(\Omega)$.

Доказательство. Пусть $u, v \in D(L)$, тогда

$$\begin{aligned} (Lu, v) &= \int_0^1 \int_0^1 [iu_x(x, y) + u_y(x, 1 - y)] \cdot \bar{v}(x, y) dx dy = \int_0^1 \int_0^1 iu_x(x, y) \bar{v}(x, y) dx dy + \\ &\int_0^1 \int_0^1 u_y(x, 1 - y) \bar{v}(x, y) dx dy = J_1 + J_2. \end{aligned}$$

С помощью теоремы Фубини и интегрирования по частям преобразуем интегралы J_1, J_2 .

$$\begin{aligned} J_1 &= \int_0^1 \int_0^1 iu_x(x, y) \bar{v}(x, y) dx dy = \int_0^1 \left[\int_0^1 iu_x(x, y) \bar{v}(x, y) dx \right] dy = \int_0^1 \left[\int_0^1 i\bar{v}(x, y) d_x u \right] dy = \\ &\int_0^1 \left[i\bar{v}(x, y) u(x, y) \Big|_0^1 - i \int_0^1 u(x, y) \bar{v}_x(x, y) dx \right] dy = \int_0^1 \left[\int_0^1 u(x, y) \overline{iv_x(x, y)} dx \right] dy = \\ &\int_0^1 \int_0^1 u(x, y) \overline{iv_x(x, y)} dx dy; \\ J_2 &= \int_0^1 \int_0^1 u_y(x, 1 - y) \bar{v}(x, y) dx dy = \int_0^1 \left[\int_0^1 u_y(x, 1 - y) \bar{v}(x, y) dy \right] dx = \int_0^1 \left[- \int_0^1 \bar{v}(x, y) d_y u(x, 1 - y) \right] dx = \\ &\int_0^1 \left[- \bar{v}(x, y) u(x, 1 - y) \Big|_0^1 + \int_0^1 u(x, 1 - y) \bar{v}_y(x, y) dy \right] dx = \int_0^1 \left[\int_0^1 u(x, 1 - y) \bar{v}_y(x, y) dy \right] dx = \\ &\int_0^1 \int_0^1 u(x, y) \bar{v}_y(x, 1 - y) dx dy; \end{aligned}$$

Следовательно, $(Lu, v) = \int_0^1 \int_0^1 u(x, y) [\overline{iv_x(x, y)} + v_y(x, 1 - y)] dx dy = (u, Lv)$.

Лемма 2.5. Спектральная задача

$$Lw = -w''(y) = \nu^2 w(y),$$

$$w(0) = w'(1) = 0$$

имеет бесконечное множество собственных значений

$$\nu_n = n\pi - \frac{\pi}{2}, \quad n = 1, 2, \dots$$

и соответствующих им собственных функций

$$w_n(y) = \sqrt{2} \sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)y, \quad n = 1, 2, \dots,$$

которые образуют ортонормированный базис пространства $L^2(0,1)$.

Доказательство.

Ортогональность собственных функций $w_n(y)$ следует из симметричности соответствующего дифференциального оператора L .

Если $Lw_n = \nu_n w_n, Lw_m = \nu_m w_m$, то $(Lw_n, w_m) = \nu_n (w_n, w_m), (w_n, Lw_m) = \nu_m (w_n, w_m), \Rightarrow \nu_n (w_n, w_m) = \nu_m (w_n, w_m), \Rightarrow (\nu_n - \nu_m)(w_n, w_m) = 0, \Rightarrow (w_n, w_m) = 0$ при $n \neq m$.

Ортонормированность собственных функций $v_n(x)$ показывается непосредственным вычислением, остаётся показать полноту.

Допустим, что для некоторой функции $f(y)$ из $L^2(0,1)$ имеет место равенство

$$\int_0^1 f(y)w_n(y)dy = 0, \quad n = 1, 2, \dots,$$

т.е.

$$\int_0^1 f(y)\sin\left(n\pi + \frac{\pi}{2}\right)ydy = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

Тогда имеет место также равенство

$$\int_0^1 f(y)\sin\left((n-1)\pi + \frac{\pi}{2}\right)ydy = 0, \quad n = 1, 2, \dots$$

или

$$\int_0^1 f(y)\sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)ydy = 0. \quad (2.4)$$

Сложив равенств (2.3) и (2.4), получим $2\int_0^1 f(y)\cos\frac{\pi}{2}y \cdot \sin n\pi ydy = 0, \quad n = 1, 2, \dots$

В силу полноты системы функции $\{\sin n\pi y\}$ в $L^2(0,1)$ [9], получим $f(y)\cos\frac{\pi y}{2} = 0$ почти всюду в $(0,1)$, следовательно, $f(y) = 0$ почти всюду в $(0,1)$, что и требовалось доказать.

Лемма 2.6. Спектральная задача

$$iv_x = \mu v(x), \quad v(0) = \alpha v(1), \quad |\alpha| = 1 \quad (2.5)$$

имеет бесконечное множество вещественных собственных значений

$$\mu_m = \arg \alpha + 2m\pi \cdot i, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.6)$$

и соответствующих им собственных функций

$$v_m(x) = \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x], \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (2.7)$$

которые образуют ортонормированный базис пространства $L^2(0,1)$.

Лемма 2.7. Если ортогональные системы $\{\varphi_n(x)\}$ и $\{\psi_n(x)\}$, $n = 1, 2, \dots$ полны в пространстве $L^2(0,1)$, то их произведения $\{\varphi_n(x) \cdot \psi_m(y)\}$, $m, n = 1, 2, \dots$ полны в пространстве $L^2(0,1)$, где $\Omega = [0,1] \times [0,1]$ [8].

3. Результаты исследований

Теорема 3.1. Краевая задача

$$Lu = iu_x(x, y) + u_y(x, 1-y) = f(x, y) \quad (3.1)$$

$$u|_{y=0} = 0, \quad u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, \quad |\alpha| = 1, \quad (3.2)$$

имеет бесконечное множество вещественных собственных значений

$$\lambda_{mn} = \arg \alpha + 2m\pi + (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

и соответствующих им собственных функций

$$u_{mn}(x, y) = \sqrt{2} \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x] \cdot \sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)y,$$

которые образуют ортонормированный базис пространства $L^2(0,1)$.

Доказательство. Пусть $Su(x, y) = u(x, 1-y)$, тогда

$$iu_x(x, y) + u_y(x, 1-y) = \left(i \frac{\partial}{\partial x} + S \frac{\partial}{\partial y} \right) u(x, y),$$

мы воспользуемся этой формулой при вычислениях.

Пусть $u_{mn}(x, y) = \sqrt{2} \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x] \cdot \sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)y$, $n = 1, 2, \dots$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Тогда

имеют место формулы

$$i \frac{\partial}{\partial x} u_{mn}(x, y) = (\arg \alpha + 2m\pi) u_{mn}(x, y);$$

$$S \frac{\partial}{\partial y} u_{mn}(x, y) = \sqrt{2} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right) \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x] \cdot \cos\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)(1-y) =$$

$$\sqrt{2} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right) \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x] \cdot (-1)^{n+1} \sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)y = (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right) u_{mn}(x, y),$$

$$\left(i \frac{\partial}{\partial x} + S \frac{\partial}{\partial y} \right) u_{mn}(x, y) = \left[\arg \alpha + 2m\pi + (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right) \right] u_{mn}(x, y).$$

Следовательно, $i \frac{\partial}{\partial x} u_{mn}(x, y) + u_{mny}(x, 1-y) = \lambda_{mn} u_{mn}(x, y)$, где

$$\lambda_{mn} = \arg \alpha + 2m\pi + (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Теорема 3.2. Оператор

$$Lu = iu_x(x, y) + u_y(x, 1-y), \quad (3.3)$$

$$D(L) = \{u \in C^{1,1}(\Omega) \cap C(\bar{\Omega}); u|_{y=0} = 0, u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, |\alpha| = 1\} \quad (3.4)$$

самосопряжён в существенном в пространстве $L^2(\Omega)$.

Доказательство. Эта теорема является простым следствием теоремы 3.1, леммы 2.3 и 2.4.

До настоящего времени мы не говорили о спектре оператора L преднамеренно, ибо это понятие при-
сущее лишь замкнутым оператором, а наш оператор до настоящего времени был незамкнутым. В силу теоремы
3.2 имеет место равенство $\bar{L} = L^*$.

Далее под оператором L будем понимать замыкание оператора (3.3)-(3.4) и исследуем его спектр.
Собственные значения этого оператора имеют вид: $\lambda_{mn} = \arg \alpha + 2m\pi + (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right)$, $n = 1, 2, \dots$,
 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

а) Пусть $n = 2k$, $k = 1, 2, \dots$, тогда

$$\lambda_{m,2k} = \arg \alpha + 2m\pi - \left(2k\pi - \frac{\pi}{2} \right) = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} + 2(m-k) + \frac{1}{2} \right] = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} + \frac{1}{2} + 2(m-k) \right].$$

Величина $2(m-k)$ пробегает все чётные числа, аргумент α лежит в пределах $0 \leq \arg \alpha < 2\pi$, по-
этому $0 \leq \frac{\arg \alpha}{\pi} < 2$, $\frac{1}{2} \leq \frac{\arg \alpha}{\pi} + \frac{1}{2} < \frac{5}{2}$. Между числами $\frac{1}{2}$ и $\frac{5}{2}$ находится лишь одно чётное число 2,
которое достигается при $\frac{\arg \alpha}{\pi} = \frac{3}{2}$. Таким образом, $\lambda_{m,2k} \neq 0$ тогда и только тогда, когда $\frac{\arg \alpha}{\pi} \neq \frac{3}{2}$.

б) Пусть $n = 2k - 1$, $k = 1, 2, \dots$, тогда

$$\lambda_{m,2k-1} = \arg \alpha + 2m\pi(2k-1)\pi - \frac{\pi}{2} = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} + 2m + 2k - 1 - \frac{1}{2} \right] = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} - \frac{3}{2} + 2(m+k) \right];$$

Величина $2(m+k)$ пробегает всех чётных целых чисел. Имеет место неравен-
ство: $-\frac{3}{2} \leq \frac{\arg \alpha}{\pi} - \frac{3}{2} < \frac{1}{2}$.

Между числами $-\frac{3}{2}$ и $\frac{1}{2}$ находится лишь одно чётное число 0, которое достигается при $\frac{\arg \alpha}{\pi} = \frac{3}{2}$.

Теорема 3.3. Спектр оператора

$$Lu = iu_x(x, y) + u_y(x, 1-y), \quad (3.3)$$

$$D(L) = \{u \in C^{1,1}(\Omega) \cap C(\bar{\Omega}); u|_{y=0} = 0, u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, |\alpha| = 1\} \quad (3.4)$$

состоит из двух серий

$$а) \lambda_m^{(1)} = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} + \frac{1}{2} + 2m \right], m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; б) \lambda_m^{(2)} = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} - \frac{3}{2} + 2m \right], m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

бесконечнократных собственных значений, т.е. каждое из этих значений принимается бесконечное число раз, соответствующие им собственные функции образуют ортонормированный базис пространства $L^2(\Omega)$.

Обратный оператор L^{-1} существует тогда и только тогда, когда

$$\frac{\arg \alpha}{\pi} \neq \frac{3}{2}. \quad (3.5)$$

Теорема 3.4. Краевая задача,

$$Lu = iu_x(x, y) + u_y(x, 1-y) = f(x, y), (x, y) \in \Omega;$$

$$u|_{y=0} = 0, \quad u|_{x=0} = \alpha u|_{x=1}, \quad |\alpha| = 1,$$

сильно разрешима в пространстве $L^2(\Omega)$ тогда и только тогда, когда

$$\frac{\arg \alpha}{\pi} \neq \frac{3}{2}. \quad (3.5)$$

При выполнении условия (3.5) обратный оператор $(\bar{L})^{-1}$ существует, ограничен, но некомпактен, ибо присутствует непрерывный спектр оператора \bar{L} .

Теорема 3.5. Спектральная задача (1.1)-(1.3) имеет бесконечное множество собственных значений

$$\lambda_{mn} = \arg \alpha + 2m\pi + (-1)^{n+1} \left(n\pi - \frac{\pi}{2} \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

и соответствующих им собственных функций

$$u_{mn}(x, y) = \sqrt{2} \exp[-i(\arg \alpha + 2m\pi)x] \cdot \sin\left(n\pi - \frac{\pi}{2}\right)y,$$

которые образуют ортонормированный базис пространства $L_2(\Omega)$.

Спектр пучка операторов (1.1)-(1.3) состоит из двух серий

$$а) \lambda_m^{(1)} = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} + \frac{1}{2} + 2m \right], m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots;$$

$$б) \lambda_m^{(2)} = \pi \left[\frac{\arg \alpha}{\pi} - \frac{3}{2} + 2m \right], m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

бесконечнократных собственных значений, т.е. каждое из этих значений принимается бесконечное число раз, соответствующие им собственные функции образуют ортонормированный базис пространства $L^2(\Omega)$. Доказательство теоремы легко следует из выше изложенных теорем 3.1-3.4.

4. Выводы.

Отметим, что оператор (3.3)- (3.4) является двумерным обобщением оператора, рассмотренного в работах [1, 2, 4, 5, 10, 11], который нашёл приложения к оператору теплопроводности в [12-14] и к некорректным задачам математической физики в [7, 15].

5. Заключение

Спектральные свойства волнового оператора кардинально изменятся, если его возмутить младшим членом, содержащим спектральный параметр, в частности, он окажется обратимым при определённых значениях коэффициента в граничном условии. Отличительной особенностью задачи является отделимость собственных

значений, и их бесконечно кратность, что отличает его от краевых задач с компактной резольвентой. Ноль является бесконечнократным собственным значением задачи Дирихле волнового уравнения, добавка младшего члена со спектральным параметром изменяет ситуацию, оператор становится обратимым, но вследствие этого другие собственные значения становятся бесконечнократными, т.е. все инвариантные подпространства становятся бесконечномерными. Возможно, это первый пример такого оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметова, С.Т. О полноте собственных векторов задачи Коши / С.Т. Ахметова, А.Ш. Шалданбаев // “Наука и образование Южного Казахстана”. – Шымкент. – 2002. – № 27. – С. 58–62.
2. Ахметова, С.Т. О полноте собственных векторов периодической и антипериодической задачи / С.Т. Ахметова, А.Ш. Шалданбаев // “Наука и образование Южного Казахстана”. – Шымкент. – 2003. – № 34. – С. 25–31.
3. Дезин, А.А. Общие вопросы теории граничных задач / А.А. Дезин. – М.: Наука, 1980. – 207 с.
4. Кальменов, Т.Ш. Дифференциальные уравнения на окружности с отклоняющимся аргументом / Т.Ш. Кальменов, Г.М. Спабекова, А.Ш. Шалданбаев // “Наука и образование Южного Казахстана”, серия экономика, мат., инф., физика. – 2004. – № 4 (39). – С. 122–127.
5. Кальменов, Т.Ш. К спектральной теории уравнений с отклоняющимся аргументом / Т.Ш. Кальменов, С.Т. Ахметова, А.Ш. Шалданбаев // Математический журнал. – Алматы. – 2004. – Т. 4. – № 3 (13). – С. 41–48.
6. Кальменов, Т.Ш. Краевые задачи для линейных уравнений в частных производных гиперболического типа / Т.Ш. Кальменов. – Шымкент: Изд-во «Гылым», 1993. – 327 с.
7. Кальменов, Т.Ш. Об одном рекуррентном методе решения сингулярно возмущенной задачи Коши для уравнения второго порядка / Т.Ш. Кальменов, А.Ш. Шалданбаев // Математические труды. – Новосибирск. – 2010. – Т. 13. – № 2. – С. 128–138.
8. Колмогоров, А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1968.
9. Мизохата, С. Теория уравнений с частными производными / С. Мизохата. – М.: Мир, 1977. – 504 с.
10. Шалданбаев, А.Ш. О задаче Коши для уравнения первого порядка с отклоняющимся аргументом / А.Ш. Шалданбаев, К.Ж. Рустемова // “Поиск”, серия естественных и технических наук. – Алматы. – 2009. – № 4. – С. 199–204.
11. Шалданбаев, А.Ш. О периодической задаче для уравнения первого порядка с отклоняющимся аргументом / А.Ш. Шалданбаев, К.Ж. Рустемова // “Поиск”, серия естественных и технических наук. – Алматы. – 2009. – № 4. С. 204–209.
12. Шалданбаев, А.Ш. О природе спектра оператора Коши- Неймана для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом / А.Ш. Шалданбаев, М.Т. Шоманбаева // «Наука и образование Южного Казахстана», ЮКГУ им. М. Ауезова, 2006.
13. Шоманбаева, М.Т. О базисности собственных функций уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом / Шоманбаева М.Т. // «Поиск». – Алматы, 2006. – № 2.
14. Шоманбаева, М.Т. О задаче Неймана для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом / М.Т. Шоманбаева // «Поиск». – Алматы, 2006. – № 3.
15. Kalmenov, T.Sh. On a criterion of solvability of the inverse problem of heat conduction / T.Sh. Kalmenov, A.Sh. Shaldanbaev // Journal of Inverse and Ill-posed problems. – 2010. – V.18. – No. 4. – P.352–369.

Материал поступил в редакцию 12.03.19.

ON THE SPECTRAL PROPERTIES OF WAVE OPERATOR, PERTURBED BY THE LOWEST TERM

A.Sh. Shaldanbayev¹, M.I. Akylbayev², M.T. Shomanbayeva³,
A.A. Kopzhassarova⁴, A.A. Shaldanbayeva⁵

¹ Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

^{2,3} Candidate of Physical and Mathematical Sciences, ⁴ PhD, ⁵ Senior Lecturer

^{1,3,4} M. Auezov South Kazakhstan State University,

^{2,5} Regional Social and Innovative University (Shymkent), Kazakhstan

Abstract. In this paper, we study the spectral properties of an operator beam for a wave equation perturbed by the lower-order term. The incorrectness of the minimal wave operator is well known, since zero is an infinite-to-one eigenvalue for it. In our work, we show that the situation changes if the operator is perturbed by a lower-order term containing the spectral parameter as a coefficient, and as a result, the studied problem takes the form of a bundle of operators. The resulting bundle of operators is easily factorized by first-order functional-differential operators which spectral properties are easily studied by the classical method of separation of variables. Direct application of the method of separation of variables to the original bundle of operators encounters the insurmountable difficulties. When adding a lower-order term with a spectral parameter and expanding the domain of definition, the task becomes solvable and the operator becomes reversible. In particular, it becomes reversible at certain values of the coefficient in the boundary condition.

Keywords: deviating argument, strong solvability, spectrum, bundle of operators, wave equation, completeness, basis property, Dirichlet problem.

Chemical sciences

Химические науки

УДК 651.183.541.18

**АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ
КАТИОНОЗАМЕЩЕННЫХ ФОРМ БЕНТОНИТОВ****Э.Э. Джаббаров¹, Х.Н. Ильясова², Н.Ф. Махмудова³, Т.А. Салимова⁴, Э.М. Теймурова⁵, А.И. Ягубов⁶**^{1,2} младший научный сотрудник, ³ магистр, ⁴ кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник, ⁵ кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
⁶ доктор химических наук, заведующий лабораторией^{1, 2, 4, 5, 6} Институт катализа и неорганической химии имени академика М. Нагиева НАН Азербайджана,
³ Бакинский государственный университет, Азербайджан

***Аннотация.** Исследована адсорбция азота и метилена голубого (МГ) на катионозамещённых формах бентонита Даш-Салахлинского месторождения. Установлено, что с увеличением заряда обменных катионов увеличивается значение удельной поверхности бентонитовых сорбентов. Установлено, что на кривых ДТА адсорбции МГ первые эндотермические эффекты наблюдаются в температурном интервале 100-140 °С, что характеризует десорбцию физически адсорбированных молекул МГ с поверхности бентонитовых образцов. Этот факт также подтверждён расчётными данными по энергии десорбции МГ на исследованных образцах – эти значения колеблются в интервале 64.38-99.74 кДж/моль г. Выявлено, что экзотермические эффекты с максимумами 260-660 °С характеризуют частичное окисление адсорбированных молекул МГ на поверхности бентонитовых образцов.*

***Ключевые слова:** бентонит, адсорбция, метилен голубой.*

Введение

В различных областях промышленности для уменьшения проникновения вредных веществ в атмосферу и воду используют сорбционный метод [1]. Сорбционные методы особенно важны в перерабатывающей промышленности, где вредные вещества являются очень токсичными или имеют интенсивный запах и для них значения ПДК очень низкие.

Глинистые минералы обладают высокой эффективностью в очистке воды от красителей и других органических загрязнений. В ряде работ исследовано влияние геометрии и химии поверхности глинистых минералов на адсорбцию красителей [5, 6]. Путем модифицирования и термической активации на поверхности глинистых сорбентов создаются благоприятные условия для реализации активности одних адсорбционных центров и подавления других. Поэтому оценка молекулярноситовых эффектов адсорбентов в зависимости от их модифицирования имеет научную и практическую значимость.

Цель данного исследования - определение удельной поверхности монокатионозамещённых форм Даш-Салахлинского бентонита и изучение их сорбционных свойств по адсорбции метилена голубого.

Экспериментальная часть

Удельные поверхности ($S_{БЭТ}$) были измерены из изотермы адсорбции-десорбции азота на бентонитовых образцах при -105°С с использованием аппарата Micrometrics ASAP-2000 [2-4]. ДТА и TG исследования сорбентов проводили на дериватографе марки “Паулик-Паулик-Эрдей”. Масса навески: для ДТА-300-700 мг, для TG-100-200 мг. Образцы исследовали в интервале температур 30-900 °С.

Анализ экспериментальных результатов адсорбции азота на исходном бентоните и его монокатионозамещённых формах при 105 °С показал, что природа обменных катионов существенно влияет на значение удельной поверхности сорбента. В табл. 1 приведены данные удельной поверхности ($S_{БЭТ}$) по сорбции азота. Из табл. 1 видно, что с увеличением заряда обменных катионов увеличивается значение удельной поверхности бентонита. Это объясняется тем, что полизарядные катионы в межплоскостях глинистых минералов располагаются в гидратной форме.

Данные удельной поверхности природного бентонита
и его монокатионозамещённых форм по сорбции азота

Даш-Салахлинское месторождение бентонитовых образцов	S, м ² /г	V _Σ , см ³ /г
Исходная форма	392	0,133
Na ⁺ -форма	329	0,183
Cr ³⁺ -форма	425	0,187
Cd ²⁺ -форма	403	0,183
Co ²⁺ -форма	375	0,176
Cu ²⁺ -форма	416	0,170
Ni ²⁺ -форма	370	0,174

Адсорбционные свойства модифицированных бентонитовых сорбентов были исследованы дериватографическим методом по адсорбции метилена голубого. Опыты проводились следующим образом: бентонитовые образцы нагревали в печи при температуре 400 °С в течение 3 часов. После их остывания образцы с метиленом голубым снова помещали в печь на один час при температуре 300 °С. Затем снимали дериватограммы исследуемых образцов исходного бентонита и его модифицированных форм различными катионами после адсорбции метилена голубого.

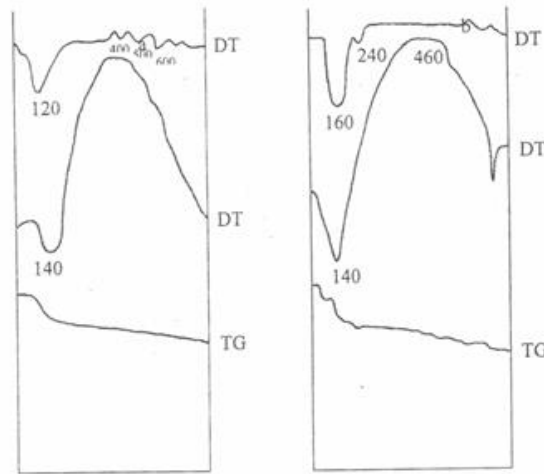


Рис. 1. Дериватограммы исходного бентонита (а) и его Cu²⁺- формы (б) после адсорбции метилена голубого

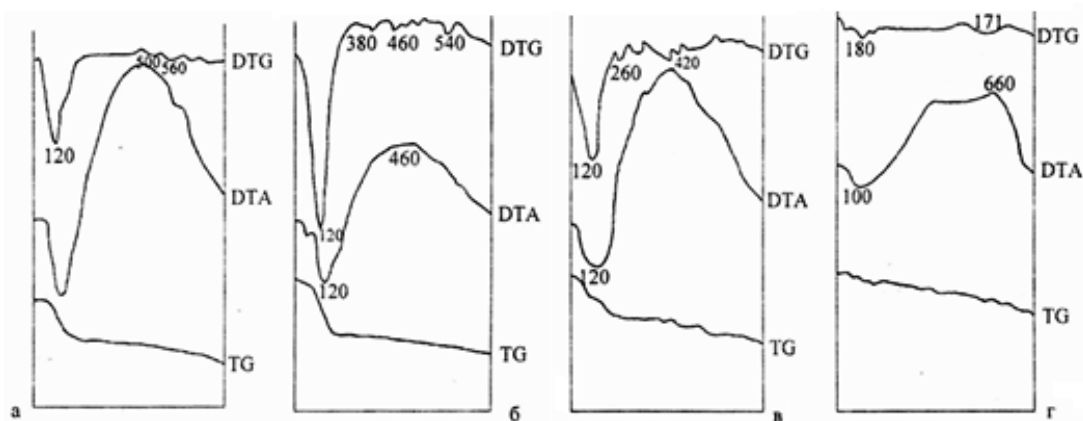


Рис. 2. Дериватограммы Cu²⁺- (а), Co²⁺- (б), Cr³⁺- (в) и Cd²⁺- (г) форм бентонита после адсорбции ими метилена голубого

Как видно, на кривых DTA первые эндотермические эффекты наблюдаются с максимумами в температурном интервале 100-140 °С. Наблюдающиеся на кривых DTA и DTG эндотермические эффекты с максимумами в вышеуказанном интервале температур характеризуют десорбцию физически адсорбированных молекул метилена голубого с поверхности исходного бентонита и его монокатионозамещённых форм. Этот факт также подтверждён расчётными данными по энергии десорбции метилена голубого на исследованных образцах, которые были определены по площадям эндотермических эффектов, эти значения колеблются в интервале

64.38-99.74 кДж/моль (табл. 2). Экзотермические эффекты с максимумами 260-660 °С характеризуют частичное окисление адсорбированных молекул метилена голубого на поверхности бентонитовых образцов. Усиление интенсивности пика у образцов монокатионных форм бентонита, насыщенных МГ, можно объяснить увеличением их ёмкости. Были рассчитаны объёмы микропор модифицированных бентонитовых образцов и количество адсорбированного метилена голубого. Результаты вычисленных значений приведены в табл. 2.

Как видно из табличных данных, природа, заряд и ионный радиус обменных катионов существенно влияют на эти величины.

Таблица 2

Интерпретация дериватографических исследований сорбции метилена голубого на исходном Даш-Салахлинском бентоните и некоторых его модифицированных формах

Бентонитовые образцы	Объем микропор, V, см ³ /г	Температура максимума эндотермического эффекта, T, °С(DTA)	Температура максимума эндотермического эффекта, T, °С(DTG)	Энергия десорбции метилена голубого, Q ₁ , кДж/моль г	Потеря массы, m, моль/г
Исходный бентонит	0,094	140	120	72,60	0,09
Cd ²⁺ -бентонит	0,12	140	160	99,74	0,13
Co ²⁺ -бентонит	0,10	120	120	87,70	0,16
Cu ²⁺ -бентонит	0,12	100	160	86,60	0,03
Cr ³⁺ -бентонит	0,13	120	120	110,94	0,15
Ni ²⁺ -бентонит	0,11	100	100	64,30	0,05

Выводы

1. Выявлено, что дериватографические исследования исходного и модифицированных форм бентонита после сорбции органического красителя показывают, что в первичных и вторичных порах бентонитовых образцов происходит сорбция метилена голубого.

2. По количеству потери массы было определено содержание адсорбируемого МГ на бентонитовых образцах и установлено, что самой большой адсорбционной способностью по отношению к катионным красителям обладает Cr (III)-форма бентонита, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аннагиев, М.Х. Исследование адсорбции фенола на модифицированных формах бентонита / М.Х. Аннагиев, Р.С. Сафаров, Х.М. Адыгезалов и др. // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – Вып. 1. – С. 172–174.
2. Исмаилова, В.Э. Динамика сорбции ионов Pb²⁺ и Mn²⁺ из растворов, моделирующих состав производственных жидких отходов на модифицированных природных сорбентах / В.Э. Исмаилова, Ф.Т. Махмудов, А.И. Ягубов и др. // Science and World International scientific journal. – Volgograd. – 2018. – № 10 (62). – Vol. 1. – С. 47–51.
3. Мамедова, С.А. Получение и ИК-спектроскопические исследования полимерных композиционных материалов на основе модифицированных бентонитов / С.А. Мамедова, А.И. Ягубов, П.А. Фатуллаева и др. // Известия Волгоградского Политехнического Университета. – 2018. – № 4. – С. 235–240.
4. Хохлова, Т.Д. Адсорбция красителей на активных углях и графитированной термической саже / Т.Д. Хохлова, Ле Тхи Хиен // Вестн. Моск. Ун-та. Сер.2 химия. – 2007. – Т. 48. – № 3. – С. 157.
5. Ягубов, А.И. Очистка сточных вод от катионных красителей с использованием монокатионных форм бентонита / Ягубов А.И., Биннатова Л.А., Мурадова Н.М. и др. // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – Вып. 3. – С. 421–424.
6. Shahab Nasser, Ali Yagubov, Abdolali Alemi, Ali Nuriyev. Monografy Application of Nanoparticles in Industrial Waste water treatment. – 2018. – P. 147–152.

Материал поступил в редакцию 29.03.19.

ADSORPTION PROPERTIES OF SOME CATIO-SUBSTITUTED FORMS OF BENTONITES

E.E. Jabarov¹, Kh.N. Ilyasova², N.F. Makhmudova³, T.A. Salimova⁴, E.M. Teymurova⁵, A.I. Yagubov⁶

^{1,2} Junior Research Officer, ³ Master, ⁴ Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Officer,

⁵ Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer, ⁶ Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory

^{1,2,4,5,6} Academician M. Naghiyev Institute of Catalysis

and Inorganic Chemistry of Azerbaijan National Academy of Sciences,

³ Baku State University, Azerbaijan

Abstract. Adsorption of nitrogen and methylene blue (MB) on modified forms of bentonite from Dash-Salahly deposit has been studied. It revealed that as charge of exchangeable cations rises, values of specific surface of bentonite increase as well. It showed that the first endothermic effect on DTA curves are observed at temperatures 100-140 °C that characterizes physically adsorbed MB molecules from surface of bentonite samples. This fact was also confirmed by calculated data by MB desorption energy on reviewed samples: the value range between 64.38-99.74 kJ/mol. It has established that exothermic effects with maximums 260-660 °C describe partial oxidation of adsorbed molecules of MB on surface of bentonite samples.

Keywords: bentonite, adsorption, methylene blue.

УДК 546.07.546.742

СОРБЦИЯ СУЛЬФОНОЛА – ТОКСИЧНОГО КОМПОНЕНТА ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ИЗ РАСТВОРОВ НА ТВЁРДОМ СОРБЕНТЕ

Ф.Т. Махмудов¹, М.А. Рагимли², Ш.З. Эфендиева³,В.Х. Алиева⁴, Х.А. Ильясова⁵, М.А. Аббасов⁶¹ доктор химических наук, главный научный сотрудник,^{2, 6} кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник,^{3, 4} кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ⁵ научный сотрудник

Институт катализа и неорганической химии имени академика М. Нагиева

НАН Азербайджана (Баку), Азербайджан

Аннотация. На основании сорбции токсичного компонента органической природы сульфонола на анионите АВ–17–ОН из сточных вод рассчитаны термодинамические параметры процесса. Установлено что, ΔG^0 уменьшается во всех случаях с увеличением заполнения поверхности сорбента. При этом, адсорбция сульфонола на твёрдом сорбенте с повышением температуры увеличивается, что отражается уменьшением ΔS^0 . Во всех случаях, полученные значения ΔH^0 на порядок ниже значений, присущих хемосорбции и отвечают механизму физической сорбции.

Ключевые слова: сульфонол, анионит, термодинамические параметры.

Введение

Защита окружающей среды является одним из актуальных вопросов современной химии. Охрана воды от загрязнений требует поиск эффективных способов удаления загрязнений из природных и сточных вод и возврата очищенных стоков для повторного использования. Сорбционный метод является наиболее эффективным и экономически целесообразным среди существующих физико-химических методов очистки природных и производственных вод от токсичных соединений. Простота аппаратного оформления, возможность достаточно легко проводить регенерацию при минимальном расходе реагентов являются преимуществами данного метода [4].

В работе [3] на основании изучения закономерностей кинетики и статики (равновесия) сорбции фенола и алкилфенолов из водных растворов на различных фракциях промышленных сорбентов АВ–17–ОН и КАД–йодный получены кинетические кривые и изотермы сорбции фенола и сульфонола. Определены формы полученных изотерм: при адсорбции фенола на активированном угле КАД–йодный выпуклая, на АВ–17–ОН, приносящая L–типу [1]. Обработка изотерм с помощью уравнения Ленгмюра позволила придать им линейный вид и из наклона прямых – найти равновесные значения сорбции (S_∞), вычислить константы адсорбционного равновесия.

Целью настоящей работы является определение значений термодинамических параметров ΔS^0 , ΔH^0 , ΔG^0 процесса сорбции токсичного компонента органической природы – сульфонола из растворов на твёрдом промышленном сорбенте АВ–17–ОН и установить механизм процесса сорбции. Сорбцию компонента органической природы анионогенного ПАВ сульфонола $[C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3Na$ ($n = 10-18$) и 5–40 % $Na_2SO_4-Na_2SO_3$] – алкилбензосульфонола проводили из сточных вод предприятий г. Сумгаита Азербайджанской Республики, производящих моющие средства с переменной концентрацией сульфонолов в интервале 250–1000 мг/дм³. В качестве сорбента использовали синтетический анионит АВ–17–ОН, промышленное производство которого осуществляется в некоторых странах СНГ. Определение сульфонола осуществляли фотометрическими методами [2].

Образцы синтетического анионита АВ–17–ОН (ср.фф. 0,64 мм) весом 0,5 помещались в термостатированные (20–1°С) колбы объёмом в 250 см³ и заливались 50 см³(v:g=100:1) раствора сульфонола с исходными концентрациями 500 и 1000 мг/дм³. Колбы переносили на встряхивательный аппарат и перемешивали. Через определённые промежутки времени колбы поочередно снимали из встряхивательного аппарата и в аликвотах проб раствора по вышеуказанным методам определяли концентрацию сульфонола.

Результаты и их обсуждения

Изотермы сорбции сульфонола на анионите АВ–17–ОН в координатах $S-C_{\text{равн}}$ представлен на рис. 1.

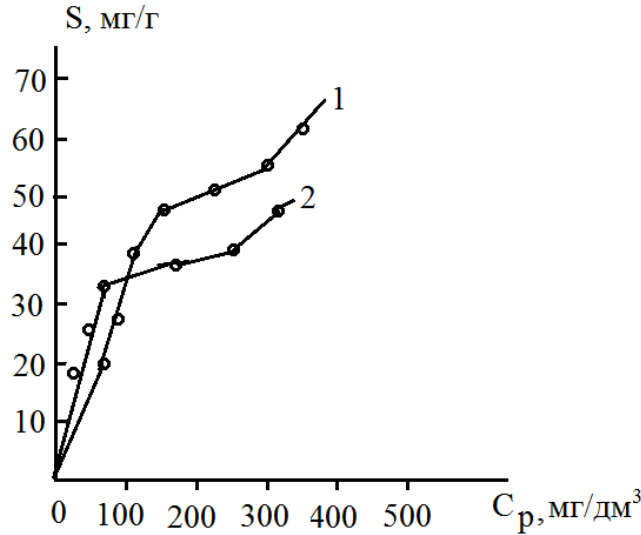


Рис. 1. Кривые изотермы сорбции сульфанола из растворов на АВ-17-ОН в (ср.фг. 0,64 мм) 1- $C_0=1000$ мг/дм³, 2- $C_0=500$ мг/дм³

Как видно из рисунка, изотермы сульфанола на АВ-17-ОН принадлежит к L-типу (класс Ленгмюра) s-образные, когда взаимодействие между активированными молекулами минимально и энергия активации не зависит от степени заполнения. Такого типа изотермы получают при изучении адсорбции из растворов ПАВ и некоторых производных фенола [2]. Теоретическую обработку полученных изотерм сорбции вычисляли путем линеаризации уравнения Ленгмюра:

$$a = \frac{a_{\max} \cdot KC}{[1 + KC]} = \frac{a_{\max}c}{A + C} \quad (1)$$

где a – сорбция, моль/г, a_{\max} – равновесная сорбция, моль/г, K – константа сорбционного равновесия, C – концентрация адсорбата в растворе, моль/л.

Для графического решения уравнение Ленгмюра приводят к виду:

$$\frac{C}{a} = \frac{1}{a_{\max} \cdot K} + \frac{C}{a_{\max}} \quad (2)$$

Это уравнение прямой в координатах $[C/a-C_{\text{равн}}]$. Возможно, $a_{\max} = ctg\theta$, где θ – угол наклона к прямой абсцисс, $(1/a_{\max} \cdot K)$ – отрезок отсекаемый прямой на оси ординат. Из значений $1/a_{\max} \cdot K$ можно вычислить K равновесной сорбции.

Линеаризованные изотермы сульфанола из растворов на АВ-17-ОН представлены на рис. 2.

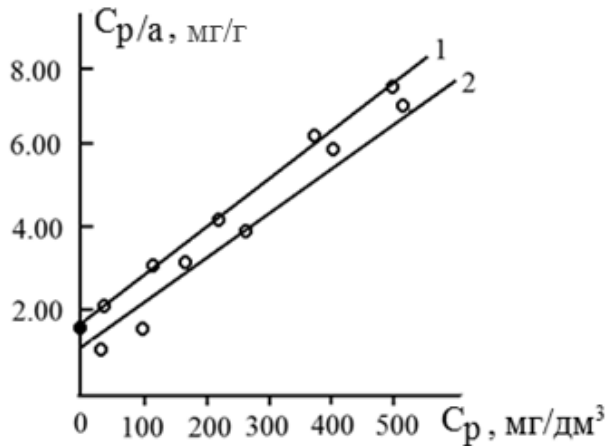


Рис. 2. Изотермы сорбции сульфанола из растворов на АВ-17-ОН в линейных координатах 1- 500 мг/дм³, 2- 1000 мг/дм³

Ленгмюровская адсорбция обусловлена силами близкими к химическим, происходит на поверхности адсорбента. Константы адсорбционного равновесия (K) в уравнении Ленгмюра характеризует энергию взаимодействия адсорбата с адсорбатом. Чем сильнее это взаимодействия, тем больше значения константы адсорбционного равновесия. Константы химического равновесия – это величина, которая характеризует химическую реакцию, по значению её можно судить о направлении процесса при исходном соотношении концентрации реагирующих веществ, о максимальном выходе продукта реакции при тех или иных условиях. Эта величина зависит от природы, от температуры, значит K равновесия Ленгмюра, связана со свободной энергией Гиббса $\Delta G(4)$:

$$G^0 = -RT \cdot \ln K \quad (3)$$

Для эндотермических процессов повышение температуры отвечает увеличению константы равновесия, а для экзотермических – уменьшению. Большое численное значение константы равновесия свидетельствует о том, что данная реакция протекает практически до конца.

Адсорбированное вещество следует рассматривать как особую равновесную фазу, имеющую ограниченный объем, она может быть охарактеризована энтропией, энтальпией и энергией Гиббса.

Величину энтальпии (ΔH) можно определить или из температурной зависимости константы равновесия, или через энергию диффузии, т.к. скорость сорбционных процессов на многих твердых сорбентах, в том числе на анионите АВ–17–ОН, в большинстве случаев определяется диффузией веществ в порах каркаса сорбентов. Величину ΔH определяли через энергию активации по формуле:

$$\Delta H^0 = E_a - RT \quad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная, 8,314 кДж/моль·град., T – температура среды, K^0 . На основании данных представленных в работе [1] зависимостей $F = f(t)$ при различных температурах, где $F = \frac{a_t}{a_{t_\infty}}$, доля сорбированного вещества, а величина

$$F = \frac{6}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{D_{\text{внутр.}} \cdot t}{\pi}} \quad (5)$$

тогда

$$D_{\text{внутр.}} = \frac{\pi \cdot 36 \cdot F^2}{t \cdot \tau^2} \quad (6)$$

Поскольку диффузия (D) связана с энергией активации (E_a) уравнением Аррениуса:

$$D = D_0 \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}, \quad (7)$$

где D – эффективный коэффициент диффузии, см²/сек, D_0 – передэкспоненциальный множитель, см²/сек, E_a – энергия активации, кДж/моль, то найдя величину E_a и поставив в уравнение (4) находим величину ΔH . Значения времени установления адсорбционного равновесия и величины коэффициентов внутренней диффузии, константы адсорбционного равновесия и ёмкости поглощения при сорбции сульфанола на сорбенте АВ–17–ОН приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения времени установления адсорбционного равновесия и величины коэффициентов внутренней диффузии, значения константы адсорбционного равновесия и ёмкости поглощения при сорбции сульфанола на анионите АВ–17–ОН при различных зёрнениях, концентрации и температуры

Система	Фракция рассева, мм	Концентрация раствора, мг/дм ³	$K_{\text{Ленгм.}}$ л/мг	a_{max} , по изотерме Ленгмюра	Температура среды, °С	Время установления равновесия, мин.	Коэффициент эффективной диффузии D_e , см ² /сек
АВ–17–ОН	0.40–	500	0.0518	43.21	25	135	$7.64 \cdot 10^{-9}$
					30	127	$9.02 \cdot 10^{-9}$
					50	120	$1.12 \cdot 10^{-8}$
	0.80	1000	0.0208	63.18	25	126	$8.27 \cdot 10^{-9}$
					30	120	$1.00 \cdot 10^{-8}$
					50	114	$1.35 \cdot 10^{-8}$

Если процесс протекает при постоянном давлении, то в обратимых процессах по закону второго начала термодинамики изменение ΔG^0 при конечном процессе равно (8):

$$\Delta G^0 = \Delta H - T \Delta S^0 \quad (8)$$

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H - \Delta G^0}{T} \quad (9)$$

Вычисленные значения термодинамических параметров адсорбции сульфанола на синтетическом анионите АВ–17–ОН представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значение термодинамических параметров энергии активации (E_a), энтальпии (ΔH^0), свободной энергии (ΔG^0) и энтропии (ΔS^0) сорбции сульфанола на синтетическом анионите АВ–17–ОН

Система сорбционного процесса АВ–17–ОН+ сульфанола	Термодинамические параметры			
	E_a , кДж/моль	ΔG^0 , кДж/моль	ΔH^0 , кДж/моль	ΔS^0 , кДж/моль
	27.33	24.85	7.33	58.78

Увеличение адсорбции при повышении температуры связано с уменьшением «упорядоченности» адсорбционного слоя. Взаимодействие между поверхностью и адсорбированными веществами может быть либо химическим, либо физическим.

Выводы

1. На основании сорбции токсичных компонентов органической природы на сорбенте АВ–17–ОН рассчитаны термодинамические параметры процесса ΔH^0 , ΔG^0 , ΔS^0 .
2. Полученные значения для исследуемого органического компонента позволили сделать выводы о протекании процесса по механизму физической адсорбции, обусловленной действием дисперсионных сил, с образованием водородных или гидрофобных связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел: пер. с англ. / под ред. Парфита Г.М. – М.: Мир. – 1986. – 486 с.
2. Пименко, А.Т. Спектрометрическое определение гидрофобных анионитных ПАВ с основными красителями в водных растворах / А.Т. Пименко, С.А. Куличенко, С.А. Доленко // Химия и технология воды. –1990. – Т. 12. – № 7. – С. 23–25.
3. Рустамов, С.М. Деалюминированные цеолиты в процессах сорбционной очистки производственных жидких отходов от алкилбензолсульфонатов / С.М. Рустамов, Ф.Т. Махмудов // Журнал прикладной химии. –2008. – Т. 81. –№ 1. – С. 50–55.
4. Сивакова, Л.Г. Кинетика сорбции фенола на углеродном материале / Л.Г. Сивакова // Вестник Кузбасс. Гос. Ун-та. – 2007. – № 2. – С. 94–96.

Материал поступил в редакцию 15.03.19.

THE SORPTION SULPHONOL-TOXIC COMPONENT OF ORGANIC NATURE FROM SOLUTIONS ON SOLID SORBENT

F.T. Makhmudov¹, M.A. Ragimli², Sh.Z. Efendiyeva³,
V.Kh. Aliyeva⁴, Kh.A. Ilyasova⁵, M.A. Abbasov⁶

¹ Doctor of Chemical Sciences, Chief Research Worker,

^{2, 6} Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Worker,

^{3, 4} Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Worker, ⁵ Research Worker

Academician M. Naghiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
of Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku), Azerbaijan

Abstract. Thermodynamic parameters of the process are calculated on the basis of sorption of the toxic component of the organic nature of sulphonol on anionite АВ–17–ОН from wastewater. It was found that, ΔG^0 decreases in all cases with increasing filling of the sorbent surface. In this case, the sulphonol adsorption on a solid sorbent with the increase of temperature increases which is reflected by a reduction ΔS^0 . In all cases, the values obtained ΔH^0 for lower values inherent in chemisorption and meet the mechanism of physical adsorption.

Keywords: sulphonol, anionite, thermodynamic parameters.

УДК 621.316.937

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО
САМОЗАПУСКА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ****К.Г. Абидов**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой электротехники
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

***Аннотация.** Показаны особенности переходных процессов при аварийном отключении насосных агрегатов от энергосистемы и самозапуске, даются методики, позволяющие определить оптимальные режимы самозапуска. Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенные на насосных установках мелиоративных насосных станциях. Предложены технические решения по модернизации насосных агрегатов, позволяющие применение режима самозапуска на мелиоративных насосных станциях.*

***Ключевые слова:** самозапуск, переходной процесс, мелиоративные насосные станции, насосный агрегат, электрооборудование, пуски, аварийные отключения, трубопровод, свободный выбег, остановка, силовое оборудование, электропривод, асинхронный двигатель, энергосистема, линия электропередачи, устройство самозапуска.*

Неотъемлемой частью крупных водохозяйственных систем для водоснабжения является магистральные каналы с насосными станциями большой мощности. С укрупнением единичных мощностей насосных станций особое внимание всегда уделялось сохранению устойчивости их работы. Составной частью этой проблемы является обеспечение бесперебойной работы насосных установок при кратковременных перерывах в электропитании, вызванных повреждением основного оборудования главной схемы электрических соединений.

Опыт эксплуатации насосных станций показывает, что основные повреждения и аварии насосных агрегатов происходят при переходных процессах, пусках, остановках, которые в соответствии с графиком работы могут назначаться по нескольку раз в сутки, а также при аварийном отключении электродвигателей от энергосистемы. Возникают значительные динамические нагрузки на элементы сооружений и гидросилового оборудования: гидравлический удар, резкое изменение силовых воздействий на рабочее колесо и системы привода лопастей, сопровождающиеся пульсациями потока, вибрации [3]. Поэтому при эксплуатации насосных станций необходимо комплексно учитывать работу напорного тракта и технологического оборудования и назначать схемы и состав сооружений, основываясь на расчётах и анализе переходных процессов с учетом статических и динамических характеристик насосов и электродвигателей.

На существующих насосных станциях становится актуальной разработка энергосберегающих мероприятий, направленных на снижение потерь энергии в напорных трубопроводах, таких как оптимизация режимов работы насосных станций с целью выравнивания расходов и уменьшения скоростей воды, очистка внутренней поверхности трубопроводов от коррозии и отложений, уменьшение местных потерь энергии в местах соединения трубопроводов и др.

Для потребителей, которыми являются насосные установки мелиоративных насосных станций, автоматизация обеспечивает должный эффект лишь при осуществлении самозапуска насосных агрегатов, что позволяет значительно повысить надёжность электроснабжения. Теория самозапуска в настоящее время разработана до уровня, позволяющего решать задачи, предъявляемые практикой. При исследовании самозапуска насосной установки мелиоративных насосных станций большое значение имеют вопросы, связанные с разработкой методики расчета статических и динамических режимов насосного агрегата при потере привода и в переходе на самозапуск, а также расчет гидромеханических и гидравлических переходных процессов системы.

Развитие машинного водоподъёма для орошения привело к резкому увеличению удельного веса этих электропотребителей в электрических системах, вплоть до того, что машинное орошение стало оказывать существенное влияние на энергетические балансы и режимы работы энергосистемы. Расход электрической энергии в основном происходит через электрический привод насосов, а вопросы рационального использования электрической энергии следует осуществлять энергосберегающими средствами электропривода.

Одним из основных особенностей современных насосных станций состоит в том, что сложное технологическое оборудование насосного агрегата не может нормально функционировать, если система электроснабжения, релейная защита и автоматика не соответствуют требованиям надёжности и устойчивой работы.

Для насосных станций оросительной системы перерыв питания на несколько секунд ведёт к внезапному

нарушению технологического процесса водоподачи, что в свою очередь приводит не только к материальным затратам, но и к нарушению мелиоративной и экологической безопасности эксплуатации.

При программном отключении насосной установки вначале закрывается регулировочная задвижка, затем двигатель отключается от сети питания. Насосная установка останавливается и не вращается в обратную сторону. При аварийных отключениях, кратковременном исчезновении напряжения, а также при снижении напряжения ниже $0,85 U_n$ все двигатели отключаются. Из-за того, что задвижка не закрыта или не сработала, вода в трубопроводе после отключения насосной установки потечёт в обратную сторону. В начале частота вращения насосного агрегата уменьшается до нуля, далее под воздействием воды в трубопроводе изменяется своё направление, т.е. насосная установка начинает вращаться в другую сторону. Значение обратной угонной скорости может стать больше номинальной. При вращении насосной установки в обратную сторону её сальники выходят из строя, что нарушает герметизацию насосной установки. Поэтому обычно перед пуском снимают заглушку, удаляют сгоревшие сальники и устанавливают новые. Запускают вакуум-насос для подготовки насосной установки к пуску. Если регулировочная задвижка плотно не закрывается, то коллектор заполняют водой. В насосах вертикального исполнения – осевых, где нет затворов, любое отклонение связано с вращением в другую сторону, что отрицательно влияет на подпятник, крепление насоса и обмотки двигателя. Все это требует расхода дефицитных материалов, большого времени для ремонта и квалифицированных кадров. После каждого погашения или снижения напряжения сети насосные установки отключаются. Простой насосной установки в период интенсивного орошения недопустим, поэтому уменьшение времени простоя насосных установок имеет большое значение [4].

Для правильной оценки успешности процесса самозапуска необходимо определение зоны самозапуска электродвигателей насосных установок при погашениях напряжения питания электрической сети, включающее определение момента на валу двигателя и напора воды, время самозапуска; при этом после погашения напряжения питания определяется изменение скорости вращения вала двигателя и напора воды, строится расчётная или экспериментальная характеристика выбега насосной установки в зависимости от времени после отключения насосной установки, по которой определяют зону самозапуска, соответствующую изменению напора и момента на валу двигателя от номинального значения до минимального.

После отключения насоса происходит снижение частоты вращения и, соответственно, уменьшение подачи и напора. Затем частота вращения двигателя снижается настолько, что подача становится равной нулю при минимальном значении напора, хотя рабочее колесо вращается в том же направлении. Момент на валу насоса имеет минимальное значение, затем начинается изменение направления течения воды. С изменением направления течения воды (режим противотока) напор начинает расти, хотя направление вращения остаётся прежним. Далее скорость движения воды в обратном направлении интенсивно растёт. При изменении направления течения воды самозапуск насосной установки осуществлять опасно, так как в момент включения потребуется большой вращающий момент на валу двигателя [2].

Высоковольтные линии электропередачи насосных станций Аму-Занг и электродвигатели эксплуатируются в сложных климатических условиях. В течение поливного сезона наблюдаются погашения напряжения сети и кратковременное понижение напряжения сети. Это приводит к отключению всех насосных установок насосных станций. Сняты экспериментальные осциллограммы процесса самозапуска в натуральных условиях на насосной станции Аму-Занг.

Асинхронный двигатель типа ДАЗО-15-69-10 (рис. 1) с центробежным насосом 24НДС после погашения включается через $t = 2,7$ секунды, за это время частота вращения двигателя уменьшается до 333 об/мин. Момент включения соответствует насосному режиму, начинается самозапуск и завершается за 0,7 секунды. Насосная установка начинает работать в нормальном режиме. Самозапуск оптимально осуществлять в пределах участка «аб» характеристики выбега насоса, так как момент на валу насоса в точке «б» также имеет минимальное значение. Значение избыточного момента находится в пределах проектного, а далее момент на валу насоса растёт. Самозапуск осуществляют в зоне участка «аб», когда подача насоса изменяется от номинального значения до нуля, что соответствует минимальному значению напора.

Результаты осциллограммы после погашения напряжения сети показаны на рис. 2. Насосная установка самозапущается через 4,33 секунд при частоте вращения 190 об/мин. При самозапуске пусковой ток достигает $I = 510$ А, а время самозапуска составляет около 2,4 с, тогда как пусковое время насосной установки от начального неподвижного состояния составляет 1,8-1,9 секунды.

Экспериментально снятые зависимости показывают, что время самозапуска насосной установки с уменьшением скорости двигателя при выбеге увеличивается; также растут значения тока и момента [1].

Исходя из полученных экспериментальных зависимостей, предлагается устанавливать время срабатывания автоматического повторного включения (АПВ) электрической сети.

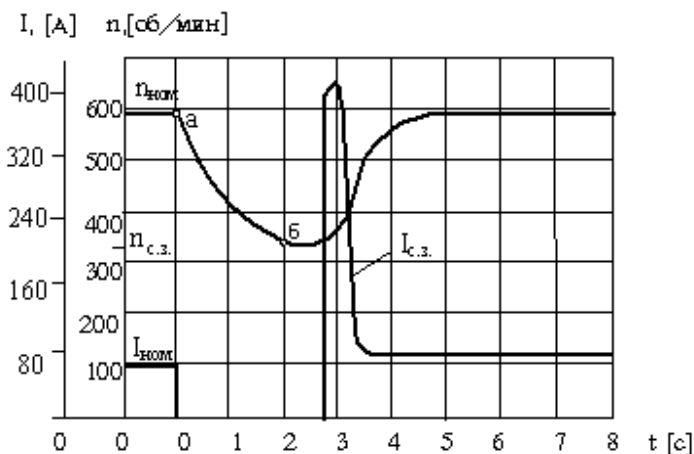


Рис. 1. Самозапуск асинхронного двигателя ДАЗО-15-69-10, время перерыва 2,7 сек.

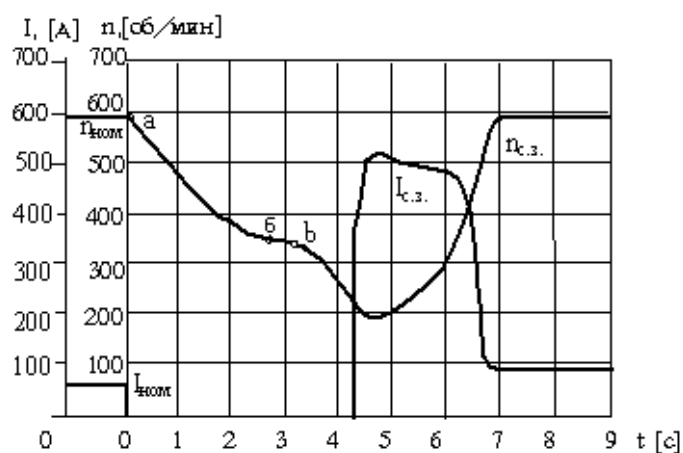


Рис. 2. Самозапуск асинхронного двигателя ДАЗО-15-69-10, время перерыва 4,33 сек.

Предложенный способ позволяет определить допустимую зону энергоэффективного самозапуска двигателя насосной установки после погашения напряжения в сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидов, К.Г. Самозапуск электродвигателей насосных станций / К.Г. Абидов // Техника, технологии инженерия. – Казань. – 2017. – № 4 (06). – С. 15–21.
2. Абидов, К.Г. Самозапуск электродвигателей с целью энерго-и ресурсосбережения в насосных станциях / К.Г. Абидов // Science and world. – Волгоград. – 2018. – № 6 (58). – С. 8–10.
3. Васильев, Ю.С. Решение гидроэнергетических задач на ЭВМ / Ю.С. Васильев, В.И. Виссарионов, В.А. Кукушкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 160.
4. Носов, К.Б. Способы и средства самозапуска электродвигателей / К.Б. Носов, Н.М. Дворок. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – С. 144.

Материал поступил в редакцию 14.03.19.

THE METHOD FOR DETERMINATION OF ZONE OF ENERGY-EFFICIENT SELF-STARTING OF THE PUMPING UNIT

K.G. Abidov, Candidate of Engineering Sciences
Head of the Department of Electric Engineering
Tashkent State Technical University, Uzbekistan

Abstract. Features of transients at emergency shutdown of pump units from a power system and self-start are shown, the techniques allowing to define optimum modes of self-start are given. The results of experimental studies carried out at the pumping units of reclamation pumping stations are presented. Technical solutions for the modernization of pumping units, allowing the use of self-starting mode at reclamation pumping stations are proposed.

Keywords: self-starting, transition process, reclamation pumping stations, pumping unit, electrical equipment, starts, emergency shutdowns, pipeline, free run-out, stop, power equipment, electric drive, asynchronous motor, power system, power line, self-starting device.

УДК 658.5

ВНЕДРЕНИЕ IoT И САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.В. Александрова¹, Д.В. Молчанов², К.О. Шелко³

^{1, 2, 3} студент группы ИКТВ-44

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Россия

Аннотация. В результате анализа инфраструктуры производственных предприятий, организации мониторинга и контроля на них, были сделаны выводы об их эффективности и разработаны методы оптимизации данных служб. В исследовании учитываются как специфика требований, предъявляемых к подобным системам, так и технологические условия, ограничивающие применение отдельных широко распространённых решений. Обоснованы возможности использования mesh-сетей на основе технологии ZigBee, её рентабельность.

Ключевые слова: IoT, интернет вещей, мониторинг, оптимизация, ZigBee, предприятие, беспроводные технологии.

В течение последних лет значительно выросла интеграция IoT устройств в инфраструктуру частных и государственных предприятий. Ввиду продолжающегося удешевления умных устройств и снижения стоимости услуг операторов, отслеживается тенденция к росту данного рынка [3]. Однако многие предприниматели опасаются внедрения подобных технологий на производствах по причине высокой стоимости и необходимости новых коммуникаций, организация которых может повлиять на процесс производства.

На сегодняшний день в России распространена практика найма отдельного персонала, занимающегося мониторингом и контролем производственных систем на предприятиях. Такое решение влечет за собой дополнительные расходы, которые, к тому же, растут пропорционально объему производства. Не менее важно, что человеческий фактор является одной из распространённых причин возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятиях, не зависимо от их размеров [2]. Следовательно, внедрение автономных информационных систем с высокой отказоустойчивостью может уменьшить расходы на персонал и снизить риск возникновения производственных происшествий.

Требованиями, предъявляемыми к автоматизированным системам на предприятиях, являются [1]:

- окупаемость;
- надежность;
- гибкость;
- безопасность.

В качестве решения предлагается беспроводная самоорганизующаяся mesh-сеть.

Mesh-сеть – это сеть беспроводных устройств, функционирующая по принципам ячеистой топологии. Ее главным преимуществом является самоорганизация и самовосстановление, что обуславливает высокую надежность подобной инфраструктуры: в случае выхода из строя одного из узлов сети, система автоматически перестраивает взаимодействие своих элементов, что позволяет сохранить передачу данных.

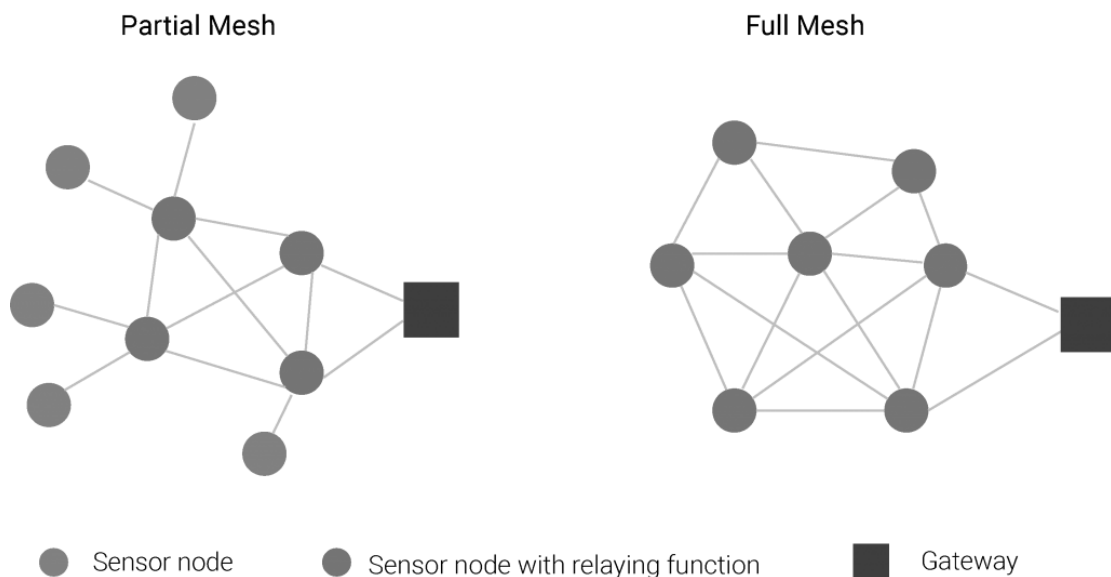


Рис. 1. Виды mesh-сетей

Подобная сеть может быть построена на основе беспроводных протоколов. В области IoT чаще всего используются следующие технологии: WiFi, Bluetooth, ZigBee, LoRaWAN. Однако некоторые из них не подходят по следующим причинам:

1. Автономность. Для многих устройств, работающих по радиосети, требуется постоянное питание, что ограничивает область их применения. Большое количество потребует подвода питания к каждому из них, что нецелесообразно. В случае использования беспроводных устройств с местным питанием, встает вопрос энергопотребления. При высокой мощности передатчика значительно увеличивается расход энергии, что влечет более частую замену батарей и, как следствие, повышенные расходы на эксплуатацию.

2. Загруженность радиодиапазона. Главный технический признак коммерческих устройств – это работа в диапазоне нелицензируемых радиочастот ISM. Ключевая его особенность – высокая загруженность некоторых диапазонов, а именно – 2.4-2.5 ГГц. Именно в этом диапазоне работают устройства на основе технологии WiFi, что исключает возможность работы на низкой мощности и, как следствие, с низким энергопотреблением.

3. Дальность действия. Важный фактор выбора технологии – расстояние от ядра системы, на котором возможна её работа. В связи с ограничениями стандарта Bluetooth, он не удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Исходя из указанных факторов, наиболее подходящими технологиями являются ZigBee и LoRaWAN. Рассмотрим их сравнительные характеристики [4, 5].

Таблица 1

Авторское сравнение характеристик LoRaWAN и ZigBee

Характеристика	Технология	
	LoRaWAN	ZigBee
Частотный диапазон	866 - 868 МГц	868 МГц 900 МГц 2.4 ГГц
	864 - 865 МГц	
	868.7 - 869.2 МГц	
	433.075 - 434.75 МГц	
	916 - 921 МГц	
Дальность действия	2 км	3 км
Возможность организации mesh-сети	+	+
Скорость передачи	5 кбит/с	250/40/20/5 кбит/с
Шифрование	-	AES

Оба стандарта отличаются крайне низким энергопотреблением, работой в слабонагруженных частях ISM диапазона. Рассматривая характеристики, указанные в таблице, а именно возможность шифрования, возможность выбора скорости передачи в зависимости от загруженности канала, а также дальность действия, мы можем сделать вывод, что технология ZigBee является более предпочтительной для организации мониторинговой сети на предприятии. ZigBee является открытым стандартом, что позволяет сократить расходы на закупку оборудования с поддержкой этой технологии. Данная технология располагает встроенным шифрованием по стандарту AES. Это обуславливает её надежность в обеспечении базовой защиты от преднамеренных внедрений в систему контроля предприятия.

Подводя итоги, можно сказать, что применение на предприятиях mesh-сети мониторинга на основе технологии ZigBee позволит значительно снизить влияние человеческого фактора, сократить количество необходимого персонала для обслуживания такой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные информационные системы: задачи, виды, разработка. [Электронный ресурс] // Генеральный директор [сайт]. [2018]. URL: <https://www.gd.ru/articles/9749-avtomatizirovannye-informatsionnye-sistemy> (дата обращения: 20.11.2018).
2. Либерман, А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор: учеб. пособие / А.Н. Либерман. – СПб.: Изд-во Центр информатики «Гамма-7», 2006. – 101 с.
3. Обзор рынка IoT в России. [Электронный ресурс] // Advanced Communications & Media [сайт]. [2017]. URL: http://www.acm-consulting.com/data-downloads/doc_download/191-iot-report-in-russian.html (дата обращения: 20.11.2018).
4. LoRaWAN Regional Parameters v1.0.3revA. [Электронный ресурс] // LoRa Alliance [сайт]. [2018]. URL: <https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawan-regional-parameters-v103reva> (дата обращения: 20.11.2018)
5. Zigbee PRO offers low-power wireless mesh networking. [Электронный ресурс] // Zigbee Alliance [сайт]. [2017]. URL: <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-pro/> (дата обращения: 20.11.2018).

Материал поступил в редакцию 29.03.19.

**THE INTRODUCTION OF IoT AND SELF-ORGANIZING
NETWORKS AT MODERN ENTERPRISES**

A.V. Aleksandrova¹, D.V. Molchanov², K.O. Shelko³
^{1, 2, 3} Student

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Russia

***Abstract.** As a result of analyzing the infrastructure of industrial enterprises, monitoring and control on them, the conclusions were drawn about their effectiveness and methods for optimizing these services were developed. The study takes into account both the specifics of the requirements for such systems, and technological conditions that limit the use of certain common solutions. The possibility of using mesh networks based on ZigBee technology, its profitability has been substantiated.*

***Keywords:** IoT, Internet of Things, monitoring, optimization, ZigBee, enterprise, wireless technologies.*



Арифжанов А.М.



Жураев Ш.Ш.

УДК 626.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ БЕНТОНИТА

А.М. Арифжанов¹, Ш.Ш. Жураев²¹ доктор технических наук, профессор, ² старший преподаватель¹ Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства,

² Наманганский инженерно-строительный институт, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются результаты испытаний водопроницаемости бентонита месторождения Логон в Ферганской долине. В практике гидротехнического строительства широко распространены противифльтрационные устройства из глинистых грунтов. При их проектировании весьма важное значение имеет правильная оценка водопроницаемости грунта. На основе экспериментальных исследований определён коэффициент фильтрации бентонита и разработаны рекомендации по практическому использованию.

Ключевые слова: бентонит, коэффициент фильтрации, напор, расход, грунт, песок, вода, суффозия.

Во многих сферах деятельности человека в промышленности, строительстве, медицине, сельском хозяйстве и в охране окружающей среды, благодаря уникальным физико-химическим свойствам и богатому составу бентонит является как сырьё важным компонентом. Поэтому исследования физико-механического состава бентонита имеют большое практическое и научное значение.

В Узбекистане открыты несколько месторождений бентонитовых глин, среди них – Логон Ферганской области. Бентонитовые глины Логона светло-серые, жирные на ощупь, мылоподобные, мягкие, пластичные. В бентонитах Логона содержание монтмориллонита колеблется до 66 %. Остальные глинистые минералы, в основном, гидрослюда и незначительно каолинит. Бентониты Логона – щелочные. [2, 3, 5].

В гидротехническом строительстве бентонит, в настоящее время, широко используется в качестве материала для предотвращения или уменьшения фильтрации в грунтовых сооружениях. Использование бентонита в качестве строительного материала для сооружений Ферганской долины способствует, с одной стороны, улучшению качества сооружений, с другой стороны, близость и доступность карьера снижает себестоимость сооружений. При использовании бентонита в качестве строительного материала необходимо определить физические свойства данного материала. Настоящая работа направлена для оценки свойств бентонита как строительного материала против фильтрации. Для этого были проведены специальные исследования по определению водопроницаемости бентонита Ферганской долины.

Как известно [1, 2], водопроницаемость грунтов количественно оценивается величиной коэффициента фильтрации. В настоящее время коэффициент фильтрации грунтов определяется по расчётам на основе эмпирических формул, в полевых и в лабораторных условиях. Указанные способы имеют свои преимущества и недостатки, об этом подробно изложено в работах [2, 3, 5].

Для осуществления поставленных целей, с учетом имеющихся гидравлических установок на модели построен экспериментальный прибор по типу конструкции прибора [4, 6, 7]. Этот прибор позволяет определить коэффициент фильтрации бентонитовых глин с нарушенной и ненарушенной структурой. Эксперименты проводились согласно ГОСТ [4].

При этом коэффициент фильтрации определяется по формуле [6, 7]:

$$k = \frac{W\ell}{hFT}, \quad (1)$$

где: W – объём воды, см³; ℓ – длина пути фильтрации, равная высоте слоя грунта, см; h – напор, см; F – площадь сечения образца, см²; T – продолжительность фильтрации, с.

Или по формуле:

$$k_{10} = \left[\varphi \left(\frac{S}{H_0} \right) / t \right] \cdot \frac{A_p}{A_k} \cdot \frac{h}{T_0} \cdot 864, \quad (2)$$

где S – наблюдаемое падение уровня воды в пьезометре, отсчитанное от первоначального уровня, см; H_0 – начальный напор, см; $\varphi\left(\frac{S}{H_0}\right)$ – безразмерный коэффициент; t – время падения уровня воды, с; A_p – площадь сечения пьезометра, см²; A_k – площадь кольца, см²; h – высота образца грунта, равная высоте кольца, см; $T_0 = (0,7 + 0,03 T_{\text{ф}})$ – поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10 °С, где: $T_{\text{ф}}$ – фактическая температура воды при опыте, °С; 864 – переводной коэффициент (из см/с в м/сут).

Известно, что вода в грунтах в зависимости от конкретных условий движется с различной скоростью и может достигнуть так называемой «критической» скорости. При ее превышении возникает механическая суффозия, выражающаяся в выносе движущейся воды из массива грунта в начале мелких, а затем по мере увеличения пористости и ослабления связей между частицами все более крупных частиц. В результате этого резко понижается несущая способность грунта, что может вызвать разрушение сооружения [6, 7].

Опыты показали, что при превышении напора воды в цилиндрическом приборе вода с бентонитом движется к порам песка. Это обстоятельство, по нашему мнению, свидетельствует о том, что произошла механическая суффозия.

Мировая практика доказывает, что многие гидротехнические сооружения разрушаются из-за проявления механической суффозии в теле сооружения и его основания. Вышеизложенное позволяет утверждать, что использование бентонита в качестве противofiltrационного материала без предварительного уплотнения не даёт ожидаемых результатов. Поэтому, при проектировании гидротехнических сооружений в случае ожидаемого превышения скорости движения воды необходимо намечать специальные мероприятия по борьбе с механической суффозией.

В экспериментах внутри цилиндрического прибора уплотнён бентонит в растворенной воде толщиной 4,5 см. Плотность грунта составила 1600 кг/м³. Вода подавалась из напорного бака с напором 130 см. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов по определению коэффициента фильтрации бентонита

№	W, см ³	L, см	H, см	F, см ²	T, час	k, см/с
1	200	4,5	130	314	237	0,25*10 ⁻⁷
2	175	4,5	130	314	221	0,8*10 ⁻⁷
3	120	4,5	130	314	182	0,13*10 ⁻⁶
4	160	4,5	130	314	204	0,9*10 ⁻⁷
5	140	4,5	130	314	190	0,1*10 ⁻⁶
6	80	4,5	130	314	162	0,2*10 ⁻⁶

Выводы:

По результатам исследований значение коэффициента фильтрации в среднем равняется 0,4*10⁻⁷ см/с. При определении коэффициента фильтрации бентонита существенное значение имеет фактор времени, т.е. длительность проведения опыта.

При испытании бентонитовых глин с целью уменьшения времени исследований для определения коэффициента фильтрации приходится создавать большой напор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арифжанов, А. Значение бентонита в изучении процесса фильтрации в гидротехнических сооружениях / А. Арифжанов, Ш. Жураев // ФерПИ научно технический журнал. – 2012. – № 3. – С. 14–17.
2. Арифжанов, А. Магистрал каналларда нисбий филтрация сарфи / А. Арифжанов, Ф. Ибрагимов, Ш. Жураев // Кишлоқ ва сув хўжалиги вазирилиги "Агро илм" илмий журнали. – 2013. – № 2 (26). – С. 57–59.
3. Арифжанов, А. Методы изучения фильтрационных особенности бентонитов в гидротехнических сооружениях. – The collection includes scientific-materials of the International conference participants on the theme of "Topical issues of import substituting products based on the use of local raw materials in the Fergana valley" held on October 27-28, 2018. – С. 271–273.
4. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. 1998 г.
5. Жураев, Ш. Фильтрация жараёнини ўрганишда бентонитнинг ахамияти / Ш. Жураев // "Республика ёш олимлар Илмий-амалий конференцияси" Маъруза тезислари тўплами, 2014 йил 18 декабрь. – 28 б.
6. Осипова, М.А. Инженерная геология в коломенский специальная инженерная геология / М.А. Осипова. – М.: УДН, 2009. – 326 с.
7. Павич, М.П. Методы определения коэффициента фильтрации грунтов / М.П. Павич, Б.И. Балыков. – М.: Энергия, 1976. – 115 с.

Материал поступил в редакцию 18.03.19.

STUDY OF THE WATER RESISTANCE OF BENTONITE

A.M. Arifjanov¹, Sh.Sh. Jurayev²

¹Doctor of Engineering Sciences, Professor, ²Senior Lecturer

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers,

²Namangan Engineering Building Institute, Uzbekistan

Abstract. *The article discusses the results of testing the permeability of bentonite. In the practice of hydro technical construction, impervious devices made of clay soils are widespread. When designing them, it is very important to correctly assess the permeability of the soil. Based on experimental studies, the filtration coefficient of bentonite was determined and recommendations and practical use were developed.*

Keywords: *bentonite, filtration coefficient, pressure, flow rate, soil, sand, water, suffusion.*

УДК 621.396: 521.19

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ КВАЗИСЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА

Ю.М. Вешкурцев, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент
Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, декан факультета телекоммуникаций
Негосударственное (частное) образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики» (Омск), Россия

***Аннотация.** Предложен метод статистической модуляции неизвестного ранее квазидетерминированного сигнала, описание которого сделано с помощью теории вероятностей. Выполнено построение основ теории статистической модуляции и структуры модема нового поколения. Сделан анализ помехоустойчивости модема при работе в канале с шумами. Результаты теоретического анализа показали, что с помощью метода статистической модуляции можно достичь предельных значений помехоустойчивости, спектральной и энергетической эффективности цифровых систем связи.*

***Ключевые слова:** метод, статистическая модуляция, характеристическая функция, модем, помехоустойчивость, спектральная и энергетическая эффективность, цифровая система.*

Введение. Более века в радиотехнике для передачи сообщений модулируют параметры детерминированного колебания, по инерции полагая возможным его практическое существование. Эта уверенность существовала до тех пор, пока не появились в 1950 году результаты измерений флуктуаций амплитуды, фазы, частоты физических источников гармонических колебаний [1]. После этого оказалось, что детерминированное колебание – это не более того, как некоторая математическая абстракция, на практике нереализуемая. Тогда экспериментально установленные флуктуации параметров колебания скрыли термином «паразитные амплитудная, фазовая, частотная флуктуации». Такое сохранилось до настоящего времени, с ними борются. И как результат этого, установленные теоретически показатели эффективности систем связи оказываются до сих пор недостижимыми. Для преодоления сложившейся ситуации нами предлагается альтернативный вариант, а именно – отказаться от детерминированного колебания и перейти к квазидетерминированному сигналу, который рассматривается в статистической радиотехнике, изучающей и применяющей случайные процессы. В этом случае уместно будет говорить о статистической модуляции.

Для реализации статистической модуляции требуются квазидетерминированные сигналы, которые по определению [12, с.171] «...описываются функциями времени заданного вида, содержащими один или несколько случайных параметров $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots$, не зависящих от времени». Из этого класса сигналов в литературе достаточно полно представлены модель и вероятностные характеристики квазидетерминированного сигнала с законом распределения арксинус. Сведения о других квазидетерминированных сигналах отсутствуют помимо довольно кратких замечаний в книге [15].

Первые элементы теории статистической модуляции известного квазидетерминированного сигнала опубликованы в работах [3-6]. Там же приведены результаты моделирования, подтвердившие основные положения теории и предельную помехоустойчивость модема нового поколения. Продолжение теории статистической модуляции колебания, предложенного впервые для пополнения класса квазидетерминированных сигналов, представлено в данной работе.

Характеристики и модель сигнала. Рассмотрим сигнал с математической моделью вида

$$u(t) = a \sin(\omega_0 t + \eta), \quad (1)$$

где a, η – случайные величины (амплитуда и угол сдвига фаз соответственно), каждая со своим законом распределения; ω_0 – постоянная круговая частота; $u(t)$ – мгновенные значения сигнала, подчиняющиеся закону распределения

$$W_1(x) = B(\cos x)^{\nu-1} \quad \text{при} \quad B = \frac{\Gamma(\nu)}{2^{\nu-1} \Gamma^2\left(\frac{\nu}{2}\right)}, \quad \text{где} \quad \nu > 0. \quad (2)$$

Здесь и далее цифра 1 обозначает одномерную функцию. Статистический закон (2) приведен в книге [8, с. 46] без названия и дополнительных пояснений, сведений о его использовании в литературе нет. По всей видимости, нам принадлежит первенство, как обратившим внимание на этот статистический закон. Для дальнейших действий примем в формуле (2) значение $\nu = 2$, тогда $B = \frac{1}{2}$, а выражение (2) принимает вид

$$W_1(x) = \frac{1}{2} \cos x \quad (3)$$

при $-\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2}$. Статистический закон (3) обладает всеми свойствами, прописанными в теории вероятности. Будем называть его в дальнейшем законом **косинуса**. В математическом описании закона косинуса нет количественных параметров. Заметим, что этот закон центрирован, математическое ожидание равно нулю, а дисперсия составит

$$\sigma_c^2 = \frac{\pi^2}{4} - 2. \quad (4)$$

Она всегда постоянна и зависит только от граничных значений переменной x . Этим данный закон уступает закону Гаусса (нормальному закону), в котором дисперсия и среднее квадратичное отклонение (сигма) входят в математическое описание закона.

Если мгновенные значения квазидетерминированного сигнала (1) распределены по закону косинуса, то амплитуда сигнала будет распределена по закону

$$W_1(y) = \frac{\pi \times \Gamma(0,95)}{2} y J_0(\sqrt{2}y) \quad \text{при } 0 \leq y \leq \frac{\pi}{2}, \quad (5)$$

где $J_0(\cdot)$ – функция Бесселя нулевого порядка первого рода; $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция. Поскольку этот закон получен нами впервые, будем называть его законом Бесселя по аналогии с одноименной функцией, входящей в него. С помощью закона Бесселя определим начальные моменты распределения амплитуды сигнала (1), при этом получим начальный момент первого порядка (математическое ожидание)

$$m_1\{a\} = \frac{\pi^2 \Gamma(0,95)}{8} \left[J_0\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) S_{1,-1}\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) + J_1\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) S_{2,0}\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \right] - \frac{\pi \Gamma(0,95)}{4\sqrt{2}}, \quad (6)$$

и начальный момент второго порядка

$$m_2\{a\} = \frac{\pi^2 \Gamma(0,95)}{8\sqrt{2}} \left[2J_0\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) S_{2,-1}\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) + J_1\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) S_{3,0}\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \right], \quad (7)$$

где $S_{1,-1}(\cdot), S_{2,-1}(\cdot), S_{2,0}(\cdot), S_{3,0}(\cdot)$ – функции Ломмеля [9]; $J_1(\cdot)$ – функция Бесселя первого порядка первого рода.

Переходя к случайной фазе сигнала (1), скажем, что в результате математических вычислений нами получен равномерный закон, по которому распределена фаза в пределах $-\frac{\pi}{2} \leq \eta \leq \frac{\pi}{2}$.

Характеристическая функция (х.ф.) центрированного квазидетерминированного сигнала (1) равна

$$\Theta_1(V_m) = \frac{\cos\left(V_m \frac{\pi}{2}\right)}{(1 - V_m^2)}, \quad (8)$$

где V_m – параметр х.ф. В работе [2] описаны свойства х.ф., которым функция (8) удовлетворяет. В частности, одно свойство х.ф. касается закона распределения сигнала, из которого следует, что х.ф. для сигнала с нецентрированным законом распределения $W_1(x \pm x_0)$ равна х.ф., полученной для сигнала с центрированным законом распределения $W_1(x)$, умноженной на экспоненту $\exp(\mp jV_m x_0)$, где x_0 – математическое ожидание сигнала. Воспользуемся этим свойством и запишем функцию (8) для нецентрированного квазидетерминированного сигнала (н.к.с.), т.е. сигнала, имеющего математическое ожидание. В результате будем иметь

$$\Theta_1(V_m) = \frac{\cos\left(V_m \frac{\pi}{2}\right)}{(1 - V_m^2)} \exp(jV_m x_0) = A(V_m) + jB(V_m), \quad (9)$$

где $A(V_m), B(V_m)$ – действительная и мнимая части х.ф. соответственно. В противоположность (9) х.ф. (8) имеет только действительную часть.

Переходя к х.ф. случайной амплитуды центрированного сигнала (1), получим

$$\begin{aligned} \Theta_1(V_m) &= \frac{\Gamma(0,95)\pi^3}{24} [A(V_m) + jB(V_m)], \quad (10) \\ A(V_m) &= J_1\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{V_m\pi}{2}\right) + J_2\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{V_m\pi}{2}\right); \\ B(V_m) &= J_1\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{V_m\pi}{2}\right) - J_2\left(\frac{\sqrt{2}\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{V_m\pi}{2}\right); \end{aligned}$$

где $J_1(\cdot)$ – функция Бесселя первого порядка первого рода; $J_2(\cdot)$ – функция Бесселя второго порядка первого рода [9]. Выражение (10) является частным решением, оно справедливо при значении $V_m = \sqrt{2}$. Поскольку математическое ожидание амплитуды сигнала (1) не равно нулю, х.ф. (10) является функцией комплексной.

Для случайной фазы сигнала (1) х.ф. известна [12, с. 162] и равна

$$\Theta_1(V_m) = \frac{2 \sin\left(\frac{\pi}{2} V_m\right)}{\pi V_m}, \quad (11)$$

она является функцией действительной, т.к. закон распределения фазы центрированный.

Завершая анализ вероятностных характеристик квазидетерминированного сигнала (1), напомним, что у него мгновенные значения распределены по закону косинуса, амплитуда – по закону Бесселя, а фаза – по равномерному закону.

Метод статистической модуляции. Будем рассматривать новый метод модуляции [13], в котором все параметры сигнала «спрятаны» внутрь оператора математического ожидания, в результате чего получаем функцию

$$\Theta_1(V_m) = m_1 \{ \exp(jV_m u(t)) \}, \quad (12)$$

широко известную в математике, физике, статистической радиотехнике. Здесь и далее рассматривается одномерная х.ф. Применяя формулу Л. Эйлера, запишем

$$\Theta_1(V_m) = m_1 \{ \cos(V_m u(t)) \} + j m_1 \{ \sin(V_m u(t)) \} = A(V_m) + jB(V_m), \quad (13)$$

где $A(V_m), B(V_m)$ – действительная и мнимая части характеристической функции, которые содержат оператор математического ожидания; $m_1 \{ \cdot \}$ – оператор математического ожидания.

По аналогии с космонавтикой х.ф. является «скафандром» для сигнала, служит фундаментальной вероятностной характеристикой сигнала, в том числе, квазидетерминированного колебания (1). Физический смысл

х.ф. исследован в работе [2], при этом известно, что она является спектральной плотностью вероятностей мгновенных значений сигнала (1). Х.ф. зависит от плотности вероятностей сигнала. Следовательно, каждой модели квазидетерминированного сигнала соответствует своя фундаментальная х.ф., которая имеет много положительных свойств. Она ограничена, измерима, фильтрует шум, имеет предельные значения $\Theta(0) = 1, \Theta(\infty) = 0, \Theta(-\infty) = 0$. Другие замечательные её свойства описаны в работе [2]. Опираясь на достоинства х.ф., предлагаем способ модуляции этой функции.

Способ модуляции х.ф., в котором постоянное напряжение e_0 перемножается с телеграфным сигналом $s(t)$, принимающим значение либо «1», либо «0», после чего произведение $e_0 s(t)$ суммируют с центрированным квазидетерминированным сигналом (1), математическое ожидание которого равно нулю, и таким образом осуществляют модуляцию х.ф. преобразованного квазидетерминированного сигнала по закону:

при $s(t)=0$ с получением функций вида

$$A(V_m, t) = \frac{\cos(V_m \pi / 2, t)}{(1 - V_m^2)}, \quad B(V_m, t) = 0; \quad (14)$$

при $s(t)=1$ с получением функций вида

$$A(V_m, t) = \frac{\cos(V_m \pi / 2, t)}{(1 - V_m^2)} \cos(V_m e_0), \quad B(V_m, t) = \frac{\cos(V_m \pi / 2, t)}{(1 - V_m^2)} \sin(V_m e_0), \quad (15)$$

где $e_0 = x_0$ – постоянное напряжение (математическое ожидание сигнала); V_m – параметр х.ф., причем при значении $V_m = 1$ функция $A(1, t)$ и функция $B(1, t)$ изменяются по закону телеграфного сигнала в противофазе.

На рис. 1. приведена структурная схема модулятора, она содержит перемножитель 1 и сумматор 2. К рис. 1 можно дать следующие пояснения. В соответствии с определением способа модуляции при значении $s(t) = 1$ формируется нецентрированный квазидетерминированный сигнал

$$u_1(t) = e_0 s(t) + a \sin(\omega_0 t + \eta) \quad (16)$$

с х.ф. вида (9) и передаётся на выход модулятора. Когда на входе перемножителя телеграфный сигнал $s(t) = 0$, то на выходе сумматора появляется центрированный квазидетерминированный сигнал (1) с х.ф. вида (8). Таким образом, выполняется модуляция х.ф. по закону телеграфного сигнала, которую предлагаем называть **статистической модуляцией** (СМ). Следовательно, х.ф. квазидетерминированного колебания на выходе модулятора модулирована телеграфным сигналом.

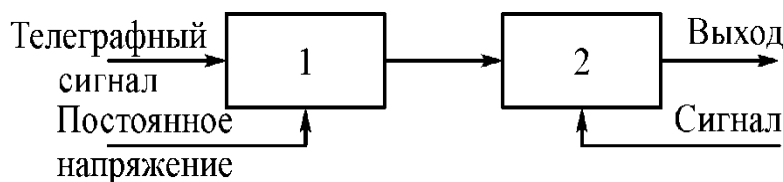
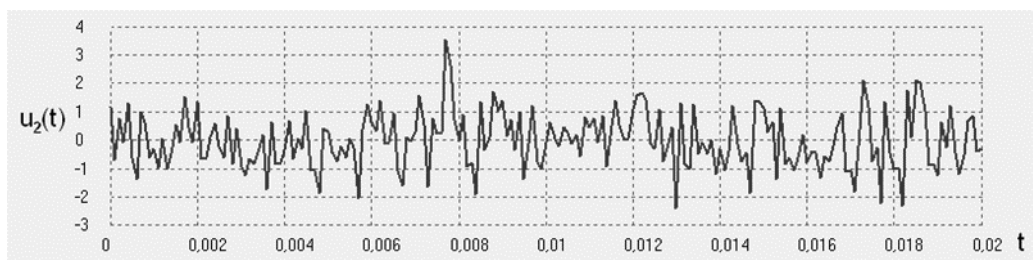
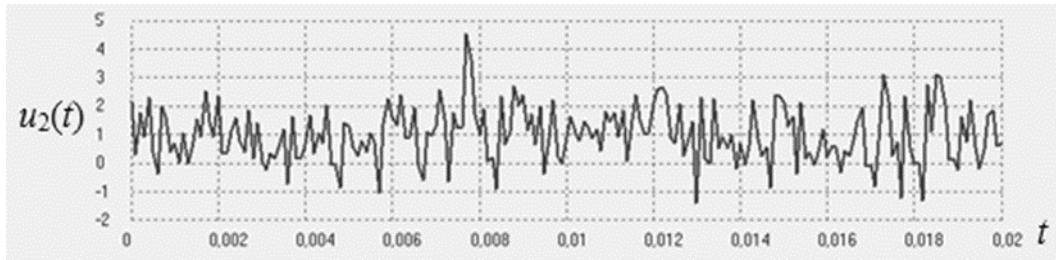


Рис. 1.

Для пояснения на рис. 2. показаны фрагменты реализации квазидетерминированного сигнала с разными характеристическими функциями. Сравнивая реализации между собой, видим, что реализация на рис. 2b имеет постоянную составляющую $e_0 = 1$.



a)



b)

Рис. 2.

Для последующего описания преобразований введем обозначение выходного сигнала модулятора

$$u_2(t) = \begin{cases} u(t) & \text{при } s(t) = 0, \\ u_1(t) & \text{при } s(t) = 1 \end{cases} \quad (17)$$

и напомним, что дисперсия его постоянна и равна (4).

Способ демодуляции сигнала. Для демодуляции сигнала предлагаем новый способ [14], в котором используется аналогово-цифровое преобразование сигнала (17), перемножение дискретных мгновенных значений сигнала с параметром V_m , функциональное преобразование с целью получения функций синус и косинус произведений с последующим накоплением значений этих функций на интервале времени, равном длительности символа логической «0» и логическая «1». После этого с помощью функции синус вычисляют оценку $\tilde{B}(V_m, t)$ мнимой части х.ф., а с помощью функции косинус-оценку $\tilde{A}(V_m, t)$ действительной части х.ф., текущие значения которых сравнивают с порогами, а решение принимают в соответствии с выполнением следующих неравенств:

- 1) если $\tilde{B}(V_m, t) < \Pi_{1c}$, то считают, что принят логический «0»;
- 2) если $\tilde{B}(V_m, t) \geq \Pi_{1c}$, то считают, что принята логическая «1»;
- 3) если $\tilde{A}(V_m, t) \geq \Pi_{2k}$, то считают, что принят логический «0»;
- 4) если $\tilde{A}(V_m, t) < \Pi_{2k}$, то считают, что принята логическая «1».

На рис. 3. приведена структурная схема демодулятора. Она содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 1, перемножитель 2, функциональные преобразователи 3,4, накапливающие усредняющие сумматоры 5,6, пороговые устройства 7,8. Принцип работы демодулятора следующий. На вход демодулятора поступает сигнал (17). После преобразования в АЦП дискретные мгновенные значения сигнала $u_2(k\Delta t)$ перемножаются с параметром V_m , а произведения преобразуются с целью получения функции $\sin [u_2(k\Delta t)V_m]$ и функции $\cos [V_m u_2(k\Delta t)]$. Накапливающие усредняющие сумматоры 5,6 работают одновременно. В сумматоре 5 накапливаются текущие значения функции синус, а в сумматоре 6 – текущие значения функции косинус. При появлении импульса синхронизации на стробирующих входах сумматоров на их выходах появляются значения оценок действительной и мнимой частей х.ф.

$$\tilde{A}(V_m, t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \cos [V_m u_2(k\Delta t)], \quad (18)$$

$$\tilde{B}(V_m, t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sin [V_m u_2(k\Delta t)], \quad (19)$$

где N – объём выборки мгновенных значений сигнала. Свойства оценок (18,19) исследованы в работе [2], при этом установлено, что при $N \gg 1$ они асимптотически состоятельны, эффективны и не смещены.

Значения оценок х.ф. (18,19) при значении $V_m = 1$ сравниваются в пороговых устройствах 7,8 с порогами Π_{1c} , Π_{2k} . Для удобства анализа последовательное соединение блоков 3, 5, 7 будем называть синусным каналом демодулятора, а последовательное соединение блоков 4, 6, 8 – косинусным каналом демодулятора, в блоке 8 которого в выходную цепь включен инвертор. При невыполнении записанных выше неравенств при значении $V_m = 1$ возникают ошибки в решении относительно принятого символа телеграфного сигнала.

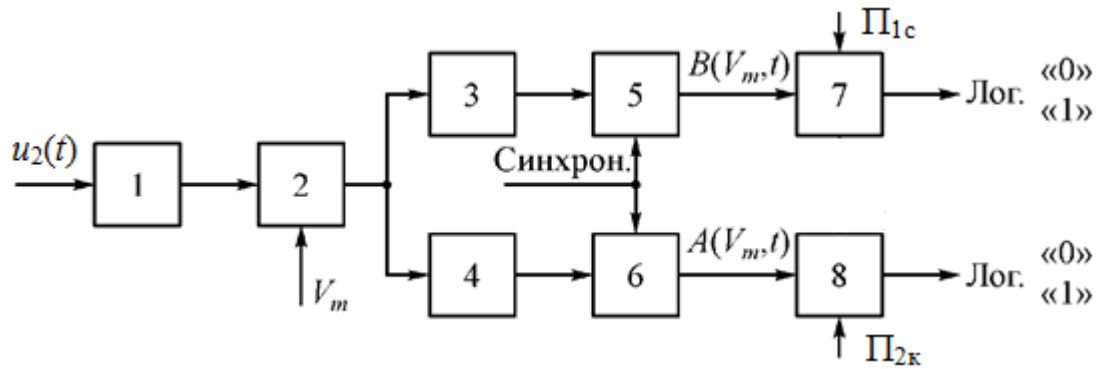


Рис. 3.

Пороги Π_{1c} (синусный канал), Π_{2k} (косинусный канал) устанавливаются в соответствии с равенствами

$$\Pi_{1c} = K_1 \Pi_1, \quad \Pi_{2k} = K_2 \Pi_2, \quad (20)$$

$$\Pi_1 = \frac{\cos(V_m \pi / 2)}{(1 - V_m^2)} \sin(V_m e_0), \quad \Pi_2 = \frac{\cos(V_m \pi / 2)}{(1 - V_m^2)}, \quad (21)$$

при значении $V_m = 1$, где K_1, K_2 – коэффициенты.

Анализ помехоустойчивости модема в канале с шумами. Перейдем к анализу помехоустойчивости демодулятора, при действии на его входе аддитивной смеси квазидетерминированного сигнала и «белого» шума

$$z(t) = u_2(t) + n(t) \quad (22)$$

где $n(t)$ – «белый» шум, $u_2(t)$ – сигнал (17).

Х.ф. «белого» шума в литературе [12] записана с помощью выражения

$$\Theta_1(V_m) = \exp\left(-\frac{1}{2} V_m^2 \sigma_{uu}^2\right), \quad (23)$$

где σ_{uu}^2 – дисперсия «белого» шума. Известно свойство х.ф. о том, что х.ф. суммы независимых случайных процессов равна произведению характеристических функций отдельных слагаемых. Следовательно, х.ф. аддитивной смеси (22) будет равна произведению характеристических функций (8,23) или (9,23).

При значении $V_m=1$ определим для аддитивной смеси (22) действительную часть х.ф.

$$A_z(1, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos(z) W_1(z) dz = \frac{\pi}{4} \exp\left(-\frac{\sigma_c^2}{2h^2}\right), \quad (24)$$

где $h = \sigma_c / \sigma_{uu}$ – отношение сигнал/шум; $W_1(z) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\sigma_{uu}^2}{2}\right) \cos(z \mp e_0)$ – плотность вероятностей аддитивной смеси (22). Когда $s(t)=0$, аналогично (24) вычислим при значении $V_m=1$ для аддитивной смеси (22) мнимую часть х.ф.

$$B_z(1, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \sin(z) W_1(z) dz = 0, \quad (25)$$

Результаты (24), (25) нуждаются в количественном анализе. В табл. 1, 2 представлены результаты вычислений при $\Pi_1 = 0,5634$, $\Pi_2 = 0,7854$, $K_1 = 0,53$, $K_2 = 0,764$, $e_0 = 0,8$.

Таблица 1

Порог Π_{2k}	0,7854 · 0,764 = 0,6					
Оценка $A_z(1, t)$	0	0	0,08	0,624	0,77	0,79
Отношение h^2	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100
Вероятность ошибок P_l	1	1	1	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-45}$	$2 \cdot 10^{-45}$

Таблица 2

Порог Π_{1c}	0,5634 · 0,53 = 0,3					
Оценка $B_z(1, t)$	0	0	0	0	0	0
Отношение h^2	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100
Вероятность ошибок P_o	0	0	0	0	0	0

Анализ данных табл. 1 показывает, что в косинусном канале демодулятора логический «0» определяется без ошибок в диапазоне отношений по мощности сигнал/ шум от 1 до 100 или от 0 дБ до 20 дБ. В табл. 2 представлены идеальные результаты, т.к. логический «0» в синусном канале демодулятора определяется без ошибок, т.е. с предельной помехоустойчивостью, при любом отношении сигнал/шум. Это позволяет говорить о том, что простые команды управления типа включить-выключить, открыть-закрыть и другие будут приняты с достоверностью, равной единице, в любых условиях работы модема.

Пусть на входе демодулятора аддитивная смесь (22) содержит нецентрированный квазидетерминированный сигнал, это соответствует условию $s(t)=1$. Аналогично (24) при значении $V_m=1$ определим

$$A_z(1, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos(z)W_1(z)dz = \frac{\pi}{4} \exp\left(-\frac{\sigma_c^2}{2h^2}\right) \cos(e_0) \quad (26)$$

или аналогично (25) при значении $V_m=1$ вычислим

$$B_z(1, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \sin(z)W_1(z)dz = \frac{\pi}{4} \exp\left(-\frac{\sigma_c^2}{2h^2}\right) \sin(e_0). \quad (27)$$

Результаты (26), (27) нуждаются в количественном анализе. В табл. 3, 4 приведены данные вычислений при $\Pi_1 = 0,5634$, $\Pi_2 = 0,7854$, $K_1 = 0,53$, $K_2 = 0,764$, $e_0 = 0,8$.

Таблица 3

Порог Π_{1c}	0,5634 · 0,53 = 0,3					
Оценка $B_z(1, t)$	0	0	0,05	0,44	0,55	0,56
Отношение h^2	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100
Вероятность ошибок P_l	1	1	1	$1,1 \cdot 10^{-12}$	$8 \cdot 10^{-32}$	$8,6 \cdot 10^{-35}$

Таблица 4

Порог Π_{2k}	0,7854 · 0,764 = 0,6					
Оценка $A_z(1, t)$	0	0	0,05	0,43	0,54	0,55
Отношение h^2	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100
Вероятность ошибок P_o	0	0	0	$2 \cdot 10^{-45}$	$2,2 \cdot 10^{-17}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$

При выбранных значениях порогов по данным табл. 3, 4 различие логической единицы от нуля в синусном канале демодулятора происходит без ошибок в диапазоне отношений по мощности сигнал/шум от 1 до 100, т.е. в диапазоне, равном 20 дБ. При этом в косинусном канале демодулятора предельная помехоустойчивость сохраняется при отношении сигнал/шум от 0,001 и выше без ограничения, т.е. от минус 30 дБ до 20 дБ. Следовательно, простые команды управления типа включить-выключить, закрыть-открыть и другие будут приняты косинусным каналом с достоверностью, равной единице, в любых условиях работы модема.

В результате анализа работы модема можно говорить, что при наличии «белого» шума в канале связи помехоустойчивость по Котельникову предлагаемого модема предельная. При точной синхронизации работы обоих каналов модема ошибок при приеме телеграфного сигнала нет в диапазоне отношений по мощности сигнал/шум 20 дБ и выше, причем нижняя граница диапазона 0 дБ.

Перейдем от качественного анализа данных к количественной оценке помехоустойчивости модема.

Количественная оценка помехоустойчивости модема. В выражениях (18,19) вместо оператора математического ожидания применен идеальный сумматор. И, как результат этого, получаем оценки действительной и мнимой частей х.ф. Обе оценки – это случайные величины, имеющие свои свойства и законы распределения. Напомним, что оценки действительной и мнимой частей х.ф. являются эффективными, состоятельными и не смещенными. Это показано в более ранних работах, например [2], в которых эффективность оценок характеризуют с помощью их дисперсий. В книге [2, с. 95-96] приведена зависимость дисперсии оценок (18, 19) от безразмерного времени $S = T \cdot \Delta F_s$, где T – длительность реализации сигнала; ΔF_s – ширина энергетического спектра сигнала. При значении $S = 100$ дисперсия оценки действительной части х.ф. $\sigma_A^2 = 10^{-4}$, а дисперсия оценки мнимой части х.ф. $\sigma_B^2 = 10^{-3}$. Значение $S = 100$ получим тогда, когда примем $T = N \cdot \Delta t = 10^3 \cdot 0,1 \text{ мс} = 0,1 \text{ с}$ и $\Delta F_s = 1000 \text{ Гц}$. Здесь обозначения заимствованы из выражений (18, 19).

Закон распределения оценок действительной и мнимой частей х.ф. зависит от плотности вероятности аддитивной смеси сигнала и шума. Пусть в первом приближении он будет нормальным, поскольку точно решить математически эту задачу сложно, а может быть даже и не возможно. По словам профессора С.Я. Виленкина, который многие десятилетия решал подобные задачи, «... точное решение возможно только в отдельных случаях [7, с. 106]». Например, там же этот автор точно определил закон распределения оценки корреляционной функции гауссова сигнала, а затем после некоторых допущений предлагал считать его приближенно нормальным.

Далее поступаем аналогично процедуре дискретизации непрерывной величины по уровню, причем один уровень равен порогу, а второй уровень не ограничен порогом, т.е. он вариативен без отрицательных последствий для вероятности ошибок. При этом считаем, что центр закона распределения совпадает со значением оценки х.ф., записанной в табл. 1, 2, 3, 4. Между значением оценки и порогом есть коридор, он разный при изменении h^2 . Если значение оценки х.ф. выходит за границу коридора, то появляется ошибка при приеме логического элемента. Например, коридор равен 0,17 в табл. 1 при значении $h^2 = 10$. Значение коридора делим на «сигму», т.е. на σ_A оценки действительной или на σ_B оценки мнимой части х.ф. в зависимости от рассматриваемого канала демодулятора. Среднее квадратичное значение оценки в косинусном канале равно $\sigma_A = 0,01$, поэтому получаем количество «17 сигм», разделяющих эти два значения. Затем применяем правило, аналогичное правилу «трех сигма», и рассчитываем значение интеграла ошибок при «L сигмах». В нашем примере $L=17$. Вероятность ошибки, интересующая нас, будет равна разности между единицей и значением интеграла ошибок. К сожалению, в справочниках по специальным функциям значения интеграла ошибок ограничены размером $L \leq 10$. Поэтому в табл. 1, 3, 4 значения вероятности ошибок местами завышены, например, в табл. 1 при $h^2 = 10$. На самом деле ошибки будут на много порядков меньше.

Суммарная вероятность ошибок синусного и косинусного канала демодулятора показана в табл. 5. Для сравнения там же из работы [15] приведена вероятность ошибок идеальной фазовой модуляции (ФМ), рассчитанная в канале с шумами.

Таблица 5

Суммарная вероятность ошибок синусного канала	0,5	0,5	$5,5 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-32}$	$4,3 \cdot 10^{-35}$
Суммарная вероятность ошибок косинусного канала	0,5	0,5	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-17}$	$7,5 \cdot 10^{-13}$
Вероятность ошибок ФМ	1	0,9	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$
Отношение по мощности сигнал/шум	0,01	0,1	1,0	10	20

В табл. 1-5 приняты следующие обозначения: P_0 – вероятность ошибок при приеме логического «0»; P_1 – вероятность ошибок при приеме логической «1»; $P_\Sigma = \frac{1}{2}(P_0 + P_1)$ – суммарная вероятность ошибок устройства. Сравнение помехоустойчивости нового модема с помехоустойчивостью известного устройства, в котором применена идеальная ФМ, показывает его превосходство как минимум на три порядка и более порядков вплоть до двадцати. Это вызывает недоверие у разработчиков модемов, мнение которых гласит: «этого не может быть, потому что быть не может никогда». В косинусном канале новый модем имеет реперную точку с вероятностью ошибок значением $P_\Sigma = 3,5 \cdot 10^{-4}$, отличающимся от нуля, т.е. от предельной помехоустойчивости

устройства, если вероятность ошибок 10^{-17} условно приравнять нулю. Её возникновение связано может быть со случайным, без какого-либо обоснования, выбором для модуляции количественных параметров закона распределения квазислучайного сигнала. Вероятно, оптимизация этих параметров позволит устранить реперную точку модема. В синусном канале модема никаких реперных точек нет. Поэтому даже с такими данными можно надеяться на хорошее будущее нового модема с двумя каналами.

Энергетические характеристики сигнала. Считаем, что телеграфный сигнал имеет закон распределения Пуассона и корреляционную функцию $k_s(\tau)$, причем он не зависит от сигнала (1). Следовательно, корреляционная функция сигнала (16) в соответствии с её свойствами будет равна сумме корреляционных функций независимых слагаемых [8]

$$k_{u_1}(\tau) = k_s(\tau) + k_u(\tau) = \frac{1}{4} e^2 \exp(-2\nu|\tau|) + k_u(\tau), \quad (28)$$

где ν – среднее число скачков импульсов в единицу времени; τ – сдвиг во времени; e – амплитуда импульсов. Корреляционная функция сигнала (1) будет

$$k_u(\tau) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} u(t)u(t+\tau)W_1(y)W_1(\eta)dyd\eta = \frac{1}{2} m_2 \{a\} \cos \omega_0 \tau, \quad (29)$$

где $W_1(y)$ – плотность вероятности амплитуды (5); $W_1(\eta)$ – плотность вероятности случайной фазы η ; $m_2 \{a\}$ – начальный момент второго порядка (7).

Перейдем к анализу спектральной плотности мощности (энергетического спектра) сигналов (1,16). Запишем энергетический спектр сигнала (16)

$$G_{u_1}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} k_{u_1}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau = G_u(\omega) + G_s(\omega), \quad (30)$$

где

$$G_u(\omega) = \frac{\pi}{2} m_2 \{a\} [\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)], \quad (31)$$

$$G_s(\omega) = \frac{1}{2} e^2 \frac{\nu}{\nu^2 + \omega^2}. \quad (32)$$

Спектр (31) получился линейчатый. Он содержит спектральную составляющую $\delta(\omega + \omega_0)$ в виде дельта-функции в диапазоне частот от $-\infty$ до 0 и спектральную составляющую $\delta(\omega - \omega_0)$ в диапазоне частот от 0 до ∞ . Спектр (32) является сплошным. Он имеет форму резонансной кривой на любой несущей частоте ω числовой оси от $-\infty$ до $+\infty$. При переходе к физическому спектру, т.е. к спектру в области положительных частот, получим

$$G_{u_1}(\omega) = \pi \times m_2 \{a\} \delta(\omega - \omega_0) + \frac{e^2 \nu}{\nu^2 + \omega^2}. \quad (33)$$

Определим эффективную ширину энергетического спектра сигнала (16) на частоте $\omega = \omega_0$, после чего имеем

$$\Delta\omega_s = \frac{1}{G_s(0)} \int_0^{\infty} G_s(\omega) d\omega = \frac{\pi\nu}{2}, \quad (34)$$

где $\Delta\omega_s = 2\pi\Delta F_s$, $\Delta F_s = \frac{\nu}{4}$.

Анализ статистической модуляции. Сравним потенциальные возможности нового метода модуляции сигнала с идеальной фазовой модуляцией, как наиболее перспективной среди известных видов модуляции. Критериями сравнения будут показатели, применяемые в теории связи [11]. Потенциальная помехоустойчивость модема со статистической модуляцией после вычислений (табл. 1-4) получается предельной в канале с «белым» шумом, т.е. у модема нет ошибок при приеме данных в диапазоне отношений по мощности сигнал/шум 20 дБ, начиная с отношения 0 дБ. Потенциальная помехоустойчивость модема с идеальной фазовой модуляцией (ФМ) более низкая. Это показано в табл. 5.

Спектральная эффективность цифровых систем с ФМ по данным работы [10] равна 2 [(бит/с) / Гц]. Теоретически для модемов со статистической модуляцией она составит 4 [(бит/с) / Гц], если воспользоваться формулой [11]

$$\rho = R_b / \Delta F_s, \quad (35)$$

где $R_b = 1000$ – скорость передачи информации при двоичном кодировании, бит/с; ΔF_s – полоса частот модема при $V = 1000$ Гц. С учетом полосы пропускания по Найквисту спектральная эффективность модема со статистической модуляцией может уменьшиться до значения 2,8-3,6 [(бит/с) / Гц].

Энергетическую эффективность цифровых систем с ФМ рассчитаем по формуле [11] при одинаковой вероятности ошибок в канале с «белым» шумом в полосе 1 Гц

$$\beta = R_b / \Delta F_s h^2 = \rho / h^2, \quad (36)$$

где h^2 – отношение по мощности сигнал/шум. Если вероятность ошибки, равную 10^{-10} , условно принять за нуль, то для систем с ФМ при $R_b = 1000$ бит/с энергетическая эффективность составит 0,14 бит/дБ, в то время как для модемов со статистической модуляцией она будет 1,4 бит/дБ, т.е. она приближается к пределу, равному $1 / \ln 2 = 1,44$ [11]. Подводя итог анализу эффективности статистической модуляции, видим, что этот вид модуляции по всем показателям приближается к предельным теоретическим значениям эффективности систем, известным в литературе, и это подтверждает её перспективность.

Заключение

Заложены основы теории статистической модуляции квазислучайного сигнала с использованием характеристической функции и следующих элементов:

- 1) способов модуляции и демодуляции квазидетерминированного сигнала, запатентованных на уровне изобретения в России;
- 2) нового в статистической радиотехнике квазидетерминированного сигнала, мгновенные значения которого распределены по **закону косинуса**. Получены впервые вероятностные характеристики этого сигнала, неизвестные в теории вероятностей;
- 3) структуры модема нового поколения и описания её работы с помощью оценок действительной и мнимой частей характеристической функции квазидетерминированного сигнала, свойства х.ф. были изучены ранее;
- 4) помехоустойчивости модема нового поколения, полученной теоретически в канале с шумами при отношении сигнал/шум единица и более, причем она оказалась предельной в том смысле, что нет ошибок при приеме телеграфного сигнала, если вероятность ошибок 10^{-17} условно приравнять нулю. По этому показателю модем нового поколения превосходит все аналоги, в которых применяется детерминированный сигнал;
- 5) показателей эффективности цифровых систем связи с модемом нового поколения, рассчитанным по известным в теории связи формулам. При этом установлено, что спектральная и энергетическая эффективности цифровой системы будущего поколения получатся предельными и превосходят такие же показатели современных систем, использующих детерминированный сигнал.

Теорию статистической модуляции квазидетерминированного сигнала стоит совершенствовать далее с тем, чтобы определить оптимальные значения количественных параметров закона распределения сигнала, характеристическая функция которого модулируется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берштейн, И.Л. Флуктуации амплитуды и фазы лампового генератора / И.Л. Берштейн // Известия АН СССР. Сер. Физическая, 1950. – № 2. – С. 146-173.
2. Вешкурцев, Ю.М. Прикладной анализ характеристической функции случайных процессов: монография / Ю.М. Вешкурцев. – М.: Радио и связь, 2003. – 204 с.
3. Вешкурцев, Ю.М. Приборостроение на базе характеристической функции случайных процессов: монография / Ю.М. Вешкурцев, Н.Д. Вешкурцев, Д.А. Титов. – Новосибирск: Изд-во АНС «СибАК», 2018. – 182 с.
4. Вешкурцев, Ю.М. Модем нового поколения для будущих систем передачи данных. Часть 1 / Ю.М. Вешкурцев // Омский научный вестник. – 2018. – № 4 (160). – С. 110-113.
5. Вешкурцев, Ю.М. Модем нового поколения для будущих систем передачи данных. Часть 2 / Ю.М. Вешкурцев // Омский научный вестник. – 2018. – № 5 (161). – С. 102-105.

6. Вешкурцев, Ю.М. Помехоустойчивость и эффективность нового метода модуляции / Ю.М. Вешкурцев // международный научный журнал «Наука и Мир». - 2019. - № 3 (7). – С. 32 – 45.
7. Виленкин, С.Я. Статистическая обработка результатов исследования случайных функций : монография / С.Я. Виленкин. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.
8. Горяинов, В.Т. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи. Учеб. пособие для вузов / В.Т. Горяинов, А.Г. Журавлев, В.И. Тихонов / Под ред. В.И. Тихонова. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Сов. Радио, 1980. – 544 с.
9. Градштейн, И.С. Таблицы интегралов, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик / Под ред. А. Джеффри, Д. Цвиллингера. Изд. 7-е. Пер. с англ. Под ред. В.В. Максимова. – Санкт-Петербург : Изд-во «БХВ-Петербург», 2011. – 1232 с.
10. Зубарев, Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы: монография / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М.: Изд-во НИИР, 2001. – 568 с.
11. Зюко, А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации: монография / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов и др. / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
12. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: монография / Б.Р. Левин. – М.: Сов. Радио, 1966. – 728 с. .
13. Способ модуляции сигнала : пат. 2626554 Рос. Федерация. № 2016114366/5 / Вешкурцев Ю.М., Вешкурцев Н.Д., Алгазин Е.И.; заявл. 13.04.2016; опубл. 28.07.2017, Бюл. № 22. 5 с.
14. Способ демодуляции сигнала: пат. 2626332 Рос. Федерация. № 2016131149/27 / Вешкурцев Ю.М., Вешкурцев Н.Д., Алгазин Е.И.; заявл. 27.07.2016; опубл. 26.07.2017, Бюл. № 21. 5 с.
15. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника: монография / В.И. Тихонов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

Материал поступил в редакцию 01.04.19.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE STATISTICAL MODULATION OF QUASIRANDOM SIGNAL

Yu.M. Veshkurtsev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member
of A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Telecommunications
Institute of Radio Electronics, Service and Diagnostics (Omsk), Russia

Abstract. *In the paper a method for the statistical modulation of a previously unknown quasideterministic signal is suggested; the method is described using probability theory. The fundamentals of the theory of statistical modulation and the structure of modem of a new generation were built. An analysis of the interference immunity of the modem when working in the noisy channel is made. The results of theoretical analysis showed that with the help of the method of statistical modulation, it is possible to achieve the limit values of interference immunity, spectral and energy efficiency of digital communication systems.*

Keywords: *method, statistical modulation, characteristic function, modem, interference immunity, spectral and energy efficiency, digital system.*

УДК 621.182.4

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА СНИЖЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И СПОСОБ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ НАКИПИ

Р.Я. Гарифуллин, магистрант 2 курса
Факультет трубопроводного транспорта,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Россия

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема образования карбонатных, силикатных, гипсовых отложений на стенках теплообменного оборудования, их последствия и методы борьбы. Рассмотрен способ химической очистки теплообменного оборудования сульфаминовой кислотой. Экспериментально определили наиболее эффективную концентрацию реагента. Слои накипи влияют на экономические затраты как поставщика, так и потребителя теплоты. С ростом накипных отложений в диапазоне от 0,1 мм до 1 мм происходит недоотпуск теплоты, что приводит в свою очередь к увеличению расхода топлива, электроэнергии и перегреву. Рассмотрены коэффициенты теплопроводности накипи, которые в зависимости от плотности и химического состава отложений изменяются в широких пределах от 0,06 до 7,0 Вт/(м·К).*

***Ключевые слова:** теплообменное оборудование, снижение коэффициента теплопередачи, отложения, кожухотрубные и пластинчатые теплообменники, химическая промывка, сравнение теплообменных аппаратов.*

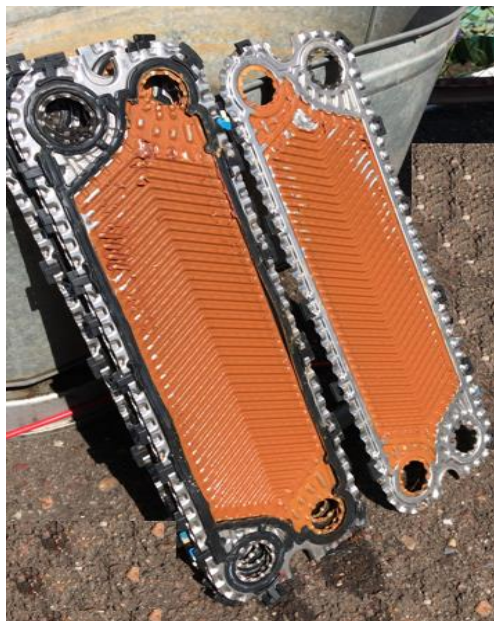
Качество воды является одной из насущных проблем в современном мире. Растворенные в воде вещества вызывают те или иные неполадки в работе энергетического оборудования. В основном это связано с образованием в тепловых агрегатах накипных отложений и коррозии. Многие специалисты отмечают, что плохая химводоподготовка и несвоевременная очистка теплообменного оборудования снижают эффективность системы теплоснабжения и теплопотребления на 50-70 % [1, с. 5].

Наличие твердых отложений в виде накипи на теплообменных поверхностях приводит к значительному снижению общей интенсивности процесса теплопередачи. Коэффициент теплопередачи у пластинчатого теплообменника почти в 2 раза выше, чем у кожухотрубчатого, это связано с конструктивными особенностями установок. Толщина слоя накипи в 1 мм в обоих случаях приводит к снижению коэффициента теплопередачи в 2 раза у кожухотрубчатого теплообменного аппарата, и в 2,5 раза у пластинчатого теплообменного аппарата, нарост слоя накипи всего на 0,4 мм приводит к снижению коэффициента теплопередачи установок в 2 раза [5, с. 20].

В системах теплоснабжения используется сырая водопроводная вода. Перед тем как воду нагреть и отправить к источникам потребления, ее нужно подготовить (умягчить, удалить газы, очистить от механических примесей) [2, с. 25]. Далее идет процесс деаэрации воды, это процесс удаления из воды растворенных вредных газов, которые служат одной из главных причин образования коррозии на оборудовании: кислорода и углекислого газа. Если в воде в большом количестве присутствует кислород (O₂) и углекислый газ (CO₂), то при нагреве скорость коррозии значительно возрастает. Коррозия в системах теплоснабжения – причина большинства аварий [4, с. 14].

Главную работу в обеспечении потребителей тепловой энергией играют теплообменные аппараты. Качество их работы и будет показывать правильность теплоснабжения в целом, недоотпуск теплоты, перерасход топлива и энергии для восполнения тепловых потерь и причины повышения температурного напора теплоносителя [4, с. 29].

Установленные в блочных котельных, ЦТП теплообменные аппараты обеспечивают потребителей необходимой тепловой нагрузкой на отопление и ГВС (горячее водоснабжение), но как говорилось ранее, при некачественной водоподготовке на теплообменном оборудовании со временем будут образовываться слои накипи, отложения, ведущие в свою очередь к коррозии на поверхностях оборудования. Пример образований отложений на пластинах пластинчатого теплообменного аппарата и на кожухотрубчатом теплообменном аппарате изображены на рисунке 1.



а – на пластинах пластинчатого теплообменного аппарата



б – на кожухотрубчатом теплообменном аппарате

Рисунок 1. Отложения накипи

В системах теплоснабжения образующиеся на поверхностях нагрева теплообменных аппаратов отложения относятся к низкотемпературным. Основными компонентами таких отложений являются силикаты, карбонаты кальция, окислы железа и сульфата кальция. Существуют различные виды накипи, и для каждого варианта отложений можно применить тот или иной способ удаления или предотвращения ее образования. Основные виды накипи [3, с. 287]:

- Силикатная накипь (с содержанием SiO_2 20-25 % и более). Характер отложений – твердый. Коэффициент теплопроводности 0,06-0,23 Вт/(м·К);
- Гипсовая накипь (с содержанием CaSO_4 до 50 %) сульфатная. Характер отложений – твердый плотный. Коэффициент теплопроводности 0,6-2,9 Вт/(м·К);
- Гипсовая накипь (с содержанием CaSO_4 до 50 %) сульфатная. Характер отложений – от аморфного порошка до твердого котельного камня. Коэффициент теплопроводности 0,6-7,0Вт/(м·К);
- Смешанная накипь, состоящая из гипса, карбонатов и силикатов кальция и магния. Характер отложений – твердый плотный. Коэффициент теплопроводности 0,8-3,5Вт/(м·К).

Существуют основные способы очистки теплообменного оборудования:

1. Химическая очистка;
2. Механическая очистка;
3. Гидромеханическая очистка;
4. Электроимпульсная очистка;
5. Гидродинамическая очистка [3, с. 176].

Для проведения эксперимента по очистке отложений на пластинах пластинчатого теплообменного аппарата и на трубках кожухотрубчатого теплообменного аппарата была принята химическая очистка.

В качестве исходного химического реагента было выбрано химическое средство – сульфаминовая кислота $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ (чистый). По паспорту производителя реагент содержит следующие показатели:

1. Массовая доля $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ – 99,71 %;
2. Массовая доля сульфатов – 0,018 %;
3. Массовая доля железа – 0,0002 %;
4. Влажность – 0,004 %.

Данный реагент поставляется в сухом виде, где концентрация рабочего раствора устанавливается в зависимости от количества отложений.

Для проведения данного эксперимента использовалось следующее оборудование: циркуляционный насос, открытая емкость из полимерного материала, система подводящих шлангов, фитинги, шаровые краны. Общая продолжительность промывки осуществлялась нагретым раствором до температуры 60 °С. Оборудование было подключено по схеме – насос – вход в систему – выход из системы – емкость – насос.

Во время промывки кожухотрубного теплообменного аппарата в верхней точке теплообменника образовывался газ от химического воздействия реагента на отложения. По мере накопления газ удалялся через воздушный клапан. Подогрев раствора осуществлялся с помощью медного кипятильника.

Промывка пластинчатого теплообменника осуществлялась в корыте, где раствор подогревался плиткой до необходимой температуры.

Процесс завершения промывки контролировался по химической реакции, а именно после полного растворения накипи прекращалось образование в баке и корыте пузырьков газа.

После завершения промывки кожухотрубный и пластинчатый теплообменные аппараты были промыты большим количеством воды.



а – пластинчатый теплообменный аппарат

б – кожухотрубчатый теплообменный аппарат

Рисунок 2. Теплообменные аппараты после промывки

Анализ опыта промывки двух теплообменных аппаратов показал, что при разбавлении 5 кг сухой сульфаминовой кислоты в 95 литров воды является наиболее эффективным раствором, который позволяет максимально быстро растворить налет. Данный метод позволяет значительно снизить расходы на промывку в связи с незначительной стоимостью реагента. Помимо очистки теплообменного оборудования уже от образовавшейся накипи, есть возможность предотвратить ее быстрое образование на том или ином оборудовании, для этого используются всевозможные фильтры и реагентные умягчители.

Из технологий водоподготовки и способов умягчения воды наиболее эффективным является обработка воды с помощью натрий-катионитовых фильтров.

В завершении хотелось подвести итог, что накипные отложения значительно снижают значение полного коэффициента теплопередачи. Накипь приводит к снижению срока эксплуатации оборудования, увеличению расхода теплоносителя и в свою очередь к увеличению расхода топлива и электроэнергии на его перекачку и перегрев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрущенко, А.И. Теплофикационные установки и их использование / А.И. Андрущенко, Р.З. Аминов, Ю.М. Хлебалин. – М.: Высш. школа, 1983. – 255 с.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 415 с.
3. Кузнецова, Е.В. Методы и технические средства очистки / Е.В. Кузнецова, А.Ф. Туктамышев, А.С. Болгова и др. – СПб: Недра, 2006. – 192 с.
4. Локтева, Д.В. Методы борьбы с коррозией трубопроводов / Д.В. Локтева, А.М. Попов, Р.И. Ганиев и др. – Аллея науки, 2017. – 186 с.
5. Цветников, А.К. Влияние ультрадисперсного политетрафторэтилена ФОРУМ™ на химическую стойкость лакокрасочных покрытий / А.К. Цветников, Т.А. Калачева, В.М. Бузник. – ЛКМ, 2001. – 21 с.

Материал поступил в редакцию 01.04.19.

EFFECT OF WATER QUALITY ON THE THERMAL TRANSFER RATE REDUCTION OF HEAT-TRANSFER APPARATUSES AND THE METHOD FOR CLEANING FROM SCALING

R.Ya. Garifullin, 2nd year Master's Student
Faculty of Pipeline Transport,
Ufa State Petroleum Technical University, Russia

Abstract. *The article deals with the problem of formation of carbonate, silicate, gypsum scaling on the walls of heat-transfer equipment, their consequences and methods of control. The method of chemical cleaning of heat-transfer equipment with sulfanic acid is considered. We experimentally determined the most effective concentration of the reagent. The scale layers affect the economic costs of both the supplier and the consumer of heat. With the growth of scale deposits in the range from 0.1 mm to 1 mm, there is an undersupply of heat, which in turn leads to an increase in fuel and electricity consumption and overheating. The thermal transfer rates of scale are considered, which, depending on the density and chemical composition of the scales, vary widely from 0.06 to 7.0 W / (m · K).*

Keywords: *heat-transfer equipment, reduction of the thermal transfer rate, scaling, shell-tube and plate heat exchangers, chemical washing, comparison of heat exchangers.*

УДК 665.61 330.55:339.98(47:57)

ВОЛОСКИ ОКОЛОЦВЕТНИКА ПОЧАТКОВ РОГОЗА КАК ПРИРОДНЫЙ СОРБЕНТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

О.Г. Горовых¹, Б.А. Альжанов²¹ кандидат технических наук, профессор кафедры специальной подготовки,² соискатель адъюнктуры, заместитель генерального директора¹ Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»

Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь (Светлая Роцца), Республика Беларусь

² ТОО «SEMSER OrtSondirushi» (Астана), Казахстан

Аннотация. При ликвидации разливов углеводородных соединений необходимо проводить аварийные мероприятия в минимальные сроки, эффективно, с наименьшими экономическими затратами и с минимальными последствиями для окружающей среды. Сегодня в мире производится около двух сотен различных нефтесорбентов, однако, всем указанным требованиям ни один из сорбентов полностью не отвечает. Цель исследования – определение сорбционных свойств волосков околоцветника початков рогоза (ВОПР) по отношению к различным углеводородам. Определена сорбционная ёмкость ВОПР по нефти, дизельному топливу, бензину, минеральному. Показано, что увеличение времени контакта сорбента с сорбтивом не увеличивает количество поглощённого углеводорода. Определено минимальное время контакта сорбента ВОПР с сорбтивом, составляет 5 секунд. Показано, что количество отжатого из отработавшего сорбента нефтепродукта превышает 60 %.

Ключевые слова: сорбенты нефти, волоски околоцветника рогоза, сорбционная ёмкость, нефть и нефтепродукты.

Введение. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (НиНП) имеют место во всех странах мира, и все также остаются проблемы по эффективной ликвидации этих разливов, как на твердых поверхностях, так и на водных объектах. Плёнку НиНП толщиной 0,1 мм (и вплоть до 2 мм) собрать механическими способами невозможно. Наиболее эффективным методом ее ликвидации является сбор с поверхности воды с использованием сорбентов. Основные задачи, которые необходимо реализовать при ликвидации разливов углеводородных соединений УС (нефть и нефтепродукты), это провести аварийные мероприятия в минимальные сроки, эффективно (полностью собрать разлившийся продукт), с наименьшими экономическими затратами (дешево) и с минимальными последствиями для окружающей среды.

Применительно к нефтяным сорбентам данные требования в определённой мере взаимоисключающие. Дешёвые сорбенты малоэффективны и их использование увеличивает время ликвидации и не обеспечивает полной очистки объекта от загрязнения, малая эффективность сорбентов (небольшая сорбционная ёмкость) приводит к увеличению количества отходов после проведения ликвидационных мероприятий. Эффективные сорбенты углеводородов (искусственные), извлекающие нефтепродукты быстро и в полном объеме, – дорогостоящи, несовместимы с экосистемой и их утилизация приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды.

Учитывая, что воздействие НиНП на живые организмы приводит к нарушению физиологической активности, болезням, вызванным внедрением углеводородов в организм, изменениям среды обитания и т.д. [6, 12], в последнее время большую значимость приобретают технологии, связанные с рациональным природопользованием. Поэтому наиболее целесообразно применять при ликвидации разливов УС природные сорбенты, так как при их использовании не наносится вреда окружающей среде. Даже если, применяя природные сорбционные материалы, часть отработавшего или не работающего, но внесённого на территорию очищаемого объекта сорбента не удастся собрать, то через определённый промежуток времени он разложится естественным путем.

Несмотря на уже имеющиеся разнообразные сорбционные материалы, для удовлетворения требований времени (экосовместимость и эффективность), поиск новых сорбентов и новых решений в области ликвидации разливов НиНП продолжается.

По нашему мнению, таким требованиям в большой мере соответствует такой природный материал как волоски околоцветника початков рогоза. Рогоз широко распространён, сравнительно дешёв и доступен, что позволяет его использовать в качестве сорбента при проведении аварийных разливов УС.

Основная часть. Цель данного исследования – определение сорбционных свойств волосков околоцветника початков рогоза (ВОПР) по отношению к различным нефтепродуктам и нефти в статических и динамических условиях, а также при нахождении НиНП на водной поверхности при ее различной солёности. Исследования проводили на образцах ВОПР собранных на территории водоёмов Борисовского района Минской обл.

Рогоз широколистный (*Typhalatifolia*L.) встречается часто по всей территории республики. Растёт на мелководье в озёрах, реках и старицах, на низинных болотах, в заболоченных черноольшаниках, на других влажных местах – по канавам, обводнённым карьерам и т. п., может образовывать значительные плотные заросли. Соцветия рогоза (початки) длинно-цилиндрические, плотные, бархатистые, колосовидные, до 1,5 см в диаметре, темно-коричневые (мужской и женский «початки») располагаются на одном побеге один над другим, без промежутка).

Химический состав цветных волосков (пух) представлен углеводами (целлюлоза, пентозаны, в гидролизате – арабинозами). Урожайность воздушно-сухой подземной фитомассы рогоза широколистного достигает 115 т/га [11]. Дополнительной обработке (сушке, активации) в различных химических реагентах не подвергались и т.д.) образцы не подвергались. Для определения сорбционной нефтеёмкости ВОПР за основу была взята методика ТУ 214-10942238-03-95, изложенная в работе [4].

Для извлечения отработавшего сорбента нами было изготовлено специальное металлическое приспособление. Металлическая сетка имеет квадратные ячейки размером 0,3 мм, диаметр приспособления – 6,5 см, высота цилиндрической части приспособления – 2 см, высота ручки 23 см. При испытании адсорбентов использовали весы, с пределом взвешивания 1000 г и пределом допускаемой погрешности $\pm 0,01$ г.

Определение нефтеёмкости волосков околоцветника початков рогоза проводили в следующей последовательности. Навеску исследуемого сорбента – волосков околоцветника початков рогоза в количестве 1 г размещали в приспособлении и помещали в ёмкость, наполненную углеводородом (нефть или нефтепродукт) в количестве 200 мл. Накрывали ёмкость с углеводородом и сорбентом крышкой. Время контакта сорбента с углеводородом составляло 10 минут. Затем извлекали приспособление с отработавшим сорбентом из углеводорода, давали стечь углеводороду с приспособления и сорбента в течение 2 минут и определяли массу сорбента с поглощённым нефтепродуктом и с приспособлением (рис. 1).



Рис. 1. Извлечение отработавшего сорбента (сорбтив – дизельное топливо)

Полученные результаты сорбционной ёмкости по нефти и таким нефтепродуктам как: топливо дизельное ЕВРО по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009), дизельное топливо, керосин КО-20 по ТУ 38.401-58-10-01, бензин АИ-92 К5 (зимний) по ТУ ВУ 400091131.006-2009, нефрас С-4 150/200 (уайт-спирит) по ГОСТ 3134-78, масло нейтральное по ТУ РБ 300220696.022-04, паракилол нефтяной по ТУ 38.101255-87 приведены в таблице 1.

К одним из основных качеств сорбента, относится возможность регенерации и утилизации сорбента, которое показывает, насколько возможно его «освободить» от поглощённого нефтепродукта. Предпочтительно использовать сорбенты с большим числом вариантов экологически приемлемой утилизации, так как не везде можно осуществить, например, высокотемпературное сжигание синтетических сорбентов (требуется особая система доочиски продуктов горения, которые могут содержать в том числе и цианистые соединения) или произвести их биологическое разложение.

Возможность регенерации проверяли испытанием на степень отжимания. Оценку степени отжимания проводили, опираясь на п.10 ГОСТ 33627-2015 [3] в следующей последовательности. Пробу сухого адсорбента взвешивали, и в приспособлении помещали на две минуты в соответствующий нефтепродукт (контроль времени по песочным часам), извлекали сорбент с нефтепродуктом и давали НиНП стечь в течение 2 минут и снова взвешивали. В результате вычитания массы сухого адсорбента определяли массу адсорбированного нефтепродукта ($m_{НП}$). Насыщенный нефтепродуктом адсорбент помещали в отжимное устройство (рис. 2).



Рис. 2. Отжимное приспособление

Отжимное устройство имеет перфорированное дно и хорошо пригнанную верхнюю прижимную крышку. Верхнюю крышку прижимного устройства закручивали. Усилие поворота прижимного устройства контролировали динамометром.

После прекращения поступления через перфорированное дно нефтепродукта (время отжима не превышало 30 с), прижимную крышку освобождали и извлекали пробу отжатого адсорбента. Пробу адсорбента переносили в предварительно взвешенную ёмкость и взвешивали.

Полученные результаты после первого отжима представлены в таблице 1, (столбцы 5 и 6). Отжатый сорбент можно опять использовать, хотя при этом его сорбционная ёмкость несколько падает. После двадцати циклов она уменьшается на 10% от первоначальной.

Таблица 1

Сорбционная ёмкость волосков околоцветника початков рогоза

№ опыта	Нефтепродукт	Сорбционная ёмкость, G_{M} , г/г	Средняя сорбционная ёмкость, G_{M} , г/г	Величина отжимаемого НилП, %	Среднее значение отжимаемого НилП, %	Плотность нефтепродукта, ρ , кг/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1	ЕН-590:2009	19,8	20,33	55,8	55	832 (15 °С)
2		20,8		54,1		
3		20,4		55,1		
1	Дизельное топливо зимнее	30,46	28,9	71,6	69,2	0,828 (15 °С)
2		31,82		68,9		
3		27,52		68,4		
4		25,62		58,7		
5		27,15		68,8		
6		30,2		69,7		
7		29,7		73,1		
8		28,7		74,6		
1	Нефть	16,8	17,4	74,4	62,9	0,823 (15 °С)
2		17,57		55,0		
3		18,25		58,0		
4		17,94		58,9		
5		18,67		67,4		
6		15,82		61,1		
7		16,97		65,8		
8	Нефть	23,272	22,7			0,881 (15 °С)
9		20,04				
10		24,668				
1	Керосин КО-20	18,3	17,4	63	63,3	0,812 (15 °С)
2		17,8		63		
3		16,1		64		
	1	2	3	4	5	6
1	Бензин АИ-92 К5 (зимний)	20,30	21,7	67,6	69	0,736 (15 °С)
2		23,82		70,0		
3		24,43		69,9		
4		20,28		69,2		
5		19,67		68,5		
1	1. Нефрас С-4 150/200 (уайт-спирит)	17,04	18,8	76,35	67,8	0,812 (15 °С)
2		18,9		60,57		
3		20,39		66,57		
1	Масло нейтральное	37,26	35,4	65,9	65,6	0,870 (15 °С)
2		36,1		66,7		
3		37,5		66,8		
4		38,6		66,7		
5		32,2		66,6		
6		35,3		63,9		
7		32,7		62,9		
8		10,39				
1	Параксилон	11,88	26,4	59,5		0,863 (15 °С)

При сравнении полученных значений сорбционной ёмкости и степени отжима с некоторыми из сорбентов, выпускаемых промышленностью на основе природных материалов можно сделать вывод, что применение ВОПР в качестве нефтесорбента является более эффективным по сорбционной ёмкости. Сорбционная ёмкость ВОПР по дизельному топливу превышает такой сорбент как Лессорб-1 в 8,7 раза, по нефти как минимум в 4,3 раза по бензину в 8 раз. Кроме того, ВОПР позволяет проводить отжим. Масса отжатых нефтепродуктов в первом цикле составляет от 54,1 до 74,4 % от общего количества сорбированного нефтепродукта, что превышает этот показатель у известных промышленных сорбентов, по которым имеются литературные данные [1, 2, 5, 7-10].

Для определения сорбционной ёмкости ВОПР при сборе НиНП с водной поверхности были проведены дополнительные испытания. В ёмкость объёмом 3 дм³ помещали 2 дм³ водопроводной воды, сверху наливали 100 мл нефтепродукта. Ёмкость с нефтепродуктом укрепляли на встряхивающем устройстве ЛВУ-01 и устанавливали скорость встряхивания равную 49 оборотов/с., это позволяло сформировать сплошную плёнку на поверхности жидкости и эмульгированный слой (нефть в воде) толщиной в несколько см.

После 5 минут встряхивания помещали на поверхность нефтепродукта 4 г сорбента и продолжали проводить сорбцию в динамических условиях в течение 5 минут при температуре воды – 16,5-17 °С. Затем извлекали сорбент металлической сеткой.

Время стекания воды и НиНП с сетки с сорбентом составляло 2 минуты (фиксация песочными часами). Сорбционная ёмкость ВОПР в указанных условиях приведена в таблице 2.

Из представленных результатов видно, что сорбционная ёмкость ВОПР практически не изменилась при сборе с водной поверхности НиНП по сравнению с сорбционной ёмкостью в статических условиях (идеальные условия, максимальная ёмкость). Для определения сорбционной ёмкости ВОПР при сборе НиНП с водной поверхности моря был приготовлен раствор «морская вода» (хлорид натрия 40 г/дм³). Порядок исследования соответствовал ранее описанному для водопроводной воды.

Результаты проведённых измерений представлены в таблице 3.

Таблица 2

Сорбционная ёмкость ВОПР различных углеводородов на водной поверхности пресного водоёма в динамических условиях

Нефтепродукт	Сорбционная ёмкость, G_{iN} , г/г	Средняя сорбционная ёмкость, G_N , г/г	Количество отжимаемого нефтепродукта, %	Количество отжимаемого нефтепродукта, %
Ен-590	26,4	20,61	62,8	60,26
	24,4		67,7	
	24,6		65,9	
	17,9		53,2	
	16,42		56,03	
Ен-590*	13,92	14,6	55,98	52,4
	14,7		51,9	
	14,8		52,3	
	14,3		53	
Дизельное топливо	35,35	35,35	27,3	27,3
Нефрас С2 80/120	15,80	15,4	63,3	63,36
	15,5		67	
	14,82		60,4	
Нефрас С-4 150/200	18,06	18,74	57,8	61,4
	18,46		67,5	
	19,7		58,9	
Масло нейтральное ТУ РБ 300220696.022-04	88,38	101,04		
	76,57			
	122,71			
	116,50			

Таблица 3

Сорбционная ёмкость ВОПР различных углеводородов в морской воде (динамические условия)

Нефтепродукт	Сорбционная ёмкость, G_{iN} , г/г	Средняя нефтеёмкость, G_N , г/г	Количество отжимаемого нефтепродукта, %	Количество отжимаемого нефтепродукта, ср. %
Е -590	17,3	20,2	62,1	62,6
	20,0		64,7	
	23,2		61,0	
Е -590	12,5	12,62	46,3	48,7
	13,9		54,4	
	11,4		45,5	
Е -590*	16,8	18,2	53,6	58,9
	19,0		61	
	18,8		62	
Нефрас С-4	17,5	19,2	53	54
	19,7		54	
	20,5		55	
	19,2		54	

Из представленных результатов видно, что солёность воды также не влияет на сорбционную ёмкость исследуемого природного сорбента ВОПР. Для определения влияния сорбционной ёмкости от времени контакта сорбента ВОПР с нефтепродуктом мы провели исследования, во время которых полностью погружали навеску сорбента в НиНП и выдерживали заданное время. Затем насытившийся сорбент извлекали, давали стечь нефтепродукту в течение 2 минут (фиксация по песочным часам) и определяли количество поглощённого нефтепродукта. Результаты полученных измерений представлены на графиках (рис. 3 и 4).

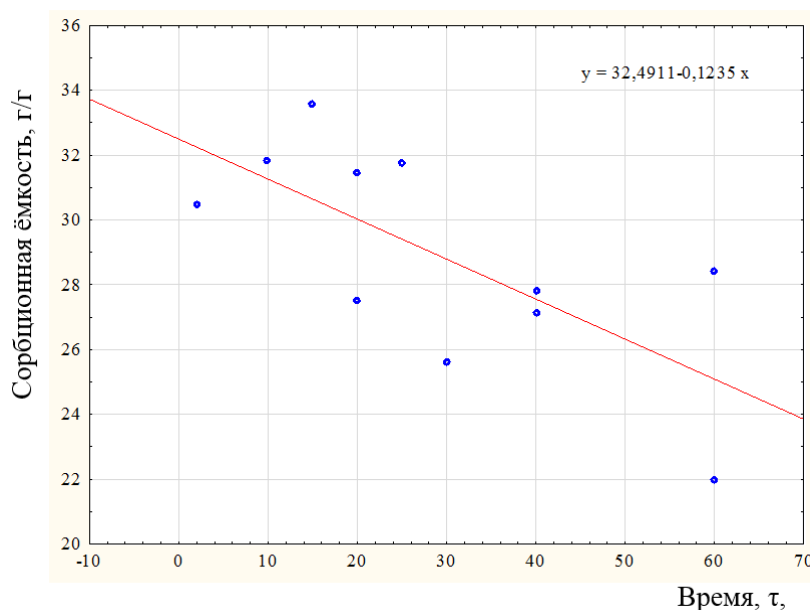


Рис. 3. Изменение сорбционной ёмкости ВОПР в зависимости от времени контакта с адсорбтивом (дизельное топливо)

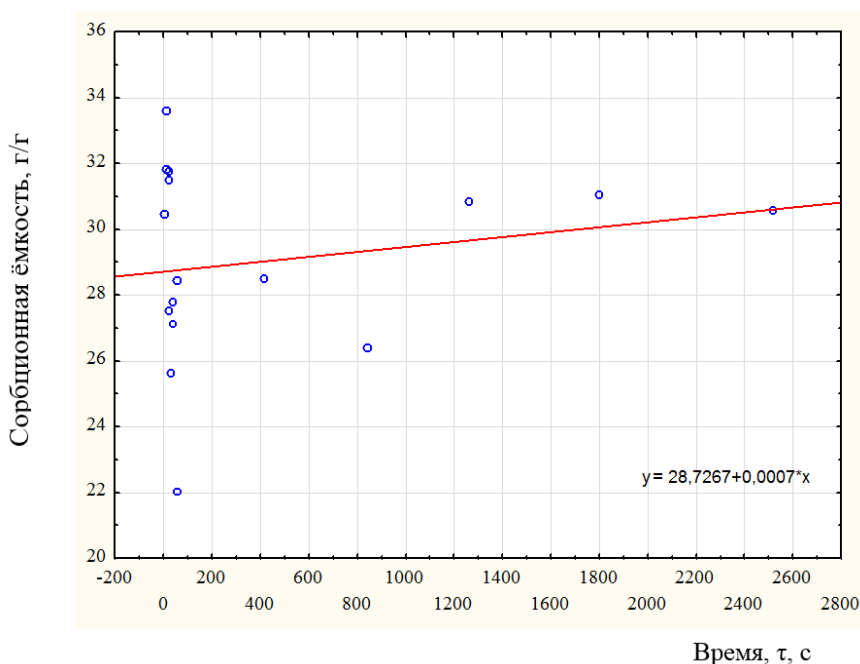


Рис. 4. Изменение сорбционной ёмкости ВОПР в зависимости от времени контакта с адсорбтивом (дизельное топливо)

Из представленных на графиках 3 и 4 данных видно, что сорбционная ёмкость слабо меняется с изменением времени контакта сорбента с сорбтивом, и находится в пределах 32-25 г/г. Причем если на первом графике в интервале времени от 5 до 60 секунд, регрессионная кривая указывает на снижение сорбционной ёмкости, то на графике 4 сорбционная ёмкость незначительно повышается, что соответствует общей тенденции характерной для всех сорбентов. Однако, такое незначительное повышение сорбционной ёмкости указывает на возможность быстрого сбора данного сорбента с поверхности воды, что позволит механизировать данный процесс, что еще раз указывает на перспективность использования рассматриваемого сорбционного материала.

Заключение. Полученные при изучении сорбционной ёмкости природного сорбента ВОПР результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования рассматриваемого сорбционного материала в качестве наиболее эффективного сорбента при проведении аварийно спасательных работ при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Беларуси и других стран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бudyкина, Т.А. Процессы и аппараты защиты гидросферы / Т.А. Бudyкина, С.Г. Емельянов. – М.: Академия, 2010. – 288 с.
2. Гигевич, Г.С. Высшие водные растения Беларуси. Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов, Г.В. Вынаев. – Минск: БГУ, 2001. – 231 с.
3. ГОСТ 33627–2015 Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. Введён в действие 01.04.2017 г.
4. Каменщиков, Ф.А. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта / Ф.А. Каменщиков, Е.Н. Богомольный. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» Институт компьютерных исследований, 2006. – 528 с.
5. Органические и органо-минеральные соединения природных и техногенно-нарушенных экосистем: [промежуточный] отчет о науч.-исслед. работе «Почва и почвенный покров России как основа ее устойчивого развития» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://istina.msu.ru/download/40540229/1gM7Sb:YvtXjuq3qHNT9uejKT3pfikRvfo>. – Дата доступа: 05.12.18.
6. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
7. Сорбент «НьюСорб» гидрофобный сорбент для нефти и нефтепродуктов. Технические характеристики [Электронный ресурс] // ХимСтройИнжиниринг. – Режим доступа: <https://him-stroy.ru/catalog/ochistka-vod-ot-nefteproduktov/sorbent-nyusorb-mineral/>. – Дата доступа: 05.12.18.
8. Сорбенты «Лессорб» ТУ 9010-002-35615057-99 /ТУ 0390-001-35615057-99. Технические характеристики. [Электронный ресурс] // Лессорб. – Режим доступа: <http://www.lessorb.ru/sredstva-sorbcionno-ochistki/sorbenty-nefteproduktov/sorbenty-lessorb>. – Дата доступа: 02.12.2018.
9. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / Н.А. Самойлов и др. – М.: Химия, 2001. – 190 с.
10. Сравнительное испытания эффективности сорбента «Spill-Sorb» с двумя главными конкурентами на российском рынке торфяных сорбентов [Электронный ресурс] // Терра. Экология. – Режим доступа: <http://terraecology.ru/sravnitelnoe-ispytaniya-jeffektivnos>. – Дата доступа: 05.12.18.
11. Чухарева, Н.В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату / Н.В. Чухарева, Л. В. Шишмина // Химия растительного сырья. – 2012. – № 4. – С. 193–200.
12. L. Mazeans, H. Budzinski, Environ. Sci. Technol., 36, 2 (2002) 130.

Материал поступил в редакцию 02.04.19.

**THE FUZZ OF THE TYPHA PERIANTH
AS A NATURAL SORBENT OF OIL AND OIL PRODUCTS**

O.G. Gorovykh¹, B.A. Alzhanov²

¹ Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Special Training Department,

² Applicant of course, Deputy General Director,

¹ “The Institute for Retraining and Professional Development” Branch of University of Civil Protection
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Svetlaya Roshcha), Belarus

² “SEMSER OrtSondirushi” LLP (Astana), Kazakhstan

Abstract. *When eliminating spills of hydrocarbon compounds, it is necessary to carry out emergency measures in the shortest possible time, effectively, with the lowest economic costs and with minimal consequences for the environment. Today, the world produces about two hundred different oil sorbents, however, none of the sorbents fully meets all these requirements. The purpose of the study is to determine the sorption properties of the fuzz of the typha perianth in relation to various hydrocarbons. The sorption capacity of the fuzz of the typha perianth for oil, diesel fuel, gasoline, mineral is determined. It is shown that the increase in the contact time of the sorbent with the sorbent does not increase the amount of absorbed hydrocarbon. A certain minimum contact time of the fuzz of the typha perianth sorbent is 5 seconds. It is shown that the amount of oil extracted from the spent sorbent exceeds 60 %.*

Keywords: *sorbents of oil, fuzz of the typha perianth, sorption capacity, oil and petroleum products.*

UDC 67.02

SIMPLE ENCRYPTION ALGORITHM USING MATHEMATICAL COMPLEMENT

Salam Abdulkhaleq Noaman¹, Basim Najim Al-din Abed²,
Kiyam Sabbar Hashim³, Nebras Jalel Ibrahim⁴^{1,2} Computer Science Department, Faculty of Education for Pure Science, ^{3,4} Computer Center
University of Diyala, Iraq

Abstract. The role of mathematics in all fields of science is very clear; one of these areas is data security. In this paper, a method of coding data based on a simple mathematical process is proposed. This method depends on the use of the complementary number, which represents the key. The encrypted message, which is a series of numbers, is sent via the transmitter channel, the recipient of the encrypted message extract the explicit text from the encrypted message using the value of the complement. This method has been tested using many testing tools like decimalization attack, M-138 attack, factorization attack. The results show the strength of the proposed encryption algorithm.

Keywords: complementary number, security, frequency attack, Encryption.

Introduction

Encryption is the process of changing information in such a way as to make it unreadable by anyone except those possessing special knowledge (usually referred to as a "key") that allows them to change the information back to its original, readable form. [4, 5]

Encryption is important because it allows to securely protect data that you do not want anyone else to have access to. Businesses use it to protect corporate secrets, government's use it to secure classified information, and many individuals use it to protect personal information to guard against things like identity theft. [1] It is well known that the importance of the data to be protected must be commensurate with the algorithm intended for this purpose. In terms of time or speed of implementation, as well as its strength against unauthorized. [2, 3] It is obvious that as long the encryption and decoding algorithm were fast and uncomplicated, as better, with the requirement of difficulty expected the secret key. [6]

Methodology

The first requirement of the proposed method is to map the alphabet that used to write messages to the ASCII or any mathematical series. A positive integer value (L) is assigned as a constant value used as a complement, so that $L \in Z$, where $Z = \{1, 2, 3, \dots, \infty\}$. Instead of using the combination (addition) in displacement process, subtraction will be used.

While the general encryption equation is:

$$ct = m + key \quad (1)$$

where: ct – the cipher text; m – the message.

The proposed method has the following encryption equation:

$$ct = L - m \quad (2)$$

where: ct – the cipher text; m – the message; L – complement value.

As a prerequisite, to avoid getting a negative value from eq. (2), the value of the complement must be greater than the value of the last letter of the alphabet that used to write messages (after mapping process), for example, in case of using ASCII code (A = 65, B = 66, C = 67, ..., Z = 90), then L must be greater than 90.

The encryption algorithm

Input: plain text (m)
 Output: cipher text (ct)
 Step 1: set no. of alphabet letter to L, $L \in Z : Z = \{1, 2, 3 \dots \infty\}$
 Step 2: Map alphabet letter to the appropriate string (e.g. ASCII code)
 Step 3: Map the letters of the plain text (m) according to the selected string
 Step 4: Choose the appropriate value for the integrator C within the definition of positive integers Z.
 Step 5: For any pt compute:
 $ct = C - m$
 Step 6: repeat step 5 until end of plain text
 Step 7: end

Implementation:

Encoding

Step 1: using the English alphabet, has 26 letters, $L = 26, L \in Z$

Step 2: Map the used alphabet into one of the known digital strings, for example, ASCII code

alphabet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Ascii Code	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
alphabet	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Ascii Code	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90

Step 3: Match the letters of the plain text (m) according to the selected string pt = GO AWAY

message	G	O	A	W	A	Y
Ascii Code	71	79	65	87	65	89

Step 4: Choose the appropriate complementary value (C) within the definition of Z so that $C >$ the value of the last letter in the alphabet.

Let $C = 100$

Step 5: encrypt each character in plain text, use the eq. (2): $ct = C - m$

$$ct_G = 100 - 71 = 29$$

$$ct_O = 100 - 79 = 21$$

$$ct_A = 100 - 65 = 35$$

$$ct_W = 100 - 87 = 13$$

$$ct_A = 100 - 65 = 35$$

$$ct_Y = 100 - 89 = 11$$

message	G	O	A	W	A	Y
Ascii Code	29	21	35	13	35	11

For the purpose of avoiding encryption of similar characters (as in the case of character A, always encodes to (35), it is possible to add the value of the first encoded character with the value of the complement to encrypt the next character, and so on.

The modified algorithm, as follow:

Input: plain text (m)
 Output: cipher text (ct)
 Step 1: set no. of alphabet letter to L, $L \in Z : Z = \{1, 2, 3 \dots \infty\}$
 Step 2: Map alphabet letter to the appropriate string (e.g. ASCII code)
 Step 3: Map the letters of the plain text (m) according to the selected string
 Step 4: Choose the appropriate value for the integrator C within the definition of positive integers Z.
 Step 5: For any pt compute:
 $ct = C - m; C = C + ct$
 Step 6: repeat step 5 until end of plain text
 Step 7: end

Implement the modification:

$$\begin{aligned}
 ct_G &= 100 - 71 = 29; & 100 + 29 &= 129; \\
 ct_O &= 129 - 79 = 50; & 129 + 50 &= 179; \\
 ct_A &= 179 - 65 = 114; & 179 + 114 &= 293; \\
 ct_W &= 293 - 87 = 206; & 293 + 206 &= 499; \\
 ct_A &= 499 - 65 = 434; & 499 + 434 &= 933; \\
 ct_Y &= 933 - 89 = 844.
 \end{aligned}$$

message	G	O	A	W	A	Y
Cipher value	29	50	114	206	434	844

Decoding:

By implementing the encryption steps in reverse order, plain text will appear.

$$\begin{aligned}
 pt_{29} &= 100 - 29 = 71 = G \\
 pt_{50} &= 129 - 50 = 79 = O \\
 pt_{114} &= 179 - 114 = 65 = A \\
 pt_{206} &= 293 - 206 = 87 = W \\
 pt_{434} &= 499 - 434 = 65 = A \\
 pt_{206} &= 933 - 844 = 89 = Y
 \end{aligned}$$

Result and discussion

The message encoded in this proposed method has been tested by many testing tools such as decimalization attack, which failed to discover plain message, as in Figure 1, also M-138 attack failed to discover the plain message, as is clear in figure 2. The third test is by using factorization attack, a window in fig. 3 shows the result of applying this attack.

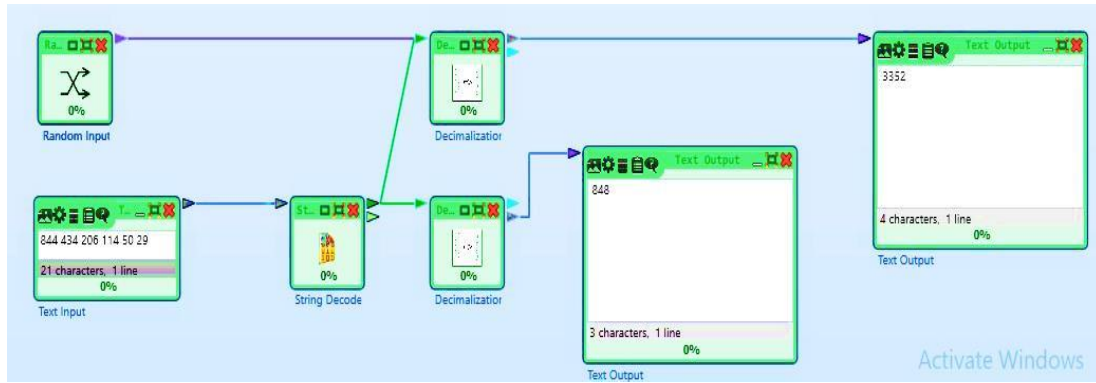


Fig. 1. Decimalization attack

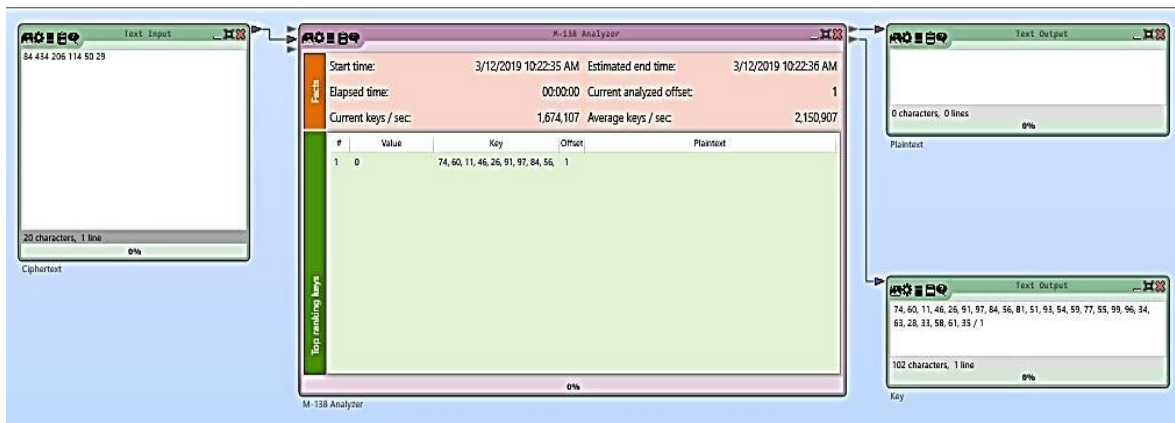


Fig. 2. M-138 attack

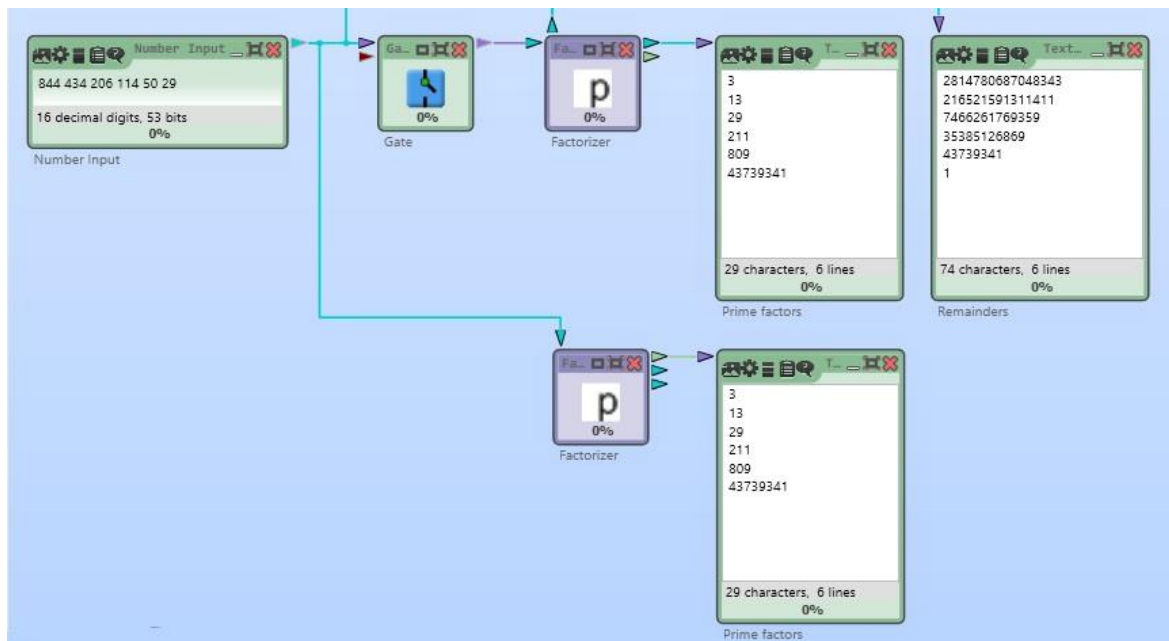


Fig. 3. Factorization attack

Conclusion

The proposed method depends on mapping the message to the series of integer numbers $Z = \{1, 2, 3 \dots\}$, $f: z \rightarrow z$, as well as to select the complement value $\epsilon \in Z$. That means each letter in the message or even the complementary value has an infinite number of possibilities. Here lies the difficulty of predicting the key or message.

REFERENCES

1. Bertino, E. Data Protection from Insider Threats: Synthesis Lectures on Data Management. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael (2012)
2. Carter, B. Classical Ciphers and Cryptanalysis / B. Carter, T. Magoc. – Space, 2007.
3. Dhavare, A. Efficient cryptanalysis of homophonic substitution ciphers / A. Dhavare, R.M. Low, M. Stamp // Cryptologia. – 2013. – No. 37 (3). – P. 250–281.
4. Goldreich, Oded. Foundations of Cryptography: Volume 2, Basic Applications. Vol. 2. Cambridge university press, 2004.
5. JoAnn Ward, Caesar Ciphers: An Introduction to Cryptography, Klondike Middle School, Purdue University GK-12 2006-07.
6. John Justin, M. A survey on various encryption techniques / M. John Justin, S. Manimurugan // International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN, 2012.

Материал поступил в редакцию 18.03.19.

ПРОСТОЙ АЛГОРИТМ ШИФРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕМЕНТА

**Ноаман Салам Абдулхалек¹ Басим Наджм Аль-дин Абед²,
Киян Саббар Хашим³, Небрас Джалел Ибрагим⁴**

^{1, 2} кафедры компьютерных наук, факультет точных наук, ^{3, 4} компьютерный центр
Дияла университет, Ирак

***Аннотация.** Роль математики во всех областях науки очень ясна; одна из этих областей – безопасность данных. В этой статье предлагается метод кодирования данных, основанный на простом математическом процессе. Этот метод зависит от использования комплементарного числа, которое представляет ключ – зашифрованный текст, который представляет собой последовательность цифр и отправляется по каналу передатчика. Получатель зашифрованного текста извлекает явный текст из зашифрованного сообщения, используя комплементарное число. Этот метод был протестирован с использованием многих инструментов тестирования, таких как decimalization attack, M-138 attack, factorization attack. Результаты показывают силу предложенного алгоритма шифрования.*

***Ключевые слова:** комплементарное число, безопасность, частота атаки, шифрование.*

УДК 53.087.92

ПОГРЕШНОСТЬ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ПРОЦЕССА

А.Т. Рахманов¹, С.Ф. Кузнецов², А.К. Хамраев³

¹ доктор технических наук, профессор, ² соискатель, ³ магистр
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

***Аннотация.** Изучена статическая характеристика полупроводникового преобразователя влажности, содержащая линейный и экспоненциальный диапазоны измерения. Получено уравнение для максимальной погрешности при воспроизведении экспоненциального процесса, обусловленного изменением влажности дисперсной среды.*

***Ключевые слова:** экспоненциальный процесс, уравнение, максимальная погрешность, влажность, полупроводник, статическая характеристика, дисперсная среда.*

В мире на сегодня в интенсивно развивающемся направлении физики полупроводников большое внимание уделяется одному из перспективных направлений – разработке полупроводниковых преобразователей для диагностики параметров сред. В этом аспекте одной из важных задач является разработка преобразователей температуры и влажности различных сред с улучшенными функциональными характеристиками на основе модифицированных полупроводников с наночастицами. В настоящее время получены научные и практические результаты по разработке преобразователей сравнительно дешевой технологией на основе монокристаллических полупроводниковых материалов, резистивных и емкостных чувствительных элементов с оптимальными параметрами и отвечающих современным требованиям информационно-измерительных систем по надежности и точности [3].

Измерительные системы при функционировании в составе полупроводниковых преобразователей подвергаются воздействию значительному количеству неинформативных факторов. Это приводит к возникновению ряда динамических погрешностей в цепях преобразования измерительных преобразователей [2].

Анализ изучения основных факторов, влияющих на точность полупроводниковых преобразователей в системе управления точностью обработки исходной информации, показывает, что погрешности из-за изменения температуры окружающей среды, нелинейности статических характеристик, а также инструментальных погрешностей можно уменьшить методами автоматической оценки и коррекции результатов измерения измерительных систем, а также применением дифференциальной схемы полупроводниковых температуры и влажности преобразователей, теоретической оценки статической характеристики измерительных систем, и выбор рабочего диапазона измерения позволяет уменьшить приведенную погрешность нелинейности устройства [1].

Физические процессы, протекающие в цепях преобразования, полупроводниковых преобразователях, в основном сопровождаются изменением выходного сигнала по времени. Изучение статической характеристики полупроводникового преобразователя показывает, что статическая характеристика содержит линейный и экспоненциальный диапазоны измерения. Ниже рассматривается погрешность воспроизведения статической характеристики полупроводникового преобразователя, которая описывается экспоненциальной функцией. Допустим, что экспоненциальный процесс на выходе полупроводникового преобразователя описывается уравнением

$$U = U_0(1 - e^{-t/\tau_1}), \quad (1)$$

где U_0 – установившееся значение выходного сигнала; τ_1 – его постоянная времени.

Если выходная измерительная система полупроводникового преобразователя безинерционна, то на его выходе сформируется сигнал в виде

$$U_1 = kU_0(1 - e^{-t/\tau_1}), \quad (2)$$

где k – коэффициент передачи входного сигнала.

Если же динамические свойства выходного воспроизводящего устройства полупроводникового преобразователя характеризуются дифференциальным уравнением первого порядка и постоянной времени τ_2 , то при $\tau_2 \neq \tau_1$ его выходной сигнал определяется выражением в виде

$$U_2 = kU_0 \left(1 - \frac{\tau_1 e^{-t/\tau_1} - \tau_2 e^{-t/\tau_2}}{\tau_1 - \tau_2} \right), \quad (3)$$

а при $\tau_2 = \tau_1 = \tau$

$$U_2 = kU_0 [1 - e^{-t/\tau} (1 + t/\tau)]. \quad (4)$$

Приведенные к установившемуся значению выходного сигнала погрешности воспроизведения составляют при $\tau_2 \neq \tau_1$

$$\beta_1 = \frac{U_2 - U_1}{kU_0} = \frac{-\tau_1 e^{-t/\tau_1} + \tau_2 e^{-t/\tau_2}}{\tau_1 - \tau_2} + e^{-t/\tau_2}, \quad (5)$$

а при $\tau_2 = \tau_1 = \tau$

$$\beta_2 = -e^{-t/\tau} (1 + t/\tau) + e^{-t/\tau} = -\frac{t}{\tau} e^{-t/\tau}. \quad (6)$$

Дифференцируя уравнения (5) и (6) по времени t , приравнявая производные нулю и решая относительно t , находим, что приведенные погрешности β_1 и β_2 имеют максимумы соответственно в момент времени

$$t_1 = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_2 - \tau_1} \ln \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad \text{и} \quad t_2 = \tau. \quad (7)$$

Тогда наибольшие значения приведенных погрешностей определяются выражениями

$$\beta_{m1} = \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1} \left[\exp \frac{\ln \tau_2 / \tau_1}{\tau_1 - \tau_2} (\tau_2 - \tau_1) \right] \quad \text{и} \quad \beta_{m2} = \frac{1}{e}. \quad (8)$$

Анализ уравнения (8) показывает, что приведенные погрешности воспроизводящего устройства полупроводникового преобразователя зависят от τ_2 / τ_1 , т.к. с увеличением отношения τ_2 / τ_1 существенно возрастает погрешность на выходе измерительного устройства, об этом также свидетельствует график модуля наибольшего значения приведенной погрешности β_{m1} , представленной на рис. 1.

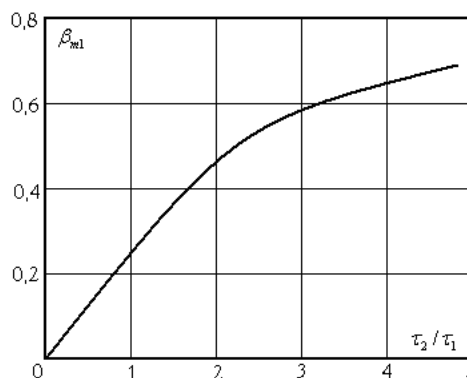


Рис. 1. Изменение приведенной погрешности полупроводникового преобразователя влажности в зависимости отношения (τ_2 / τ_1)

При воспроизведении скачкообразного импульсного сигнала инерционным устройством наибольшая погрешность, равная скачку, возникает при $t = 0$. В отличие от этого, при воспроизведении экспоненциального процесса наибольшая погрешность появляется в момент времени, определяемый выражением (7), и ее значение существенно меньше установившегося значения сигнала, особенно при $\tau_2 \leq \tau_1$.

Вышеизложенную методику оценки приведенной погрешности воспроизведения выходного сигнала измерительным устройством можно применять для зондовых параметрических преобразователей контроля параметров дисперсных сред. Погрешность полупроводникового преобразователя, обусловленная изменением влажности дисперсной среды, определяется выражением в виде

$$\gamma_{\omega} = \frac{1}{U_{\text{вых}}} \frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial w} \Delta w, \quad (9)$$

где $U_{\text{вых}}$ – напряжения выходного сигнала полупроводникового преобразователя влажности; Δw – изменение влажности дисперсной среды.

Для анализа приведенной погрешности γ_{ω} полупроводникового преобразователя влажности дисперсной среды используем статическую характеристику, которая определяется выражением [4]

$$U_2 = U_1 \frac{\pi l}{r \ln A(k+1)} \left[\exp \frac{\ln \varepsilon_1 + w \ln \varepsilon_2}{1+w} - 1 \right], \quad (10)$$

где U_1 – входной сигнал полупроводникового преобразователя влажности; k – коэффициент симметрии измерительной схемы; r – радиус цилиндрических электродов; d – расстояние между центрами цилиндрических электродов; ε_1 и ε_2 – диэлектрические проницаемости компонентов дисперсной среды; $A = \frac{d}{2r} + \sqrt{\frac{d^2}{4r^2} - 1}$.

Дифференцируя уравнение (10) по влажности w , приравнявая производную нулю и решая относительно w , находим, что приведенная погрешность измерения γ_{ω} для полупроводникового преобразователя влажности имеет максимум при влажности $w = w_{\text{max}}$

$$\frac{\partial U_2}{\partial w} = U_1 \frac{\pi l}{r \ln A(k+1)} \left[\exp \frac{\ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_2}{1+w} - 1 \right] \frac{1}{w^2} \Delta w. \quad (11)$$

С учетом (11) приведенная погрешность γ_{ω} полупроводникового преобразователя влажности определяется в виде

$$\gamma_w = \left[\exp \frac{\ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_2}{1+w} - 1 \right] \frac{1}{w^2} \Delta w. \quad (12)$$

и выражение для максимальной погрешности при $w = w_{\text{max}}$ определяется в виде

$$w_{\text{max}} = \frac{\ln \varepsilon_1 + \ln \varepsilon_2}{1+w} - 1 \quad (13)$$

в момент времени

$$t_1 = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_2 - \tau_1} \ln \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad \text{и} \quad t_2 = \tau. \quad (14)$$

Таким образом, видно из (13), что приведенная погрешность γ_{ω} уменьшается при увеличении диэлектрических проницаемостей компонентов дисперсной среды, что характеризуется стабильным изменением реактивной

проводимости при преобразовании входной величины и погрешность воспроизведения медленными темпами возрастает при увеличении влажности дисперсной среды. В приведенной погрешности γ_{ω} также содержатся погрешности, обусловленные изменением плотности дисперсной среды между электродами емкостного преобразователя и неравномерным распределением удельного реактивного сопротивления по длине полупроводникового преобразователя, так как он является высокоточным датчиком тока и определяет выходной сигнал емкостно-полупроводникового преобразователя, разработанный легированием переходных металлов на основе кремния с применением градации температуры легирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белевцев А. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие / А. Белевцев // Современные технологии автоматизации. – 2004. – №2. – С. 10-15.
2. Котюк, А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф. Котюк. – М.: Радио и связь. Горячая линия – Телеком, 2006. – 96 с.
3. Рахманов, А.Т. Коррекция погрешностей измерительных систем зондовых преобразователей параметров дисперсных сред в условиях стохастической неопределенности / А.Т. Рахманов // Доклады АН РУз. – 2009. – № 1. – С. 29.
4. Рахманов, А.Т. Построение графовых моделей измерительных устройств для контроля влажности дисперсных сред / А.Т. Рахманов // Доклады АН РУз. – 2009. – № 5. – С. 41.

Материал поступил в редакцию 18.03.19.

ERROR OF STATIC CHARACTERISTICS OF CONVERTER OF DISPERSE MEDIA MOISTURE WHEN MODELLING THE EXPONENTIAL PROCESS

A.T. Rakhmanov¹, S.F. Kuznetsov², A.K. Khamrayev³

¹ Doctor of Engineering Sciences, Professor, ² Degree Seeking Applicant, ³ Master
Tashkent State Technical University, Uzbekistan

Abstract. *The static characteristic of a semiconductor moisture converter that contains linear and exponential measurement ranges has been studied. An equation is obtained for the maximum error in modelling an exponential process due to a change in the moisture of a disperse medium.*

Keywords: *exponential process, equation, maximum error, moisture, semiconductor, static characteristic, disperse medium.*

УДК 53.087.92

**СОГЛАСОВАНИЕ ЛИНЕЙНО-АППРОКСИМИРОВАННЫХ
СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА****А.Т. Рахманов¹, С.Ф. Кузнецов², А.К. Хамраев³, С.С. Гулямов⁴**¹ доктор технических наук, профессор, ² соискатель, ^{3,4} магистр
Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

***Аннотация.** Разработаны метод и функциональная схема согласования линейно-аппроксимированных статических характеристик температурного преобразователя и установлены оптимальные значения корректирующих элементов и фильтра согласования для линеаризации статических характеристик температурного преобразователя.*

***Ключевые слова:** функциональная схема, преобразователь, аппроксимация, корректирующие элементы, статические характеристики, удельное сопротивление.*

При создании систем автоматического контроля и регулирования температуры, являющейся наиболее распространенным технологическим параметром, как правило, применяют приборы и устройства, чувствительные элементы которых преобразуют температуру в электрический сигнал. Такие термометры позволяют производить измерение с высокой точностью и обеспечивать дистанционность контроля. Сигнал, пропорциональный температуре, удобно обрабатывать, нормировать и вводить в измерительно-вычислительные комплексы, что особенно важно в связи с широким внедрением автоматизированных систем управления производственными процессами.

В промышленности и при проведении научных исследований в качестве первичных преобразователей электрических термометров чаще всего используют термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления. Для измерения средних температур предпочтение отдают термопреобразователям сопротивления, которые имеют более высокие чувствительность, точность, помехоустойчивость и стабильность во времени. Термопреобразователи сопротивления могут применяться в достаточно широком температурном диапазоне (0-200 °С), который характерен для многих технологических процессов химической, пищевой, легкой, машиностроительной и некоторых других отраслях промышленности. Электрические термометры с термоэлектрическим преобразователем в последние годы шире используют в сельском хозяйстве и медицине. В качестве вторичных измерительных средств в комплексе с термоэлектрическими преобразователями функционируют уравновешенные и неуравновешенные мосты, логометры и нормирующие преобразователи.

Общим вопросам температурных измерений и методам расчета схем термометров с термопреобразователями сопротивления посвящено большое число публикаций [2, 5], в которых основное внимание уделено средствам контроля температуры общепромышленного назначения. Однако быстрое развитие науки и техники, разработка новых и совершенствование существующих производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства, внедрение новых технологических комплексов и аппаратов постоянно требуют создания специальных приборов и устройств теплового контроля, в полной мере учитывающих специфические конструктивные и эксплуатационные особенности автоматизируемых тепловых объектов.

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на изменении электрического сопротивления термочувствительных элементов под действием температуры. Материалы, из которых изготавливаются чувствительные элементы, должны иметь, прежде всего, высокий и стабильный температурный коэффициент сопротивления, большое удельное электрическое сопротивление, а также устойчивые физические и химические свойства в диапазоне измеряемых температур. В наибольшей степени этим требованиям отвечают такие металлы, как медь, никель, платина, а также некоторые поли- и монокристаллические полупроводники. Указанные материалы используют чаще всего в качестве чувствительных элементов термопреобразователей сопротивления. Их свойства достаточно хорошо изучены [1, 4], а температурные характеристики соответствующих терморезисторов в диапазоне средних температур описываются соотношениями, приведенными в табл.

Таблица

№	Тип чувствительного элемента	Материал чувствительного элемента	Аппроксимирующая температурная зависимость
1	Металлические	Медный	$R_m = R_0(1 + \beta\theta)$ [2]
		Платиновый и никелевый	$R_m = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$ [4, 5]
2	Полупроводниковые	Монокристаллический	$R_m = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$ [4, 5]
		Поликристаллический	$R_m = A \exp(B/T);$ [1] $R_m = AT^\sigma \exp(B/T)$ [3]

Здесь R_T и R_0 – сопротивления чувствительного элемента при температурах θ и 0°C ; T , A , B и – абсолютная температура и постоянные коэффициенты. У медных чувствительных элементов температурный коэффициент $\beta=4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Для платиновых чувствительных элементов $A=3,97 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $B=-5,85 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$, для никелевых $A=5,86 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $B = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$.

Параметры A , B и σ , характеризующие полукристаллические терморезисторы, зависят от материала, конструкции, а также размеров последних и определяются экспериментально для каждого конкретного типа терморезистора.

Формулы (3) и (4) рекомендуется использовать для диапазонов до 25°C и 100°C . Особенно сложна и неоднозначно описывается температурная характеристика монокристаллических терморезисторов. При ее аппроксимации применяют функции нескольких видов для отдельных участков кривой.

Для диапазона средних температур из всего многообразия монокристаллических терморезисторов наиболее целесообразно использовать те, характеристика которых с достаточной точностью описывается либо линейной функцией, либо близкой к ней зависимостью вида (2).

Часто чувствительность специального термопреобразователя сопротивления с линейной статической характеристикой оказывается выше чувствительности выбранного стандартного моста. Согласование таких термопреобразователей сопротивления и автоматического моста достигается введением в схему термопреобразователя двух корректирующих резисторов R_c и R_d (рис. 1), сопротивления которых должны быть рассчитаны так, чтобы характеристика термопреобразователя сопротивления (прямая 1, рис. 2) совместилась с наименьшей статической характеристикой (прямая 2) автоматического моста [3].

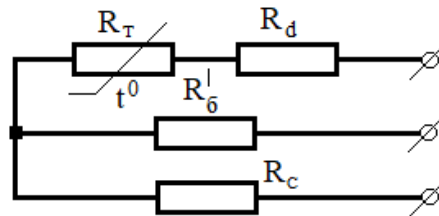


Рис. 1. Схема термопреобразователя сопротивления с корректирующими резисторами

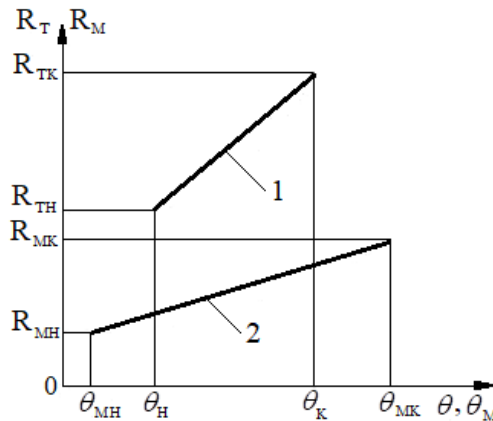


Рис. 2. Статические характеристики термопреобразователя сопротивления (1) и автоматического моста (2)

Решив систему уравнений равновесия автоматического моста для точек его шкалы, соответствующих θ_n и θ_k , получаем следующие формулы для расчета требуемых сопротивлений:

$$R_c = R_{B2}^1 \left(\frac{\Delta R_T}{\Delta R_M} \cdot \frac{\Delta \theta_M}{\Delta \theta_{ok}} - 1 \right), \quad (1)$$

$$R_{Д} = R_c + \frac{\Delta R_T}{\Delta \theta_{ok}} (\theta_H - \theta_{MH}) - (R_{TH} - R_{MH}). \quad (2)$$

В частном, но на практике наиболее широко используемом случае, когда диапазон контролируемой температуры совпадает с пределами шкалы автоматического моста, расчетные формулы упрощаются:

$$R_c = R_{B2}^1 \left(\frac{\Delta R_T}{\Delta R_M} - 1 \right), \quad (3)$$

$$R_{Д} = R_c - (R_{Th} - R_{mh}). \quad (4)$$

Соотношения (1-2) и (3-4) применимы для согласования термопреобразователя сопротивления и автоматического моста, имеющих различные, но линейные статические характеристики. Если же наименьшая статическая характеристика термопреобразователя нелинейна (кривая 1, рис.3), то ее необходимо аппроксимировать линейной зависимостью (прямая 2) и оценить погрешность аппроксимации.

Пусть статическая характеристика термопреобразователя элемента описывается квадратичной функцией (2), которую можно аппроксимировать линейной зависимостью

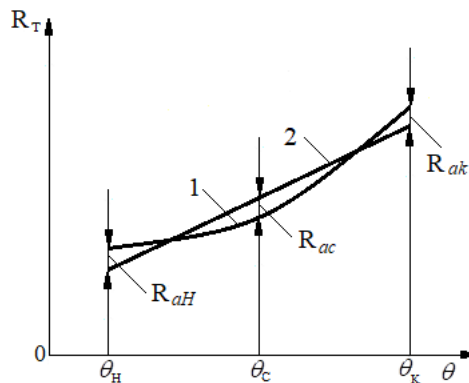


Рис. 3. Статическая характеристика термопреобразователя сопротивления (кривая 1) и ее линейная аппроксимация (кривая 2)

$$\overline{R_T} = \overline{R_0} (1 + \overline{\beta} \theta_T). \quad (5)$$

Отклонение действительной характеристики термопреобразователя сопротивлений от линейной

$$\Delta R_a = R_T - \overline{R_T} = R_0 - \overline{R_0} + (AR_0 - \overline{R_0} \overline{\beta}) (\Theta_T + R_0 + B\Theta_T^2). \quad (6)$$

Параметры R_0 и β находятся из условия равенства абсолютных величин отклонений в начале ($\Delta R_{ан}$), середине ($\Delta R_{ас}$) и конце ($\Delta R_{ак}$) диапазона контролируемых температур

$$\overline{R_0} = \sigma \overline{R_0}; \quad \overline{\beta} = [A + B(\theta_{Th} + \theta_{Th})] / \sigma, \quad (7)$$

где

$$\sigma = 1 - B[0,12(\theta_{Tn} + \theta_{Tk})^2 + 0,5\theta_{Tn}\theta_{Tk}],$$

$$\theta_{Tn} = [\sqrt{A^2 + 4B(R_{Tn} / K_0)} - 1 - A] / 2B,$$

$$\theta_{Tk} = [\sqrt{A^2 + 4B(R_{Tk} / K_0)} - 1 - A] / 2B.$$

Для погружаемых термопреобразователей значения θ_{Tn} и θ_{Tk} соответственно равны θ_n и θ_k . Указанные отклонения ΔR_a приводит к относительной погрешности аппроксимации, максимальная величина которой

$$\delta_a = B\Delta T_k / 8[A + B(\theta_{Tn} + \theta_{Tk})], \quad (8)$$

где $\Delta\theta_T = \theta_{Tk} - \theta_{Tn}$.

Если эта погрешность превышает допускаемое значение, то необходимо линейаризации характеристики 1 производить с помощью корректирующих резисторов. В противном случае для совмещения аппроксимированной характеристики термопреобразователя (5) с линейной наименьшей статической характеристикой автоматического моста надо определить сопротивления R_c и R_d по формулам (1-2), подставив в них значения

$$\Delta R_T = \bar{R}_0 \bar{\beta} \Delta \theta_T; \quad R_{Tn} = \bar{R}_0 (1 + \bar{\beta} \theta_{Tn}). \quad (9)$$

Кроме δ_a в общую погрешность измерения термопреобразователя сопротивления входят и другие составляющие параметры. Соотношения для расчета погрешностей, обусловленных отклонениями сопротивлений R_0 , R_d и R_c от их номинальных значений, имеют вид:

$$\delta_0 = \frac{\Delta R_0 \Delta \theta_M}{\Delta R_M \Delta \theta_{0k}} \cdot \frac{R_{Tk} R_{B2}}{R_0 R_{B2}}; \quad \sigma_d = \frac{\Delta R_d \Delta \theta_M}{\Delta R_M \Delta \theta_{0k}} \cdot \frac{R_{B2}^1}{R_{B2}}; \quad (10)$$

$$\sigma_c = \frac{\Delta R_c \Delta \theta_M}{\Delta R_M \cdot \Delta \theta_{0k}} \cdot \frac{R_{B2}^1 R_{B1}}{R_{B2}^2}, \quad (11)$$

где $R_{B1} = R_{B1}^1 + R_{Tk} + R_d$; $R_{B2} = R_{B2}^1 + R_c$;

Для чувствительного элемента, изготовленного из материала с известным отклонением $\Delta\beta$, соответствующая погрешность

$$\delta_\beta = \frac{\Delta\beta}{\beta} \cdot \frac{\Delta\theta_M}{\Delta\theta_{0k}} \cdot \frac{R_{B2}^1 (R_{Tk} - R_0)}{\Delta R_M \cdot R_{B2}}. \quad (12)$$

Максимальную погрешность измерительного термометра сопротивления, обусловленную нагревом чувствительного элемента измерительным током, вычисляют по соотношению (1), где $R_T = R_{Tk}$; $R_{B1} = R_{Tk} + R_d$.

Таким образом, разработан метод и функциональная схема согласования линейно-аппроксимированных статических характеристик температурного преобразователя и установлены оптимальные значения корректирующих элементов и фильтра согласования для линейаризации статических характеристик температурного преобразователя. Предложенная методика согласования характеристик температурного сопротивления и автоматического моста применена при разработке полупроводниковых преобразователей, используемых для измерения температуры и влажности дисперсных сред, и получены надежные линейаризованные статические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катюк, А.Ф. Датчики современных измерений / А.Ф. Катюк. – М.: Радио и связь. Горячая линия, Тальком, 2006. – 96 с.
2. Коган, В.А. Повышение точности измерения температуры путем учета параметров термометров согласования / В.А. Коган, К.М. Обелевская // Измерительная техника. – 1990. – №3. – С. 37-39.
3. Рахманов, А.Т. Зондовые параметрические преобразователи информации / А.Т. Рахманов. – Ташкент, 2010. – С. 160.
4. Шаумберг, Х. Датчики: Пер. с немец. / Х. Шаумберг / Под ред. Р. Хамдамова. – Ташкент: ТГТУ, 2002. – 147 с.
5. Magdeburg Hans. Electrical clinical thermometers // Bull. Oganis int. metrol. Leg., 1999. V.24, №92, P.3-10.

Материал поступил в редакцию 06.03.19.

**MATCHING OF LINE-APPROXIMATED STATIC CHARACTERISTICS
OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONVERTERS AND AUTOMATIC BRIDGE**

A.T. Rakhmanov¹, S.F. Kuznetsov², A.K. Khamrayev³, S.S. Gulyamov⁴

¹ Doctor of Engineering Sciences, Professor, ² Degree Seeking Applicant, ^{3, 4} Master
Tashkent State Technical University, Uzbekistan

***Abstract.** A method and a functional scheme for matching line-approximated static characteristics of a temperature converter have been developed and optimal values of correction elements and a matching filter for linearization of static characteristics of a temperature converter have been established.*

***Keywords:** functional scheme, converter, approximation, correction elements, static characteristics, resistivity.*

Agricultural sciences
Сельскохозяйственные науки

UDC 630.432

CREATION OF THE RUSSIAN WILDFIRE BEHAVIOUR PREDICTION SYSTEM**A.V. Volokitina¹, T.M. Sofronova²**¹ Doctor of Agricultural Sciences, Leading Scientific Researcher of the Forest Fire Science Laboratory,² Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the English Philology Department¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS (Krasnoyarsk),² V.P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University (Krasnoyarsk), Russia

Abstract. *Methodical principles of the Russian wildfire behaviour prediction system are considered. As a surface fire spread model, a simple empiric M.A. Sofronov's model [6] is taken. By now, this model has got information dataware on the basis of a developed vegetation fuel classification and a practical method of vegetation fuel mapping with maximum application of the available forest inventory data [11]. An example of the training program for surface fire behaviour prediction is given to train fire management leaders.*

Keywords: *wildfire behaviour, model of fire spread, vegetation fuel classification and mapping, training program for prediction of surface fire behaviour.*

Introduction

Forest conservation and their sustainable use are impossible without wildfire management. Wildfire behaviour prediction is necessary for successful fire management. Behaviour prediction of a detected fire allows calculating optimum quantity of manpower and facilities to suppress it. Using behaviour prediction of a large fire it is possible to foresee dangerous tendencies and situations of its spread and development (probable danger to inhabited localities or valuable objects, etc.) and make an optimum plan to manage this fire. Scenarios of fire spread and its consequences on a definite area under different weather conditions are necessary to choose optimum time and technology of prescribed burning. Therefore, in some countries there are systems for wildfire behaviour prediction, which are being constantly improved, for example, in the USA – BEHAVE [2] in Canada – Fire Behaviour Prediction System [3]. Russia also needs a similar system taking into account Russian natural conditions and peculiarities of information database including technique of fire danger evaluation, classification of vegetation fuels, inventory characteristic of stands, etc.

Russian wildfire behaviour prediction system is being elaborated [13]. We imply the following in the notion “fire behaviour”:

- 1) fire spread over the territory;
- 2) dynamics of fire spread rate and intensity;
- 3) fire progress (for example: development of surface fire into crown fire);
- 4) assessment of fire effects (that is: damage of tree stands).

We have developed a principle scheme for the Russian fire behaviour prediction system. The key elements are information database and model of fire behaviour prediction. The most complicated element of the information database is pyrological description of all vegetation sites (such as forest inventory units). This description should contain information about vegetation fuel complexes, their properties, state, and information about drying, moistening and burning conditions. Pyrological description of vegetation sites can be standard and individual. Standard “fuel models” and “fuel types” are used in the American and Canadian systems. Only three fuel models represent all forests in the American system BEHAVE. This is certainly not enough. The Canadian system FBP has all in all 16 fuel types with 12 forest ones. These types are pyrologically well studied, however, as we have understood, they do not reflect the whole variety of Canadian forests. To predict fire behaviour, pyrological description of all kinds of sites is needed. Otherwise, the vegetation fuel map will have blank spots. Russia also used standard approach for pyrological description for a long time. Different forest types were studied for this purpose. However, there are hundreds of forest types in each region of Russia and still there is not a single region with full information about all forest types.

More accurate is individual pyrological description made up of standard elements. This very approach we are developing. It is realizable in Russia owing to the developed vegetation fuel classification containing types of prime conductors of burning and their properties [11]. The prime conductor of burning (PCB) is a layer of fine litter, mosses and lichens on the soil surface. This layer predetermines fire occurrence and spread. Classification of PCB is based on the analysis and pooling of both our and published data on drying rates of the PCB in various regions of Russia. This classification takes into account seasonal and weather dynamics of PCB, as well as soil moisture impact on their drying rate.

We have developed and approved the identifier of PCB types as well as the technology of creation of large-scale vegetation fuel maps in GIS using forest inventory data. For this, we collaborate with a GIS group of scientists and remote sensing specialists in the Sukachev Institute of Forest. There is a structural and functional GIS scheme. We developed a program for making VF maps. In the map, different colours show types of PCB. Additional information is given in the pyrological description. It includes area, exposure, slope, description of forest storeys, understorey shrubs and saplings, forest type, PCB types, and critical classes of drought by periods of a fire season (the critical class of drought is such a class of drought when fire spread through the prime conductor of burning becomes possible). The critical class of drought is a very important element in the pyrological description. It depends upon the type of PCB and drying conditions (that is tree species, relative basal area of a tree stand, exposure and slope steepness). Our observations of solar energy under the forest canopy allowed us to make tables for determination of critical classes of drought in each forest inventory unit. There is a table, which allows taking into account exposure and slope.

Then on the basis of the VF map, a map of current fire danger is made. For this, the drought class of the current day is compared to the critical classes of drought indicated for each inventory unit in the pyrological description. If the drought class is lower than the critical one of the given site, then the site is not ready to burn. If it is higher than the critical one, the site is ready to burn, and if the current drought class is the same as the critical class, the site is in a transitional state. Then the map is colored correspondingly: 1) red – ready to burn; 2) green – not ready to burn; 3) yellow – in a transitional state.

This paper contains so far the simplest version of a training program, namely: surface fire behaviour prediction from the moment of its detection till suppression is started.

Methods and Results

Efficient wildfire behaviour and consequences prediction is possible on the basis of large-scale vegetation fuel maps (together with pyrological description of their inventory units and meteorological information [10]).

In the V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, a simple method and not expensive technology of making large-scale vegetation fuel maps (VF maps) were elaborated. The idea of the method consists in maximum utilization of available forest inventory information for making maps including computerized way [10, 9]. VF mapping is based on fuel classification, i.e. division of fuels into groups and types. Classification of the group of prime conductors of burning (PCB) from the surface cover is of great significance. This group was divided into 8 types, which were given their own characteristic [11]. Pyrological description of inventory units enumerated on the map is enclosed with a large-scale VF map. The pyrological description indicates dominant tree species, age, relative basal area of a stand per ha, direction of slope steepness. Pyrological description is usually made for two most peculiar phenological periods in a season, namely: 1) for “leafless spring”, when foliage is absent in the tree, canopy and green grasses are absent on the soil, and 2) for “full summer”, when vegetation reaches its full development. Critical class of drought (i.e. such a forest fire class of drought when a given vegetation plot reaches the state of readiness to burn) is obligatory to be indicated in the pyrological description of each inventory unit depending on the PCB type, canopy closure of a stand, and phenological period.

Sofronov’s model is chosen to predict surface fire spread owing to its simplicity and existing information dataware [6, 7, 13].

Fire behaviour prediction includes several stages. At first, it is estimated in connection with the drought level whether vegetation plots around the seat of fire are ready to burn. Then burning spread rate and intensity on these plots are predicted according to weather forecast, in the process of modeling fire contour spread. When predicting fire contour spread, both unburnable plots and linear breaks are taken into account. Then fire intensity on each part of the fire edge is evaluated. When planning fire suppression, optimum amount of manpower and technical means is determined depending on the length of the fire perimeter, its spread rate, and burning intensity. Simple formulas and sets of tables, special table-like notes are used.

Teaching scenarios

– Get initial information from a teacher: a) constant information – tables necessary for calculations (a list of tables is given below in the section “Initial Information”); b) current information including: sketch of the fire contour fixed to the net of inventory units; a large-scale VF map for the fire area with its pyrological description; meteorological data on the day of drawing the sketch, and weather forecast.

– Determine a period of “free” fire spread (from the moment of detection till beginning of fire suppression) and take it as a calculation period (target time).

– Make a map of the current natural fire danger on the basis of a VF map with enclosed pyrological description and meteorological information.

– Copy the fire contour from the sketch on to the map of current natural fire danger and indicate wind direction.

– Calculate surface fire spread (for a calculating period) and draw the contour of the fire at the end of the calculating period.

– Determine the volume of suppression work (taking into account the length of the fire perimeter, rate of its increase, and fire intensity).

– Make a plan of fire suppression (indicating tactical ways and methods of suppression).

– Calculate variants of suppression under different amount of manpower and facilities and choose the optimum variant on the basis of suppression duration and size of burnt area after suppression.

Initial Information

A. Constant sources of information:

Table 1. "Pyrological characteristic of the prime conductors of burning (PCB)".

Table 2. "Coefficients of relative influence of the main factors on rate of surface fire edge spread"

Table 3. "Coefficients of influence of relative basal area of a stand per ha on the wind speed under forest canopy"

Note: To calculate optimal quantity of manpower and facilities for fire suppression an additional table is used: "Duration of wildfire suppression and final fire area depending on fire rate, amount of manpower and number of bulldozers" [12].

B. Current information:

– Sketch of the fire contour fixed to the net of inventory units and other landmarks with indication of exact time of the sketch creation.

– Large-scale vegetation fuel map (VF map) for the fire area (with enclosed pyrological description of inventory units).

– Meteorological conditions on the day of the sketch creation: value of Nesterov's forest fire drought index or PV-1, wind direction and speed, relative humidity.

– Weather forecast for the following day (or three days) better with the forecast of forest fire drought index value.

The following order should be observed when predicting fire behavior:

1. Estimation of the period of "free" fire spread (T, hour). Real time spent on delivery of manpower and facilities to the fire is defined more accurately (taking into account time spent on crew preparations, type of transport, its speed and fire distance) and difference between this time and time of fire detection is found. Fire contour is usually calculated for the end of this period (for a given hour of a definite day).

Table 1

Characteristic of types of prime conductors of burning
1. Base rate of fire spread

Tree stand relative basal area per ha < 0.5 0.5-0.7 > 0.7			Types of prime conductors of burning					
Forest fire drought index, units			Lc	Dm	Mm	Ll	Cl	Cg*
			Base rate V_0 , m/min					
40	100	300	0.20	-	-	-	-	-
70	200	600	0.25	-	-	-	-	-
100	300	900	0.32	-	-	-	-	0.30
130	400	1200	0.40	-	-	-	-	0.33
160	500	1500	0.46	0.14	-	-	-	0.35
200	700	2000	0.54	0.16	-	0.10	-	0.38
300	1000	3000	0.60	0.19	0.15	0.20	0.20	0.40
600	2000	6000	0.64	0.25	0.22	0.30	0.23	0.40
1000	3000	9000	0.64	0.27	0.27	0.40	0.26	0.40
1300	4000	12000	0.64	0.29	0.30	0.44	0.29	0.40
1600	5000	15000	0.64	0.30	0.33	0.50	0.32	0.40

2. Surface heat discharge

Tree stand relative basal area per ha < 0.5 0.5-0.7 > 0.7			Types of prime conductors of burning					
Forest fire drought index, units			Lc	Dm	Mm	Ll	Cl	Cg*
			Surface heat discharge from a layer $Q_{l,r}$, J/sq.m					
40	100	300	4.0	-	-	-	-	-
70	200	600	5.0	-	-	-	-	-
100	300	900	6.5	-	-	-	-	(9.0)
130	400	1200	7.5	-	-	-	-	(10.0)
160	500	1500	8.5	3.5	-	-	-	(10.0)
200	700	2000	9.0	5.3	-	4.0	-	(10.0)
300	1000	3000	9.5	10.0	2.3	7.5	3.0	(10.0)
600	2000	6000	10.0	16.0	8.8	10.0	9.0	(10.0)
1000	3000	9000	10.0	20.0	12.0	11.0	12.0	(11.0)
1300	4000	12000	10.0	22.0	13.2	11.5	13.5	(11.0)
1600	5000	15000	10.0	24.0	14.4	12.0	15.0	(11.0)

Notes:

1. In early spring or late autumn when foliage is absent in the tree stand canopy, the left column is only used (<0.5).

2. Types of prime conductors of burning: Lc – lichen type, Dm – dry moss type, Mm – moist moss type, Ll – loose litter type, Cl – compact litter type, Cg – cured grass type. Bog-moss and non-conductor types practically never burn; therefore, they were not included in the table.

* – estimated data for cured grass type of PCB under forest canopy.

Table 2

Coefficients of relative influence of factors on spread rate of surface fires

1. Wind influence (W):

W , m/s:	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	5.0
K_w :	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.6	3.2	4.0	5.0	6.0	7.0	10.0
K'_w :	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8
K''_w :	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.5

Notes: W – wind at the height of 2 m; K_w – for fire head; K'_w – for backing and flanks; K''_w – for flanks under intensive burning (by Konev 1984)

2. Slope influence (φ):

φ :	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
K_φ :	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	4.0	6.0	12.0

3. Influence of relative air humidity (r):

r , %:	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
K_r :	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3

Table 3

Coefficients K_d for estimation of wind speed under forest canopy [4]

Tree stand relative basal area per ha:	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
K_d :	0.77	0.70	0.60	0.48	0.38	0.30
Tree stand relative basal area per ha:	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	-
K_d :	0.23	0.16	0.11	0.07	0.05	-

2. Drafting of the map of current nature fire danger on the basis of the VF map. At first, forest fire drought class (DC) is determined for the present day using the value of the forest fire drought index (by V.G. Nesterov or Len-NILKh's index PV-1): DC 1 – up to 300 units; DC 2 – 301-1,000 units; DC 3 – 1,001-3,000 units; DC 4 – 3,001-10,000 units; DC 5 – 10,001-30,000 units; DC 6 – over 30,000 units (Sofronov *et al.* 1998). Then the available VF map is transformed into the map of current nature fire danger, by which it is possible to appraise the readiness for burning of vegetation plots adjacent to the fire. For this purpose the drought class of the current day is compared to the critical drought classes, which are given for each inventory unit in the pyrological description. If the drought class is lower than the critical one – unit are considered not ready to burn, if it is higher than the critical one – they are regarded ready to burn, and if the current drought class is the same as the critical class – inventory units are considered to be in uncertain burning state. Inventory units on the VF map are colored or shaded according to these three gradations: 1) ready to burn, 2) not ready to burn, and 3) having uncertain (shifting) state. Finally, the map of current nature fire danger is resulted.

Uncertainty in estimation of state of inventory units is eliminated in an expert way using professional experience and additional information (analysis of the character of the burnt plots).

3. Copying fire contour from the sketch to the map of current nature fire danger with indication of wind direction (by an arrow). For this, the fire sketch should be fixed to the net of inventory units (plotting boards) and other landmarks with indication of exact time when the sketch was drawn.

4. Indication of four directions in which the fire is anticipated to propagate (by straight lines, usually from the center of fire): 1) heading, downwind; 2) backing, upwind; 3) flanking, right flank, and 4) flanking, left flank, both are normal to the wind direction.

5. Calculation of the estimated rate of surface fire spread (V_{sf}) and time it will take fire to propagate over inventory units is done according to the following formulas:

$$V_{sf} = V_o \cdot K_\varphi \cdot K_r \cdot K_w,$$

where:

V_o – base rate of fire spread taken from Table 1 “Pyrological characteristics of types of prime conductors of burning (PCB)” according to the PCB type, relative basal area of a stand per ha, and forest fire drought index (FFDI) of the current day;

K_φ – coefficient of slope contribution to the spread rate taken from Table 2 “Coefficients of relative influence of main factors...” according to the slope indicated in the pyrological description, slope direction and direction of fire spread (up the slope – positive angles, down the slope – negative angles, across the slope – zero angles);

K_r – coefficient of relative humidity contribution to fire spread taken also from Table 2 according to the value of relative air humidity (r , %);

K_w – coefficient of wind contribution to fire spread rate taken from Table 2 according to wind speed and direction under the forest canopy.

Wind speed under forest canopy (W) is calculated by the formula:

$$W = W_m \cdot K_d,$$

where:

W_m – wind speed registered by the weather station;

K_d – coefficient, which takes into account tree stand relative basal area of a stand per ha (Table 3).

To make the calculation easier, all initial data are noted in a specially designed form.

6. Calculation regarding every tactical part of a fire (or fire direction) is carried out until period of fire spread exceeds the calculation period. Then recalculation is done by the last inventory unit defining the distance, which will be covered by the fire edge by the end of the calculation period, and this point is marked on the map.

Calculation is done by the formula:

$$L_n = (V_{sf})_n \cdot (T - T_{n-1}),$$

where:

L_n – distance covered by fire edge in the last inventory unit by the end of the calculation period, m;

$(V_{sf})_n$ – calculated spread rate of fire edge in the last inventory unit, m/hour;

T – calculation period, hour;

T_{n-1} – period of fire spread in the last but one inventory unit, hour.

7. Taking into account peculiarities of fire spread. A spreading fire may encounter breaks such as inventory units not ready to burn for a given moment and barriers such as roads, brooks, and rivers. If a break is wider than the width of the burning strip of fire edge, the fire stops spreading in this direction. In the other case, the fire will propagate along the barrier in either one or two directions. To estimate the width of burning fire edge in the direction of the barrier, the fire spread rate along neighboring directions should be predicted first.

If the spreading fire encounters a barrier (a road, a brook, a river including unburnable parts of its flooded lands, etc.), its backing and flanks are usually stopped while the head fire, particularly a long one (over 100 m) or that of high-intensity, may overcome barriers up to 50m wide.

If a spreading fire encounters a unit of uncertain burning state at present, two versions of fire spread in that place are to be estimated: 1) regarding the inventory unit ready to burn, and 2) regarding it not ready to burn.

8. Estimation of the perimeter length, i.e. length of the fire edge (P). The predicted perimeter is drawn in the map through the points, which the fire edge would reach in the target time in each direction; length of this perimeter is measured (taking into account the scale), and multiplied by the twist coefficient which average value is 1.5.

9. Estimation of rate of fire perimeter increase. Rate of perimeter increase (ΔP) does not depend upon the size of fire area and is determined only by the rate of fire spread. Estimation is usually done by the rate of spread of head fire (V_{fh}):

V_{fh} , m/hour	25	40	70	120	200
Or V_{fh} , m/minutes	0.4	0.7	1.2	2.0	3.3
ΔP , m/hour	200	300	400	700	1000

To estimate ΔP , a value of spread rate of the head fire edge in the last inventory unit, i.e. closer to the end of the target time, is to be taken from a special calculation form.

10. Prediction of fire edge intensity (I_{sf} , kW/m) is necessary to estimate fire intensity and to determine possible consequences. Fire edge intensity is estimated by the formula:

$$I_{sf} = 17 Q_{lr} \cdot V_{sf},$$

where:

Q_{lr} – surface heat discharge from a layer, MJ/ m²;

V_{sf} – calculated rate of fire edge spread, m/min.

Q_{lr} is taken from Table 1 in accordance with PCB type, tree stand relative basal area per hectare, and FFDI.

Sufficiently developed layer of subshrubs from *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis idaea* or *Vaccinium uliginosum* has moisture content equal to 90-120% and load equal to 0.1-0.2 kg/ m² (in absolutely dry state). Burning of these subshrubs in the flame of the prime conductor of burning increases Q_{I_r} by 0.5-1.0 MJ/ m². Up to 0.5 kg/ m² of fallen dry and dead branches manage to burn; this may give additional 3-3.5 MJ/ m².

11. Intensity of surface fires is evaluated by flame height of the fire head: weak – up to 0.5 m; medium – 0.5 – 1.5 m; intensive – over 1.5 m [5]. Flame height at the fire edge is connected with edge intensity and externally expresses intensity [1]. Therefore, for prediction, possible intensity of a surface fire should be estimated by the predicted fire edge intensity I_{sf} (for head fire) using the following scale: weak fire – up to 60 kW/m, fire of medium intensity – 60-600 kW/m; fire of high intensity – over 600 kW/m).

Further calculations (estimation of volume of work, its cost, and area damaged by fire under different versions of fire control, optimum choice of the version, estimation of manpower and facilities for fire suppression, etc.) are not considered in this paper.

Conclusions

For creation of the Russian wildfire behaviour prediction system, there are the following prerequisites:

- original vegetation fuel (VF) classification and approved identifier of types of PCB;
- technology of large-scale (1:10,000 – 1: 50,000) VF mapping;
- practical Sofronov's model [6] of surface fire behaviour prediction;
- method to predict fire effects (tree mortality is estimated by predicted fire edge intensity);
- examples of information database in GIS for fire behaviour prediction;
- principles of a training program to educate firefighting managers.

Collaboration of Russian and North American scientists on wildfire issues would be of mutual benefit:

1. Exchange of theoretical and practical information:
 - latest North American developments on prediction of surface fires development into crown fires (should be taken into consideration for creation of the Russian System);
 - Russian fundamental developments on vegetation fuel classification and mapping (can be of interest to North American fire specialists);
 - exchange of research results on improvement of fire danger rating in mountain conditions of Russia and North America.
2. Creation of Russian-English and English-Russian Glossary of Fire Management Terms (in order to eliminate the existing terminological confusion).
3. Making up joint research programs for investigations in Russia and in North America.
4. Testing and application of obtained results in Russia and in North America.

REFERENCES

1. Alexander, M.E. 1980. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canad. J. Bot.* 60(4): 349–357.
2. Burgan, R.E., R.C. Rothermel. 1984. *Behave: fire behaviour prediction and fuel modelling system/USDA Forest Service.– General Technical Report INT-167.– 126 p.*
3. Forestry Canada, Fire Danger Group. 1992. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System. Science and Sustainable Development Directorate. Inf. Rep. ST-X. Ottawa.– 63 p.*
4. Konev, E.V. 1984. *Thermophysics of forest fires. Novosibirsk: Institute of thermophysics, Siberian Branch of USSR Academy of Sciences. – p. 99–125.*
5. Kurbatsky, N.P. 1962. *Technique and tactics of forest fire suppression. – Moscow: Goslesbumizdat. – 154 p.*
6. Sofronov, M.A. 1967. *Forest fires in the mountains of Southern Siberia. – Moscow: Nauka. – 152 p.*
7. Sofronov, M.A., A.V. Volokitina. 1990. *Pyrological zoning in a taiga zone. – Novosibirsk: Nauka. – 204 p.*
8. Sofronov, M.A., A.V. Volokitina, T.M. Sofronova. 1998. *Fire danger assessment on the basis of quantity of active wildland fires per unit of area and fire danger rating // 3rd Intern. Conf. on Fire Research, Portugal, Luso. 1: 933 – 944.*
9. Volokitina, A.V. 1996. *Forest Fuel Maps. – In: “Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia”, ed. by J. Goldammer and V. Furyaev. Dordrecht/Boston/London. – p. 239–252.*
10. Volokitina, A.V., B.L. Klimushin, M.A. Sofronov. 1995. *Technology of large-scale vegetation fuel maps creation. Krasnoyarsk: Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – 47 p.*
11. Volokitina, A.V., M.A. Sofronov. 2002. *Vegetation fuel classification and mapping. – Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publishing House. – 314p.*
12. Volokitina, A.V., M.A. Sofronov, T.M. Sofronova. 2005. *Surface fire behaviour prediction based on vegetation fuel maps. Krasnoyarsk: IL SB RAS, SibGTU. – 92 p.*
13. Volokitina, A.V., M.A. Sofronov, T.M. Sofronova. 2006. *Creation of Russian Wildfire Behaviour Prediction System. Abstracts of the Int.Workshop “Conservation and Sustainable Management of Boreal Forests: A Canadian-Russian Perspective. St. Petersburg, Russia. – 3: 52–53.*

Материал поступил в редакцию 12.04.19.

РАЗРАБОТКА РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

А.В. Волокитина¹, Т.М. Софронова²

¹ доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесной пирологии,

² кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры английской филологии

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН (Красноярск),

² Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева (Красноярск), Россия

Аннотация. Рассмотрены основные принципы разработки Российской системы прогноза поведения лесных пожаров. В качестве модели распространения пожаров принята простая эмпирическая модель М.А. Софронова (1967). К настоящему времени данная модель имеет информационную базу данных на основе разработанных классификации и методов картографирования растительных горючих материалов с максимальным использованием имеющихся лесоустроительных материалов (Волокитина, Софронов, 2002). Дан пример обучающей программы по прогнозу поведения лесных низовых пожаров для подготовки руководителей тушения.

Ключевые слова: прогноз поведения лесных пожаров, модель распространения горения, классификация и картографирование растительных горючих материалов, программа обучения руководителей тушения пожаров.

УДК 633.26.29

ПОЧВОУЛУЧШАЮЩАЯ РОЛЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В ПРЕДГОРНОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

О.Г. Инжечик¹, С.А. Ахмадиева²

¹ кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом кормопроизводства,

² магистр естественных наук, старший научный сотрудник

ТОО «Восточно-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция»

(Усть-Каменогорск), Республика Казахстан

Аннотация. *Посевы костреца безостого, люцерны и бобово-злаковых смесей наряду с высокой агроэнергетической эффективностью, значительно улучшают физические и агрохимические свойства легкоподвергаемого эрозии обыкновенного чернозема, обеспечивая стабилизацию и воспроизводство почвенного плодородия.*

Ключевые слова: *чернозем, гумус, травосмеси, люцерна, кострец.*

В Восточно-Казахстанской области из 28,3 млн. га земельного фонда на долю пашни приходится 1,05 млн. га. Пахотно-пригодные земли здесь располагаются на отдельных пологих склонах. Почвенный покров предгорной степной зоны умеренного увлажнения представлен на выровненных склонах обыкновенными черноземами. В средний по влажности год выпадает около 490 мм осадков. Черноземы обыкновенные представляют собой хорошие земледельческие угодья. Однако они нуждаются в применении действенных мер борьбы с водной эрозией, поскольку до 40 % территории, занятой этими почвами, в той или иной степени подвергались плоскостному смыву. Ежегодная отвальная вспашка, ускоряя темпы разрушения почвенного покрова, привела к постепенному нарушению ландшафтно-экологического баланса. Недобор урожая возделываемых культур на эродированных полях доходит до 15-20 % и более. Для сохранения и воспроизводства плодородия пахотных земель необходимо оптимизировать структуру севооборотов, увеличивая долю культур сплошного сева, а также внедрять почвозащитные технологии обработки почвы и обогащать ее органическим веществом.

В современных экономических условиях один из эффективных способов воспроизводства плодородия, регулирования баланса гумуса и пищевого режима почвы – расширение посевов многолетних бобовых трав и их смесей со злаковыми, повышающими экологическую устойчивость агроландшафтов.

Чтобы определить состав травостоя, имеющего в условиях предгорной степной зоны высокую фитомелиоративную способность и продуктивное долголетие, в 2005 году на полях ТОО «Восточно-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции» был заложен полевой опыт. Почва опытного участка – типичный карбонатный чернозем, отличающийся высокой водопроницаемостью, но низкой удерживающей ее способностью, и содержащий гумуса – 5,3, валового фосфора – 0,14%, азота общего – 0,28%, легкогидролизующего – 13,2 мг, подвижного фосфора и обменного калия – 4,9 и 20,4 мг на 100 г почвы.

Учитывая биологические свойства бобовых и злаковых трав, особенности размещения корней в почвенном профиле, были созданы травостой долголетнего длиннокорневищного злака – костреца безостого сорта «Восточно-Казахстанский», люцерны пестрогибридной «Кокше» (нормы высева соответственно 20 и 18 кг/га), а также травостой из смесей трав – люцерно-кострецовый (8 и 12 кг/га).

В наших исследованиях травы имели развитую корневую систему, сухая масса корней шестилетних растений в слое почвы 0-50 см достигала 75,2-90,2 ц/га, а их объем – 6,4-7,8 см³ в 1 дм³ почвы в зависимости от состава травостоя. Это способствовало, несмотря на недостаток почвенной влаги в отдельные периоды вегетации, формированию достаточно большой надземной массы. У костреца безостого в воздушно-сухом виде она составила в среднем за шесть лет – 98,3 ц/га, у люцерны – 99,8, люцерно-кострецовой травосмеси – 101,3 ц/га. Наибольшее количество кормовых единиц (48,2-59,5 ц/га) получено на посевах костреца безостого, а максимальный выход сырого протеина (10,6-12,8) – люцерны пестрогибридной.

Антропогенные вложения на возделывание трав, как показали наши расчеты, окупались высоким агроэнергетическим эффектом. В урожае надземной массы костреца безостого было накоплено 61,5-82,0 ГДж/га, люцерны – 103,9-124,7, двойной бобово-злаковой смеси – 82,5-98,3 ГДж/га валовой энергии, которая в несколько раз превышала суммарные энергозатраты на производство продукции. Коэффициенты энергетической эффективности в среднем составили соответственно 3,4, 5,1 и 4,6.

Структурность почвы относится к одному из важных показателей ее плодородия. При этом особое значение имеет мелкокомковатая и зернистая макроструктура корнеобитаемого слоя, которая в наших опытах под травами была различной в зависимости от характера проникновения корней в почву и особенностей воздействия биологически активных гумусовых веществ, образующихся при разложении ортотропных побегов. Доля агрономически ценных агрегатов почвы размером 10,0-0,25 мм увеличилась за годы исследований с 62,5 до 73,5-74,0 % (таблица 1).

Максимальное их количество оказалось под бобово-злаковым травостоем при лучшем коэффициенте структурности – 2,85. Наибольшее содержание глыбистой фракции (диаметром более 10,0 мм) в почве было под люцерной – 5,8% против 3,5 в исходной почве. Под кострцом безостым наблюдалось сравнительно повышенное присутствие пылеватых частиц (<0,25 мм), а в целом по опыту доля этой фракции почвы уменьшилась с 34,0 до 20,7%.

Ценность структуры почвы определяется также водопрочностью агрегатов. Однако ее коэффициент в опыте варьировал под влиянием трав лишь в пределах 0,73-0,76, что видимо во многом зависит от механического состава (присутствия песка и глины), свойственного обыкновенному чернозему.

Таблица 1

Влияние шестилетних бобово-злаковых травостоев на физические и агрохимические свойства обыкновенного чернозема в пахотном слое

Травостой	Количество агрегатов (%) размерами (мм)			Коэффициент структурности	Объемная масса г/см ³	Гумус общий, %	Легкогидролизуемый азот, мг/100 г	Подвижный фосфор, мг/100г	Обменный калий, мг/100г
	>10	10,0-0,25	<0,25						
Исходная почва 2005 г.									
	3,5	62,5	34,0	1,67	1,10	5,34	13,2	4,90	20,4
Кострец	4,6	74,2	21,2	2,83	1,25	5,70	15,1	5,97	26,5
Кострец +люцерна	4,9	74,0	21,1	2,85	1,27	5,71	16,9	5,53	26,7
Люцерна	5,8	73,5	20,7	2,77	1,30	5,75	17,1	5,38	27,6

Объемная масса почвы под травами за годы исследований увеличилась с 1,10 до 1,30 г/см³ и была наибольшей под люцерной. Одна из причин повышения этого показателя – уплотнение почвы, вызванное неоднократными проходами техники при уборке надземной массы и другими с/х работами.

Травостой, позитивно изменяя физические свойства чернозема, существенно улучшали и его агрохимические показатели (см.табл.). Так, в пахотном слое почвы по пласту трав содержалось от 5,70 до 5,75% гумуса против 5,34% в начале опыта.

Бобово-злаковые травостой, улучшив гумусное состояние почвы, повысили ее энергонасыщенность до 155-213 ГДж/га. Благодаря способности люцерны усваивать из более глубоких слоев почвы труднорастворимые соединения фосфора, калия и фиксировать атмосферный азот, в почве увеличилось содержание валовых и легкодоступных форм элементов питания. Это положительно отразилось на урожайности последующих культур. Так, после распашки люцерно-кострецового травостоя в течение 2011-2018 гг. получены прибавки урожая 1,0-1,4 ц/га зерн.ед., после люцерны 1,2-1,7 ц/га.

Таким образом, люцерновые и бобово-злаковые посеы трав, наряду с высокой агроэнергетической эффективностью, значительно улучшают физические и агрохимические свойства легкоподвергаемого эрозии обыкновенного чернозема, обеспечивая стабилизацию и воспроизводство почвенного плодородия.

Материал поступил в редакцию 20.02.19.

SOIL-IMPROVING ROLE OF PERENNIAL GRASSES IN THE SUBMONTANE STEPPE ZONE OF EAST KAZAKHSTAN

O.G. Inzhechik¹, S.A. Akhmediyeva²

¹ Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Fodder Production Department,

² Master of Natural Sciences, Senior Researcher

LLP "East Kazakhstan Agricultural Experiment Station" (Ust-Kamenogorsk), Republic of Kazakhstan

Abstract. *The seeds of awnless brome, alfalfa and legume-grass mixtures, along with high agro-energy efficiency, significantly improve the physical and agrochemical properties of the typicchernozem, easily exposed to erosion, providing stabilization and reproduction of soil fertility.*

Keywords: *chernozem, humus, grass mixtures, alfalfa, awnless brome.*

УДК 633.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НОВОГО СОРТА КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО «КОКТАС»

О.Г. Инжечик¹, С.А. Ахмадиева²

¹ кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом кормопроизводства,

² магистр естественных наук, старший научный сотрудник

ТОО «Восточно-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция»

(Усть-Каменогорск). Республика Казахстан

Аннотация. За годы испытаний новый сорт костреца безостого «Коктас» обеспечил довольно высокую урожайность сухой массы (41,6 ц/га) и семян (3,2 ц/га), что превышало стандарт на 17,6 и 14,3% соответственно. Химический состав и питательность в фазы кущения и цветения были различны. Но по концентрации сухого вещества энергетической и протеиновой ценности, содержанию минеральных веществ новый сорт отвечает всем требованиям кормления с/х животных.

Ключевые слова: кострец безостый, химический состав, питательность, зеленая масса, сено.

Среди многолетних злаковых трав, возделываемых в Восточном Казахстане, наибольшую и практическую ценность представляет кострец безостый. В рейтинге кормовой продуктивности он неизменно занимает первое место. Считается универсальным многоцелевым злаком. Прекрасно подходит для сенокосного использования. Является хорошим компонентом для поливидовых агрофитоценозов. Представляет интерес для полевого травосеяния, создания долгодетных культурных пастбищ и освоения заливных лугов. К числу важнейших его достоинств относится высокая пластичность и адаптивность, продуктивное долгодетие, медленное огрубление с возрастом, устойчивость к осыпанию семян при созревании. Будучи тонкостебельным и хорошо облиственным, он широко используется для приготовления высококачественных сочных, грубых и искусственно обезвоженных кормов. Благодаря мощной корневой системе с длинными корневищами, которые являются органами вегетативного размножения, хорошо разрастается и надежно укрепляет склоны оврагов, косогоры и другие эрозионноопасные места. Истребовательность к условиям произрастания и почвам, иммунитет к грибным заболеваниям, выносливость по отношению к недостатку влаги и низким температурам делают его одним из самых надежных и неприхотливых кормовых злаков.

Наибольшее распространение в полевом травосеянии в Восточном Казахстане получил сорт костреца безостого «Восточно-Казахстанский». Этот сорт отличается высокими хозяйственными параметрами и при возделывании показывает хорошие результаты. В дополнение к нему можно рекомендовать более урожайный сорт «Коктас».

Новый сорт костреца безостого входит в качестве одной из основных злаковых культур в сеяные сенокосы и пастбища горной лугово-степной зоны Восточного Казахстана. Сорт «Коктас» был выведен отделом кормопроизводства ТОО «ВКСХОС» на полях Зыряновского селекционно-семеноводческого пункта, находящегося в горной лугово-степной зоне Восточно-Казахстанской области.

Почвы опытного участка – выщелоченные черноземы, характеризуются большой мощностью (80-90 см), содержание гумуса в пахотном горизонте 6-8% и более. Вегетационный период составляет 150-160 дней. Общей особенностью всей зоны является относительно большое среднегодовое количество осадков – 600 мм, из них за вегетационный период выпадает 387 мм. Гидротермический коэффициент – 0,8-1,0.

Сорт создан методом поликросса из индуцированных октоплоидов. Выделяется хорошо разветвленной, глубоко проникающей в почву корневой системой с большим количеством корневищ, залегающих на глубине 10-15 см. Куст средней рыхлости, прямостоячий с преобладанием вегетативно-удлиненных побегов. Стебли высокие (80-140 см), гладкие, округлые, с 5-7 междоузлиями. Окраска узлов бурая. Образующие в процессе кущения боковые побеги формируют свою корневую систему и сравнительно быстро теряют связь с материнским растением. Листья линейные, слабошероховатые, длиной 20-30 и шириной 0,9-1,8 см. Окраска зеленая с сизоватым отливом. Язычок рыхлый, короткий, заостренный. Облиственность колебалась в пределах 45-48%. Соцветие – рыхлая раскидистая метелка, длиной 15-20 см. Окраска серая с антоцианковым оттенком. Колоски крупные, ланцетной формы, с 7-10 цветками.

Сорт относится к лесостепной экологической группе. В первый год развивается по ярово-озимому типу. Максимальной продуктивности достигает на второй год. Характеризуется ранним отрастанием весной и высокой отавностью, зимостойкостью и засухоустойчивостью. Укосной спелости достигает 7-15 июня, полной спелости 10-15 июля.

За годы конкурсного испытания средняя урожайность сухой массы составила 42,3 ц/га, а семян 3,3 ц/га, что превышало стандарт на 18,0 и 15,7 % соответственно. Для передачи перспективного номера 22323 в госкомиссию по сортоиспытанию с/х культур был заложен питомник производственного СИ (табл.1).

Перспективный номер 22323 превышал стандарт по урожаю сухой массы на 17,6%, а семян на 14,3%. Облиственность 46%.

Таким образом, номер 22323 в 2007 году передан в ГСИ на сортоиспытание под названием «Коктас», был включен в гос.реестр с 2010 года. 15.09.2014 года получен патент на сорт.

Таблица 1

Урожайность перспективного номера костреца безостого в производственном СИ

Сортообразцы	Зеленая масса, ц/га				Сухая масса, ц/га				Семена, ц/га			
	2005	2006	2007	Сред.	2005	2006	2007	Сред.	2005	2006	2007	Сред.
St Восточно-Казахстанский	105,9	113,0	106,8	108,6	34,8	36,1	35,3	35,4	2,5	2,9	2,8	2,8
22323 «Коктас»	123,9	131,5	130,3	128,6	40,9	42,0	41,7	41,6	2,0	3,4	3,1	3,2

Отбор проб кормовой массы на химические анализы проводился в фазу пастбищной и укосной спелости. За пастбищную спелость принималась фаза кушения, за укосную – фаза цветения (табл.2-5).

Химический состав и питательность корма определялись в лаборатории Казахстанского НИИ Животноводства и кормопроизводства в 2012-2014 годах.

Таблица 2

Химический состав зеленой массы костреца безостого «Коктас», %

Показатели	Фаза развития	
	Кушение	Цветение
Сухое вещество	22,6	29,4
Протеин	6,5	3,9
Жир	0,8	0,7
Клетчатка	4,9	8,9
БЭВ	7,9	13,5
В том числе сахар	1,9	2,9
Зола	2,5	2,4

Таблица 3

Питательная ценность зеленой массы костреца безостого «Коктас»

Фаза развития	В 1 кг корма содержится				Переваримого протеина, г на	
	Каротина, мг	Переварим. протеина, г	Кормовых единиц	Обменной энергии, МДж	1 корм.единицу	1 МДж ОЭ
Кушение	68	42	0,20	3,23	210	13,0
Цветение	30	25	0,21	2,88	119	8,7

Анализ результатов исследований зеленой массы костреца в фазы кушения и цветения показал, что повышенным содержанием сухого вещества, клетчатки, БЭВ отмечена фаза цветения. При этом кострец в фазу цветения по энергетической ценности, переваримому протеину и каротину уступает кострецу пастбищной спелости.

Таблица 4

Содержание макроэлементов в костреце безостом «Коктас», г/кг сухого вещества

Фаза развития	Na	K	Ca	Mg	S	P	Cl
Кушение	0,42	35,0	4,6	0,99	2,98	3,05	7,18
Цветение	0,15	26,0	3,6	0,79	1,66	2,20	6,63

Таблица 5

Соотношение макроэлементов костреца безостого «Коктас»

Фаза развития	Ca/P	Ca/Mg	K/Na	K/Ca+Mg	Отношение кислотных эквивалентов к основным
Кушение	2,2	5,6	84,8	7,2	0,47
Цветение	1,8	5,2	116,4	5,2	0,47

В исследованных образцах зеленой массы костреца безостого в фазу цветения отмечено низкое содержание натрия. При этом разница в содержании калия, кальция, магния небольшая в фазы пастбищной и укосной спелости.

Таким образом, наши исследования показали, что химический состав и питательность костреца безостого «Коктас» в фазы кушения и цветения различны. Но по концентрации сухого вещества, энергетической и протеиновой ценности, содержанию минеральных веществ кострец нового сорта «Коктас» отвечает всем требованиям кормления с/х животных и не уступает другим злаковым культурам. Может быть использован в качестве зеленого корма, как пастбищная и сенокосная трава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, Н.Г. Луговое и полевое кормопроизводство / Н.Г.Андреев. – М.:Колос, 1984. – С.495.
2. Гончаров, П.Л. Кормовые культуры Сибири: Биологоботанические основы возделывания / П.Л. Гончаров. – Новосибирск, 1992. – С.282.
3. Дмитриев, В.И. Создание и использование агрофитоценозов многолетних и однолетних кормовых культур / В.И. Дмитриев. –ГНУ СибНИИСХ. – Новосибирск, 2008. – С.215.
4. Инжечик, О.Г. Заключительный отчет «Селекция новых высокопродуктивных синтетических сортов кормовых культур (эспарцет, кострец безостый, ежа сборная, тимофеевка луговая) для возделывания в горной – лугово-степной зоне Восточного Казахстана» 2007 г. /О.Г. Инжечик– канд.с-х наук (рукопись).

Материал поступил в редакцию 20.02.19.

PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF “KOKTAS” NEW VARIETY OF AWNLESS BROME

O.G. Inzhechik¹, S.A. Akhmediyeva²

¹ Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Fodder Production Department,

² Master of Natural Sciences, Senior Researcher

LLP “East Kazakhstan Agricultural Experiment Station” (Ust-Kamenogorsk), Republic of Kazakhstan

Abstract. *During the years of testing, a new variety of awnless brome “Koktas” provided a fairly high yield of dry matter (41.6 c / ha) and seeds (3.2 c / ha), which exceeded the standard by 17.6 and 14.3 % respectively. The chemical composition and nutritional value in the tillering and flowering stages were different. But according to the concentration of dry matter of energy and protein value, the content of mineral substances, the new variety meets all the requirements for feeding farm animals.*

Keywords: *awnless brome, chemical composition, nutritional value, herbage, hay.*

УДК 631/635

АГРАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

В.Г. Некрасов, кандидат технических наук,
изобретатель СССР, член международной ассоциации по возобновляемой энергетике «EUROSOLAR»
г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В связи с освоением арктической зоны возникает проблема обеспечения населения продуктами питания. Рассматривается возможность применения методов производства овощей, а также зеленого корма для мясомолочного животноводства в зимних условиях континентального климата. Разработаны теплоизолированные теплицы, в которых поддерживается микроклимат и искусственное освещение, используются почвенные смеси, гидропоника. Показан опыт зимнего выращивания овощей и зеленого корма для животноводства. Приведены схемы конвейерных установок для непрерывного производства растительной продукции при высокой степени механизации.

Ключевые слова: арктическая зона, продукты питания, овощи, зеленый корм, животноводство, теплицы, микроклимат, почвенные смеси, гидропоника.

В России в 2014 г утверждена Программа Социально-экономического развития арктической зоны Российской Федерации [25], продленная в 2017 г до 2025 г. [8]. Программа предусматривает социально-экономическое развитие арктической зоны побережья Ледовитого Океана в пределах России [22]. Согласно программе в арктической зоне выделяется восемь опорных пунктов [9] (рисунок 1).



Рисунок 1. Схема размещения опорных зон развития в Арктике, опорные зоны: 1 – Кольская; 2 – Архангельская; 3 – Ненецкая; 4 – Воркутинская; 5 – Ямало-ненецкая; 6 – Таймыра – Туруханская; 7 – Северо-Якутская; 8 – Чукотская.

Одним из основных положений программы является обеспечение регулярного функционирования Северного морского пути, связывающего транспортную магистралью Атлантический и Тихий океаны.

Несмотря на то, что рассматриваемые участки арктической зоны находятся на побережье Северного Ледовитого океана, природно-климатические условия их различаются.

Кольская опорная зона (1), расположенная на Кольском полуострове, хотя и находится за Полярным кругом, но в южной части полярной зоны. На Кольском полуострове имеются города Мурманск, база Северного морского флота России, Апатиты, Кировск, Мончегорск и другие поселения [12]. На полуострове есть крупные промышленные предприятия, имеются дороги.

На полуострове имеется несколько научных учреждений: Геологический институт, Институт промышленной экологии Севера, Мурманский морской биологический институт, Полярный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии и др. На Кольском полуострове имеется сельскохозяйственное производство. Есть животноводческие предприятия по производству мяса (крупный рогатый скот, олени, свиньи), а также имеются предприятия птицеводства [21].

В Архангельскую опорную зону (2) входят небольшие регионы Архангельской области, прибрежные

участки Двинской губы Белого моря, дельты Северной Двины с городом Архангельском, известным морским портом с древних времен. Экономика Архангельской опорной зоны может поддерживаться за счет экономики Архангельской области, имеющей достаточно хорошие показатели [1].

Ненецкая опорная зона (3) на побережье Баренцева моря входит в состав Архангельской области. Центр региона город Нарьян-Мар. Кроме сообщения по морю из внутренних регионов России доступна транспортная связь по реке Печоре.

Воркутинская опорная зона (4), относящаяся к республике Коми, расположена на границе Северного полярного круга, ее пересекает железная дорога, связывающая центр региона Воркуту с сетью железных дорог России.

Таким образом, западная часть арктической зоны России, расположенная на Европейском континенте, базируется на основе регионов, имеющих уже развитую структуру промышленного и аграрного секторов, имеющих связи с внутренними регионами России.

Несколько другие условия имеются у восточной части арктической зоны России. Начиная с полуострова Ямал, являющегося продолжением Уральских гор, начинается Азиатская часть арктической зоны.

Западные регионы азиатской части арктической зоны, Ямало-Ненецкая и Таймыро-Туруханская опорные зоны получили свое развитие в предшествующие годы в связи с открытием здесь полезных ископаемых: на Ямале – природного газа, на Таймыре – руд цветных металлов.

Регион Ямала в настоящее время является крупнейшим в мире газоносным районом в мире [10, 14]. В настоящее время на Ямале построен завод сжиженного природного газа. Это расширит маршруты доставки газа в мировом масштабе, а также в условиях освоения опорных участков арктической зоны.

На территории Таймыро-Туруханской арктической зоны имеется город Норильск, где расположен крупный металлургический комбинат. В дельте Енисея, протекающего в меридиональном направлении, имеется речной порт Дудинка. Между Норильском и Дудинкой имеется железная дорога [20].

В восточной части полуострова Таймыр в устье реки Хатанга, вливающейся в Хатангинский залив Северного Ледовитого океана, расположено поселение Хатанга, имеющее аэропорт.

Далее на восток вдоль побережья Якутии, дельты реки Лены, северного и восточного берегов Магаданской области на Чукотском полуострове, после пролива Дежнева между Азией и Америкой, восточного тихоокеанского берега Камчатки, вплоть до Петропавловска-Камчатского кроме небольших поселений рыбаков крупных населенных пунктов нет.

Обустройство опорных зон, в первую очередь, портов для обслуживания судов, движущихся по Северному Морскому пути, потребует притока населения. Это, в свою очередь, вызовет развитие строительства жилого фонда, создания социальной инфраструктуры.

То, что в регионе Ямала производится добыча природного газа, является существенным положительным фактором в развитии опорных зон в арктической зоне. Энергоснабжение в условиях арктических зон является главным фактором, обеспечивающим создание условий существования и жизнеобеспечения таких регионов. Обеспечение поселений природным газом в пределах местных газопроводов, а также при доставке сжиженного метана и его регазификации обеспечивается выработкой как электрической, так и тепловой энергии на газотурбинных когенерационных установках энергетических комплексов по типу локальных систем энергоснабжения, рекомендуемых для применения в зоне отсутствия охвата централизованными системами энергоснабжения, например, в степной зоне Казахстан [17].

Наличие транспортных связей создаваемых опорных зон как непосредственно по Северному Морскому пути, так и по другим транспортным путям, железнодорожным, водным, авиационным транспортом позволит обеспечить население продуктами питания. Имеется опыт снабжения многих городских поселений советского периода типа «почтовых ящиков», населения которых, как работающий на предприятиях персонал, так и их семьи, обеспечивались привозными продуктами питания, причем, значительно лучше, чем граждане поселений, живущие вне «запретной зоны».

Имеется и другая социальная проблема. Такие поселения образуются по принципу моногородов, т.е. при наличии одного градообразующего объекта. При этом в производственной сфере оказываются задействованы профессионалы, имеющие специальное образование или прошедшие специальную подготовку. В то же время другие взрослые члены семей часто не имеют работы. Частично они заняты в сфере обслуживания, торговле, общественном питании. Но эта сфера охватить всех не может. По этой причине в таких городах специально создаются предприятия, на которых можно задействовать большую часть населения при минимальной подготовке кадров, например, швейные фабрики, кондитерские цеха и т.п.

В условиях арктической зоны, удаленной от источников сырья, рынков сбыта продукции одним из наиболее вероятных сфер массового использования населения с минимальной подготовкой является аграрное производство продуктов питания. В арктической зоне, кроме всего прочего, в условиях северного климата с коротким световым днем, длительной полярной ночью, коротким и холодным летом особенно актуальным становится питание, насыщенное витаминами. Известно, что в качестве таких продуктов применяются свежие овощи.

Арктическая зона в России в пределах Азиатского континента входит в зону вечной мерзлоты, охватывающей до 65 % территории России [26] (рисунок 2).



Рисунок 2. Виды и размещения зон мерзлоты на территории России

По этой причине аграрное производство в арктической зоне ввиду природно-климатических условий возможно только в условиях защищенного грунта, причем с применением специальных субстратов для выращивания растительных культур и искусственного освещения. Для производства овощей в таких условиях применяются теплицы. Для арктической зоны теплицы должны быть полностью изолированными от внешних условий стенами и кровлей с низкой теплопроводностью, обогреваться для создания требуемого микроклимата и иметь систему искусственного освещения. Такие теплицы были разработаны для условий континентального климата для выращивания овощей в зимних условиях [16, 18]. В данном случае в арктической зоне они должны применяться как всесезонные.

Промышленный эксперимент применения изолированных от внешних условий теплиц с созданием в них искусственного климата и освещения для зимнего выращивания овощей подтвердил возможность применения таких теплиц для выращивания овощей в условиях низких температур наружного воздуха в зимний период в зоне континентального климата. Выращивание проводилось при посадке рассады в отдельные емкости со специальным грунтом (рисунок 3), в качестве которого использовалась смесь обычного грунта с торфом. Торф в России имеется в изобилии [11]. Применялось капельное орошение, а также освещение натриевыми лампами.



Рисунок 3. Выращивание огурцов в зимних условиях в опытной теплице

Если в зоне континентального климата изолированные от внешних условий теплицы могут быть заглубленными в грунт, то в арктической зоне при наличии вечной мерзлоты теплицы должны быть изолированы и от грунта. В этой области строительства имеется опыт сооружения промышленных и жилых зданий на свайном основании с проветриваемым пространством. Вопросы строительства зданий в районе вечной мерзлоты в настоящее время имеют апробированные решения [23] (рисунок 4).



Рисунок 4. Здания в районе вечной мерзлоты с проветриваемым основанием

Растениеводство в теплицах – это одно направление в аграрном производстве. Второе направление – животноводство. Свежее или, в крайнем случае, охлажденное мясо всегда ценилось выше замороженного.

Для сельскохозяйственных животных требуется корм – растительные корма, богатые питательными веществами. В умеренной климатической зоне животные получают летом корм на пастбищах, а зимой в виде специального рациона заготовленных на зиму кормов. В арктической зоне крупный рогатый скот, как основа мясного и молочного животноводства, должен содержаться в закрытых помещениях, в которых температура должна поддерживаться на уровне $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5). В условиях полярной зимы такое можно обеспечить только при применении систем обогрева помещений. Исключением являются северные олени, как отдельная отрасль животноводства для арктической зоны.



Рисунок 5. Содержание скота в закрытых животноводческих помещениях

Естественно, конструкция таких животноводческих помещений в арктической зоне должна учитывать климатические условия. Скот должен содержаться в закрытых обогреваемых помещениях, оборудованных вентиляцией, навозоудалением, кормоцеха с кормораздачей, водопоем. Должны быть закрытые помещения для моциона скота. В молочном производстве необходимы доильные цеха и системы сохранения молока. В варианте мясного животноводства также должны быть помещения для содержания разных групп скота, забойные участки с разделкой мяса и его переработки.

Основой животноводства кроме продуктивных пород скота является устойчивая кормовая база. В арктической зоне нет ни пастбищ, ни возможностей заготовки кормов на зиму для крупного рогатого скота. Но существует технология производства зеленого корма путем проращивания зерна злаковых культур, например, ячменя, или пшеницы, до зеленого корма [2]. За 7 суток подготовленное зерно при периодическом орошении водой и при соответствующем освещении в условиях теплиц прорастает до зеленой массы с ростками высотой 25-30 см. Вся масса в виде дернины из оболочек зерна, корневой системы и зеленой массы скармливаются скоту, представляя высококачественный корм для сельскохозяйственных животных. При использовании такой технологии 1 кг зерна в сухом виде дает 6-7 килограмм зеленого корма, обладающего высокими кормовыми свойствами.

Технология разработана и применяется в мире для всех видов сельскохозяйственных животных. В настоящее время ряд компаний производят оборудование для получения зеленого корма [7, 19]. Экономически по этой технологии дешевле в 3-4 раза, чем корма по рекомендованному рациону для зимнего стойлового содержания скота [6]. В арктической зоне отмеченная технология производства кормов должна сочетаться с рассмотренными выше теплицами, адаптированными к арктическим условиям.

Отработка технологии и промышленный эксперимент по получению зеленого корма и при использовании его при зимнем содержании сельскохозяйственных животных были проведены при содержании и откорме овец. За 2,5 месяца 5-месячные барашки показали привес живой массы на 10 кг, с 30 до 40 килограмм, мясо было оценено как высококачественное [15] (рисунок 6).



Рисунок 6. Зеленый корм, полученный по гидропонной технологии, овцы на откорме, мясо-баранина, полученная при зимнем откорме барашков

Учитывая, что отмеченные предлагаемые установки обслуживаются вручную, что требует применение большого количества ручного труда, была разработана механизированная установка непрерывного действия. Конвейерные системы применимы также для производства растительных пищевых продуктов. В частности, известно, что имеется технологическая линия по конвейерному производству салатных культур [24] (рисунок 7).

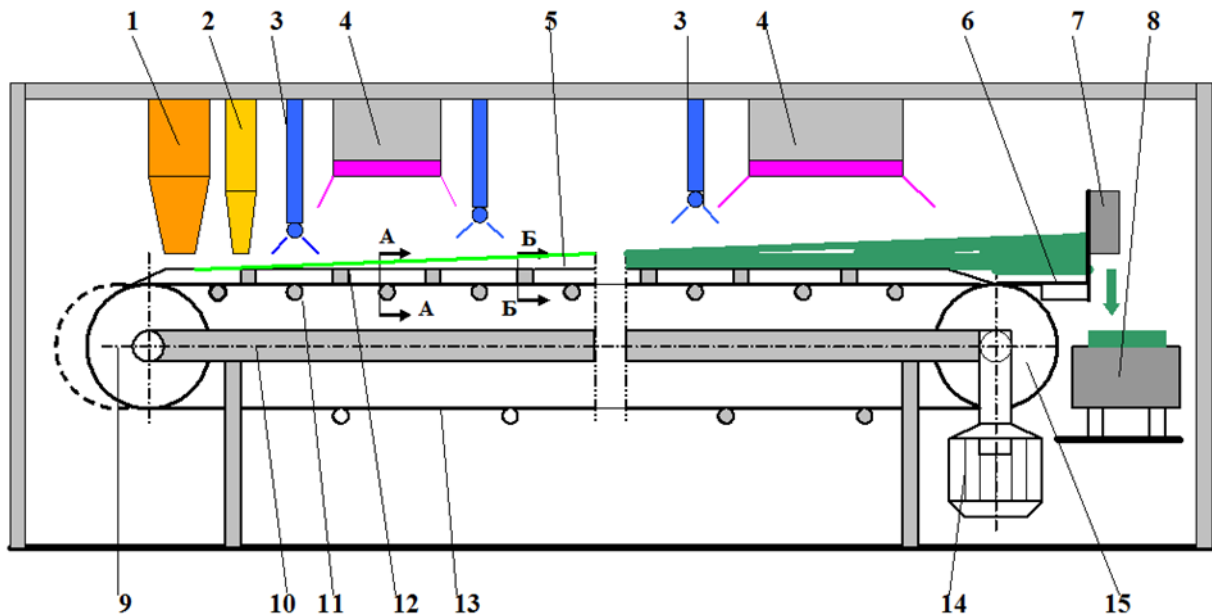


Рисунок 7. Схема конвейерной установки по непрерывному производству зеленого корма:

1 – бункер с подложкой для зерна (рубленая обработанная солома); 2 – бункер с зерном; 3 – форсунки для орошения; 4 – светильники со светодиодными лампами; 5 – рабочая ветвь ленточного конвейера; 6 – приемный стол; 7 – нож для отрезки блоков корма; 8 – приемное устройство для транспортировки корма; 9 – натяжной барабан конвейера; 10 – корпус конвейера; 11 – опорные ролики рабочей ветви ленты; 12 – боковые ролики рабочей ветви ленты; 13 – обратная ветвь ленточного конвейера; 14 – электрический привод конвейера; 15 – приводной барабан конвейера

По этому типу возможно выращивать овощные культуры с клубнекорневыми плодами, имеющими короткий биологический цикл. В частности, такой конвейер в виде транспортной ленты с гофробортами и перегородками [13], с заполнением ячеек торфом, может применяться для выращивания молодой моркови и редиса за месячный цикл выращивания. Известно, что эти овощи богаты витаминами и микроэлементами [3], что весьма важно в условиях жизни людей в арктической зоне.

В принципе, имеется возможность выращивать при применении конвейерных систем картофель. Для этого применяется метод выращивания картофеля в коробах, учитывающий биологию картофеля [5].

При посадке картофеля в почву, после вырастания стебля на первичный лоток ставится дополнительная рамка и досыпается почва, оставляя только верхнюю часть ростка. Такая операция повторяется несколько раз, наращивая коробки до высоты около 60-70 см. По мере роста и развития, когда биологический цикл растения закончится, что происходит примерно за 100 суток, пакет лотков снимается с конвейерной системы, нижнее днище открывается и почва с клубнями высыпается на стол со щелями. Почва просыпается в бункер, а клубни упаковываются как товарный продукт (рисунок 8).

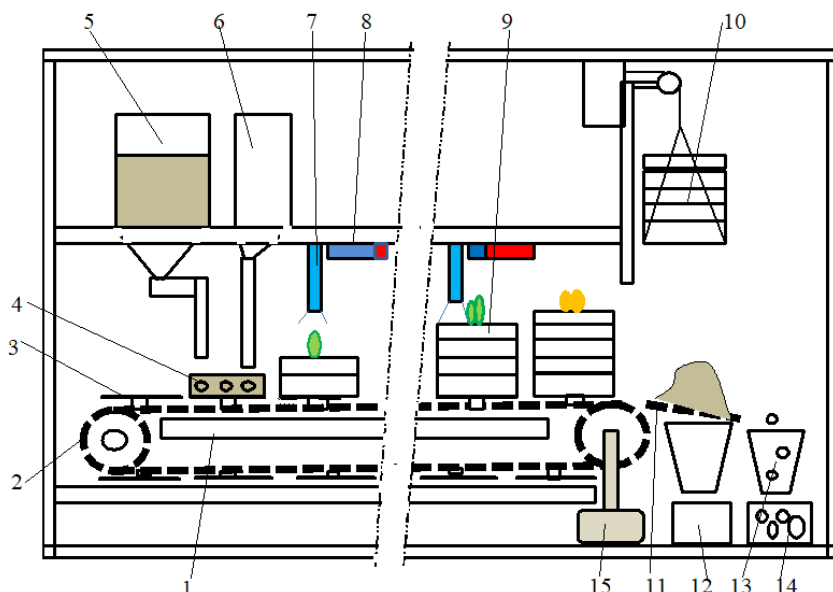


Рисунок 8. Схема устройства для всесезонного непрерывного выращивания картофеля: 1 – каркас устройства; 2 – Роликовая цепная система в виде двух замкнутых в кольцо цепей со звездочками на концевых валах; 3 – плоский поддон, закрепленный на роликовых цепях; 4 – прямоугольная рамка первого уровня с захватами для подъемника и открывающимся днищем; 5 – бункер с почвенной смесью и, шнековым механизмом разгрузки и поворотным рукавом; 6 – бункер с посадочным семенным картофелем; 7 – форсунки для орошения; 8 – светильники; 9 – прямоугольные рамки 2-35 уровня; 10 – подъемник рамок; 11 – приемный стол с решеткой (грохот); 12 – емкость для использованной почвы; 13 – бункер для приема клубней; 14 – емкость для транспортировки клубней; 15 – привод цепного конвейера

Выращивание картофеля требует более длительного периода. Биологический цикл картофеля около 100 суток. С одного квадратного метра ежедневно получают 35 кг молодого картофеля. Применяя необходимую площадь коробов или набирая комплект конвейеров, возможно обеспечивать требуемые потребности населения свежим картофелем.

Рассмотренные выше устройства для выращивания зеленого корма для животноводства, овощей, картофеля должны располагаться в теплицах, в которых поддерживается микроклимат и которые выполнены с учетом применения их в условиях арктической зоны и наличия вечной мерзлоты.

Таким образом, реализуя программу освоения арктической зоны России, имеется возможность создания поселений при промышленных объектах, обеспечивающих действие Северного Морского пути, предприятий газовой промышленности и других отраслей экономики инфраструктурой, имеющей собственное производство продуктов питания, овощей, а также производство мяса и молока, необходимых для включения в рацион питания населения при жизни в суровых условиях северной природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельская область вошла в пятерку лучших регионов России. – <https://region29.ru/2018/07/13/5b48bb2412f17b7afb2a6fe2.html>
2. Бентли, М. Промышленная гидропоника. Перевод с английского / М. Бентли. – М.: Колос, 1965. – 375 с.
3. Биологические особенности редиса. – Овощеводство в России. – www.rusagroweb.ru
4. В РФ утверждена новая редакция программы по развитию Арктики... – <https://regnum.ru/news/2318642.html>
5. Выращивание картофеля в коробах – получение достойного урожая. – agrolain.ru
6. Гидропонная фуражная машина. Концепция завода по выращиванию растений (Конвейерная система ВК). – Презентация «Vokung Greenhouses Ltd», Корея, 2013.
7. Гидропонные установки компании «Агроконтек». – gidroponika.com/forums/topic3063.htm 1.
8. Госпрограмма развития Арктической зоны РФ продлена до 2025... – <https://www.interfax.ru/russia/578152>
9. Дмитрий Орлов – Развитие Арктической зоны России и основные вызовы для ее освоения. – <https://regnum.ru/news/2407690.html>
10. Добыча природного газа в мире по странам. – <https://promdevelop.ru/dobycha-prirodnogo-gaza-v-mire-po-stranam/>
11. Добыча торфа в России и мире: Анализ развития торфяной ...<https://mining-media.ru/.../159-dobycha-torfa-v-rossii-i-mire-analiz-razvitiya-torfyan...>
12. Кольский полуостров – города и районы, экскурсии, заповедники. – https://tonkosti.ru/Кольский_полуостров
13. Конвейерные ленты с гофробортами и перегородками. – techkom.ru/catalog/konveyernye-lenty-s-gofrobortami-i-peregorodkami/
14. Месторождения природного газа в России. – <http://rosgaz.biz/faq/393-mestorozhdeniya-prirodnogo-gaza-v-rossii.html>
15. Некрасов В.Г. «Антитеплицы» для растениеводства и животноводства / В.Г. Некрасов, С.А. Шевченко // Аграрный сектор. – Астана, 2016. – №1. – С. 98-103.

16. Некрасов В.Г. Теплицы для континентального климата (Опыт освоения теплиц нового типа) / В.Г. Некрасов, С.А. Шевченко. – Германия, электронный вариант, LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 381 с.
17. Некрасов, В.Г. Нужны ли сельскому хозяйству Казахстана свои электростанции? / В.Г. Некрасов // Энергетика. Вестник союза инженеров-энергетиков Казахстана. – Астана, 2017. – №3. – С. 28-32.
18. Некрасов, В.Г. Энергетика теплиц (Тепличные технологии) / В.Г. Некрасов, С.А. Шевченко, М. Юсупова. – Германия, электронный вариант, LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 155 с.
19. Оборудование для производства зеленого корма. – http://fermer.ru/agrocontech_gidroponnie_ustanovki
20. Полуостров Таймыр – Интернет-энциклопедии Красноярского края. – my.krskstate.ru > ... > Географические и природные объекты/
21. Сельское хозяйство Мурманской области. – <http://ab-centre.ru/page/selskoe-hozyaystvo-murmanskoy-oblasti>
22. Стратегические перспективы социально-экономического развития... – www.mstu.edu.ru.
23. Строительство зданий и сооружений в районах многолетней мерзлоты. – <https://works.doklad.ru/view/ZQ2d0erZuqQ/all.html>
24. Технологический комплекс для выращивания салата и зеленых культур. – [//schetelig.ru/hydroponics/](http://schetelig.ru/hydroponics/)
25. Утверждена госпрограмма «Социально-экономическое развитие арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 г.» – <https://rg.ru/2014/04/24/arktika-site-dok.html>
26. Что такое вечная мерзлота? – Природа Мира <https://natworld.info> > Науки о природе > География

Материал поступил в редакцию 14.03.19.

AGRICULTURE PRODUCTION IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

V.G. Nekrasov, Candidate of Engineering Sciences,
Honored Inventor within the USSR, Member of the Association for Renewable Energy "EUROSOLAR"
Almaty, Kazakhstan

Abstract. *In connection with the development of the Arctic zone, the problem of providing the population with food products arises. The possibility of using methods for the production of vegetables as well as green fodder for meat and dairy cattle breeding under the winter conditions of the continental climate is considered. The thermally insulated greenhouses have been developed, in which the microclimate and artificial lighting are maintained, soil mixes and hydroponics are used. The experience of winter growing of vegetables and green fodder for livestock farming is shown. The schemes of conveyor installations for continuous production of vegetable products with a high degree of mechanization are given.*

Keywords: *the Arctic zone, food, vegetables, green fodder, animal breeding, greenhouses, microclimate, soil mixes, hydroponics.*

Наука и Мир

Ежемесячный научный журнал

№ 4 (68), Том 1, апрель / 2019

Адрес редакции:
Россия, 400081, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г», оф. 312.
E-mail: info@scienceph.ru
www.scienceph.ru

Изготовлено в типографии ООО «Сфера»
Адрес типографии:
Россия, 400105, г. Волгоград, ул. Богунская, 8, оф. 528.

Учредитель: ООО Издательство «Научное обозрение»

ISSN 2308-4804

Редакционная коллегия:
Главный редактор: Мусиенко Сергей Александрович
Ответственный редактор: Маноцкова Надежда Васильевна
Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук
Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук
Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук
Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук
Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук
Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук

Подписано в печать 25.04.2019 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Заказ № 92. Свободная цена. Тираж 100.