

# Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 10 (91)/2021 Том 1

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

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

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Rustamov A.R.</i> THE DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE NECESSARY DETECTABLE TARGETS IN THE RADIO TECHNICAL SURVEILLANCE SYSTEMS. ....3	<i>Каримов Т.Х., Каримова М.Т., Пак С.Б., Абылов Э.А.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ .....20
<i>Кадиров Ё.Б., Самадов А.Р., Абдуллаева Д.А., Рахимова М.Ю.</i> МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ.....7	<i>Лаптева И.И., Карнаков Е.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С УСТРОЙСТВОМ РПН.....27
<i>Бондарчук В.В., Кравченко Н.М.</i> ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СОБЫТИЙ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА БАРОТЕРАПИИ .....9	<i>Любимов В.В.</i> УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА БАЗЕ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ФЕРРОЗОНДОВОГО ДАТЧИКА И МАГНИТОВАРИАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ .....31
<i>Исабаев З., Закиров Б.С., Жуманова М.О., Исабаев Д.З., Жумадуллаева С.Х.</i> ИЗОТЕРМА РАСТВОРИМОСТИ СУЛЬФАТ МАРГАНЦА - МОНОЭТАНОЛАМИН - ВОДА ПРИ 25°C .....13	<i>Собиров Ю.</i> ЮСТИРОВКА ПЛОСКИХ ФАЦЕТ ГЕЛИОСТАТОВ БОЛЬШОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ .....36
<i>Jurayeva K.K., Iksar E.V., Khalilova I.F.</i> ANALYSIS OF THE PROCESSES OF OCCURRENCE OF SUBHARMONIC COMPONENTS IN CONTACT POWER SUPPLY NETWORKS WITH NONLINEAR LOADS .....17	<i>Тигранян В.Ж., Кочарьян А.Г.</i> НАТУРАЛЬНЫЕ САХАРОЗАМЕНИТЕЛИ. ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ. ....41

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Воротынцев А.В.</i> К ПОСТРОЕНИЮ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА .....47
--

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

### THE DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE NECESSARY DETECTABLE TARGETS IN THE RADIO TECHNICAL SURVEILLANCE SYSTEMS.

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1468

**Rustamov A.R.**

*Doctor of Philosophy in Technology*

*Azerbaijani Higher Military School named after Heydar Aliyev*

#### SUMMARY

The article deals with the peculiarities of various types of target detection with the use of radar stations in the organization of radio technical observation in the Navy and the methods have been proposed to determine some parameters for detecting a target during combat operations.

**Key words:** systems of radio engineering observation, radar stations observation zone, area of coverage, antenna devices.

#### Introduction

In modern times, the requirements for observation of the surface condition of seas and the systems controlling it have been increased. Currently, surface surveillance condition at seas and its control systems are used in oil and gas production areas in the fight against terrorism and smuggling. Everything is tended to the use of these systems in surviving people at sea and in monitoring the environmental status of the coastal area. To accomplish the following tasks, radiolocation means are claimed to carry out necessary observation.

The distance impact sphere in radar systems, indeterminable precision of coordinates and speed, aptitude for solution concerning distance and speed depends on parameters of a sensor signal. To gain these objects, double-coordinated radar stations (RADAR), conducting circle observation with main sensor signals should be applied to. Like a sensor signal simple rectangular impulses are used by short duration and large depth. These stations are able to operate in independent and complex conditions[1] located on coasts, islands, as well as ships.

The analysis of various kinds of parameters radar systems shows that, the parameters of receiving and transmitting antenna, depending on its functional purposes, define its processing and description of information, management of working rate of radar systems, intercommunication with civilian ships and organizations, as well as exchange of information. The work is being carried out in the sphere of decrease of

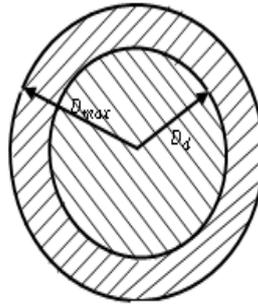
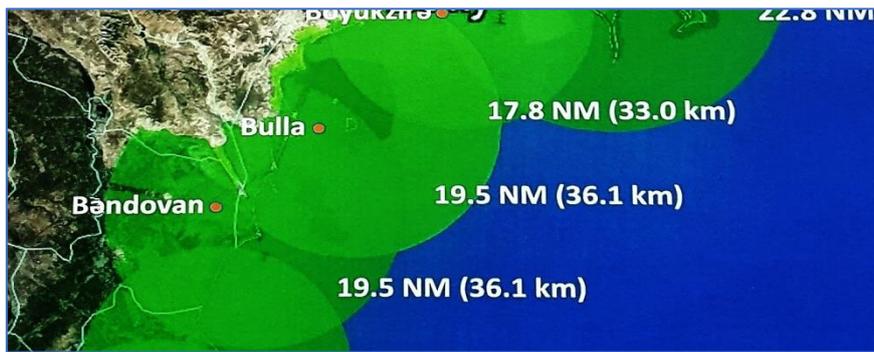
overall dimensions of constructions and improvement of the following parameters giving application of new technology.

#### Observation zones

Significant expansion of military zones in the sea in which modern warships could use their weapons, is characterized by the reduction of time for solution of military issues, the fight for `first fire` and the massive of target destruction means. In this case, many resources of the ship, including the time allotted for detection and accompany of an enemy, the use of fire, decision-making and missile orientation, the radiation power of radar stations become completely deficit.

Specified parameters clearly indicate the importance of emergency and decisive role of ship RADAR in the modern war conditions in the sea. Ship RADAR are the main means in detection of air and surface targets, the determination of direction of movement and speed, as well as supplying use of rocket and artillery weapons. Different kinds of RADAR are used in the arsenal of modern rocket carrier cruise ships for various tactical purposes[2]. Observation zone is appointed by the limits of minimum and maximum observation sectors of the distance. The sectors of observation zone of the radiolocation are shown in the picture 1.

In picture 1 detection zones determined by maximal and reliable distance detection occur as a result of implementation of radio technical observation means in space or sector view.



Picture 1. Radiolocation observation zone.

For reliable identification of targets in the radiolocation exposure zone, the each point of this spatial zone should be periodically irradiated by sent signals. For this purpose, radiolocation vision is performed in the given spatial zone.

Vision at distance leads to target detection within the limits of antenna ray and to measuring distance to it. For the vision of all distance intervals, if we accept the required minimal time for providing probability of necessary detection of a target and not small number of impulses ( $N_j$ ) reflected from it, then the period of vision at distance ( $T_{vis, d}$ ) could be defined by the following formula

$$T_{vis} = N_j \frac{2D_{max}}{c}. \quad (1)$$

Due to the fact that the wave speed is very high, vision at distance occurs at a relatively small time interval. But vision at distance is carried out by means of an electronic device operating in active mode and applied in radio range meters, radiolocation explosives, aircraft altitude meters and in other means (there is no big importance of direction to a target).

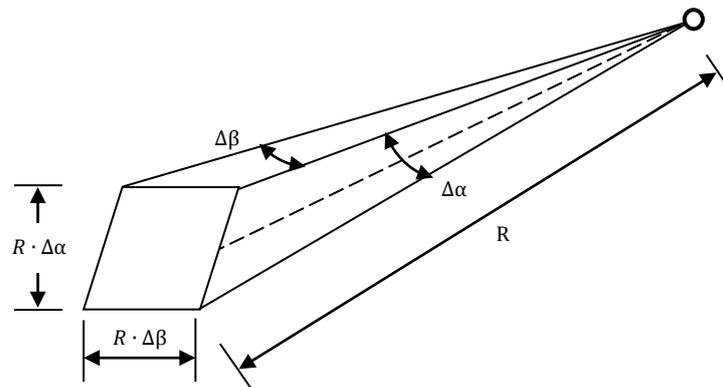
In most cases, to see space, antenna orientation diagram should be led to a wider field. Because of this, vision on the direction should be within the limits of given field. The following are the basic requirements for radar vision systems not to let the targets pass during vision, to provide given tactical parameters in RADAR (ability of distinction and accuracy according to vision

and angle coordinates), the simplicity of a device, relevant sizes and weight, as well as a high reliability of the system providing vision.

In order to provide such complicated and controversial requirements, projected RADAR-s can be mono-ray and multi-rayed. In mono-ray RADAR an antenna device generates only one ray and moves in space according to implemented vision method. Therefore, it is impossible to perform instant vision in such RADAR. In comparison with multi-rayed RADAR where the antenna device generates more than one ray, due to the formation of a large number of rays, at mono-rayed RADAR, the time of space vision is relatively less. It is possible to carry out instant or parallel vision in space with help of multi-ray RADAR. The following features are the basis of radar vision methods:

According to the number of rays formed by the vision system RADAR –s are mono-ray and multi-ray according to the number of space satellites (rotation of the ray formed by antenna device).

It should be taken into account here, that the signals generated by the waves reflected from various target which are located at the same distance from reception center, are influencing on an input of the receiver at any given moment. The reception of the reflected radio waves by an antenna is carried out within a certain spatial angle  $\Delta\Omega$ . For evaluating this spatial angle, two flat angles  $\Delta\alpha$  and  $\Delta\beta$  located on its interaction perpendicular cuts can be used. (Picture 2)



Picture2 Reception of radio-waves with antenna.

The value of flat angles  $\Delta\alpha$  and  $\Delta\beta$  is determined by radio  $\lambda/d$ , here  $\lambda$ -wave length,  $d$ - antenna dimensions on the appropriate cut.

Thus, the currents in antenna output are generated due to electrical and magnetical currents reverberated by the wave placed in distance  $R$  from the antenna and fallen on rectangular area with linear dимensions  $R\Delta\alpha \cdot R\Delta\beta$ . The angles  $\Delta\alpha$  and  $\Delta\beta$  together with them form angle minute for large radiolocation stations. This value is equal to  $\lambda/d(3 \div 5)10^{-3}$  value of ratio. The dимensions of rectangular area are within the limits of 400-600 m for values shown in the distance 50 km from antenna. This sample concerns huge and rare antennae. As regards other antennae operated in santimeter diapazon,  $\lambda/d$  ratio is within the limits of approximately  $(3 \div 5)10^{-2}$  i.e. one power of given examples is bad. If the optical diameter is 1 sm, then sought-for ratio is within the limit of  $10^{-5}$  and for this reason the dимensions of viewing area are principally different for optics. It should be noted that all objects located in one direction within the limits of  $c\tau/2$  distance, are accepted as one object by an observer, here  $c$  - lightening speed,  $\tau$  is duration of sensing impulse. To clarify it, let's look at numerical calculation of this quantity.

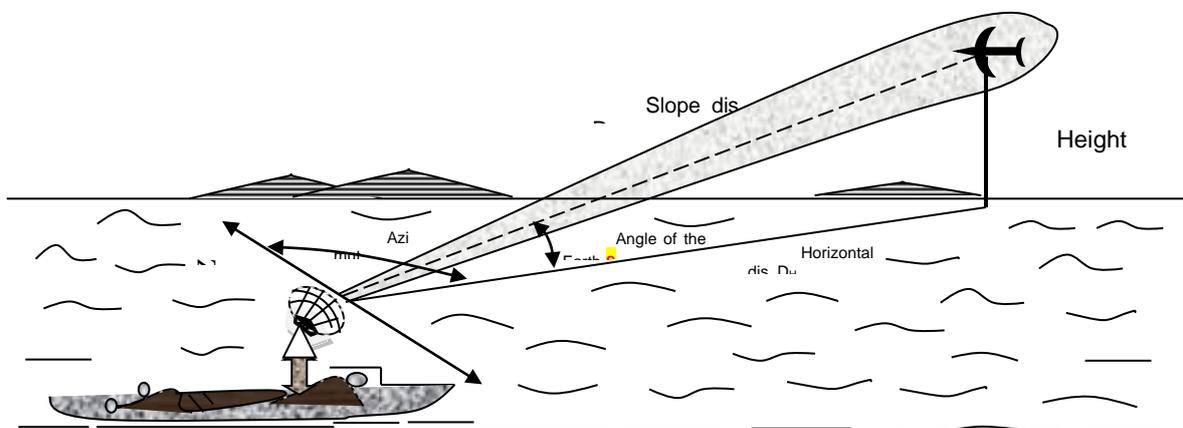
The duration of sensing impulse for "Simple" radio locator is within the limit of  $\tau = 1mks$ . In this case,  $\frac{c\tau}{2} = 150 m$ , - is rather large value.

The parallelepiped with dимensions  $R\Delta\alpha \cdot R\Delta\beta \cdot c\tau/2$  is called distinctive volume and distinctive element. All objects inside this parallelepiped are accepted as one target.

The decrease of distinctive volume, i.e. the problem of improvement of distinctive capability is a main problem of radiolocation. But even within constant distinctive element, the additional facilities are available for improvement of detection of radiolocation targets located in it. The polarization type which has enough efficiency to improve distinctive capabilities can be displayed. They have the following essence. As far as the polarization of irradiated radio wave changes, the power of reflected radio wave changes too. It is clear that such polarization type could be chosen for constantly sensing radio waves, so that ratio of radio wave powers reflected by applied target and background objects located in the distinctive volume would be maximum. Theoretical reports and experimental researches show that for many occasions, it is possible to increase radiolocation contrast 5-8 dB, in some cases 20 dB and much more.

**The determination of the parameters of the necessary detectable targets**

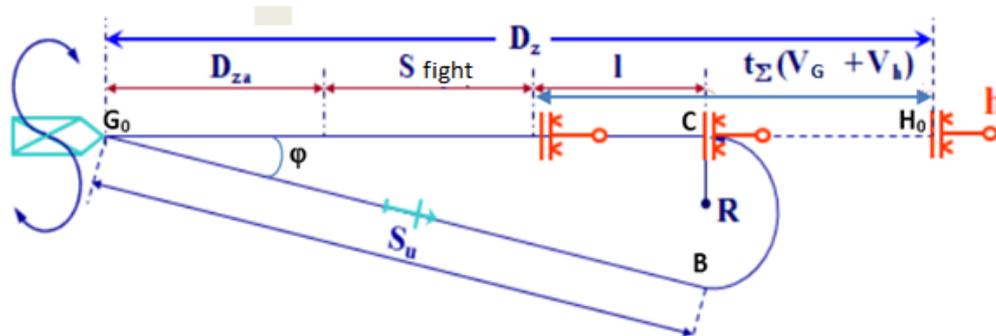
So far, according to radar stations, immutable targets have been mentioned. During their movement, the reflected signal has different frequency according to a dual signal. This difference is proportional to the ratio of the target speed to the wavelength of the radial organizer. (Picture 3).



Picture 3. Forming of the observation

To organize the application of radio technical surveillance on ships, some of the following actions should be taken, It means that the organization of observation on surface ships depends on the tasks that the ship carries out, lack of observation power and facilities, sailing and vision conditions and the options of sudden enemy attack from any directions should be identified. Study of military training methods, the analysis of development level of modern weapons, as

well as the experience of military specialists provide the basis that the organization of sudden attack, accuracy of movement and high speed of operations form the base of military activities. Acceptance of results of active means by the leadership and giving orders to the executives refers to the requirements for management systems in combat activities as soon as possible.



Picture 4. Targeting scheme

These requirements are very important during organization of radio technical surveillance on ships. While calculating ( $Dz$ ) air targets for fighter targeting RADAR, enemy aircraft should be detected from certain distance to provide effective use of our fighters on time. There are some targeting options for fighters that have crossing courses [2] and rear hemisphere shape. One of them is a rear hemisphere option which takes much time is a main issue of  $Dz$  calculation for this case. From the points  $G_0$  and  $h_0$  happens our approaching to enemy aircraft. To reach zenith fire of enemy aircraft, it takes a certain amount of time for conducting the combat and flying the fighters.

$$t_{\Sigma} = t_{det} + t_{tme} + t_{des} + t_{tam} + t_{con} + t_{turn} \quad (2)$$

-here:  $t_{det}$  - time spent for enemy detection, recognizing, classification and report;  $t_{tme}$  - appointed time for element of target movement (second class classification and report);  $t_{dec}$  - time to evaluate the situation and make a decision by the command;  $t_{cal}$  - time of calculations for targeting;  $t_{tam}$  - time of maneuvering aircraft toward convergence course;  $t_{con}$  - time in the convergence course;  $t_{turn}$  - time of turning from convergence course to a fire point.

$t_{\Sigma}$  All included times (except last two) are based on experience, but calculated with times  $t_{con}$  and  $t_{tum}$ .  $t_{tum}$  The way spend for turning is equal to a half of the circle, then

$$t_{tum} = \frac{\pi R_v}{V_v} \quad (3)$$

Here  $R_v$  - turn radius (virage),  $V_v$  - turning speed (virage).

$$D_z \geq D_{ZA} + (V_g + V_h) \cdot t_{fight} + t_{\Sigma}(V_g + V_h), \quad (4)$$

Here:  $D_z$  - necessary distance,  $D_{ZA}$  - necessary detection distance.

Obtained formula will let us calculate the necessary detection distance for fighters. Based on the formula (4), we can find out the observation distance of radar stations on ship combinations.

Thus, during the organization of radio technical surveillance system on ships, the automation of management of battlefield surveillance systems in the Air Attack Protection Forces lets us detect an enemy, recognize him, determine the time spent for his classification and report and movement elements of targets, evaluate observational conditions and take correct decisions by the command, make calculations for targeting, reduce the timing of the transfer of the information about ship battles to radiotechnical surveillance units.

#### Literature

1. Radio engineering systems. Ed. Y.M. Kazarinova. -M.: Publishing Center "Academy", 2008. 12p
2. A.M. Paşayev, N.C. Hacıyev, R.N. Nəbiyev, V.Z. Sultanov "Hava hərəkətinin idarəsinin radiolokasiya sistemləri" Bakı, 2005, səh 47-48
3. Gənciyev A.Ş. " Radiotexniki sistemlərin əsasları" - Bakı, AAHTM, 2009, səh 143-144
4. İsayev R. M., Rüstəmov Ə. R., Qurbanov M. Ə., Bəbəşov E. H. "Radiotexniki müşahidənin nəzəri əsasları" Bakı 2020. səh 46-50
5. Rüstəmov Ə.R. Gəmi radiolokasiya siqnallarının aşkarlanmasında statistik hipotezlərin yoxlanılması məsələləri. Bakı, Elmi əsərlər № 4 AzTU, 2018, səh. 100 - 104.

---

## МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ

---

*Кадиров Ё.Б., Самадов А.Р.,  
Абдуллаева Д.А., Рахимова М.Ю.  
Навоийский государственный горный институт,  
Узбекистан*

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются основы управления динамическими объектами для обработки информации на примере теплиц. Особое внимание уделяется на параметры микроклимата: температура и влажность. Создан алгоритм управления при неопределенности информации.

**Ключевые слова:** Мониторинг и управления, облачные технологии, контроль микроклимата, контроллер, влажность.

### Вступление

Теплица — это сельскохозяйственная технология для защиты растений от неблагоприятных погодных условий, при этом теплица сможет поддерживать и распределять температуру, влажность почвы, солнечный свет и влажность воздуха равномерно с оптимальным уровнем. Тем не менее, условия окружающей среды внутри теплицы всегда будут меняться из-за влияния погодных условий за пределами теплицы, которые являются неопределенными, поэтому существует необходимость в мониторинге, чтобы растения внутри теплицы могли расти оптимально.

Способность эффективно и точно управлять орошением тепличных культур имеет растущий интерес для коммерческих производителей. Растущие расходы и ограниченная доступность рабочей силы создает необходимость создание системы управления более тонким образом для повышения эффективности растениеводства. Современные методы орошения должны быть адаптированы для включения технологии такие как нейронные сети и системы управления с обратной связью. От использования системы управления в теплице зависит урожай и условия окружающей среды теплицы, которые могут подвергаться изменения микроклимата

### Методы исследования

Повышение энергоэффективности с помощью интеллектуальных систем открывает важные

промышленные перспективы. В эпоху промышленной революции 4.0 различные виды общественной деятельности, образование, сельское хозяйство и так далее всегда связано с использованием автоматизированных систем, которые интегрирован с интернет-сетью. Эта эпоха внесла много изменений, что касается Основная цель применения данной технологии - выполнить оптимизацию в виде: повышение урожайности и эффективное использование имеющихся ресурсов. Погода меняется экстремальные условия - одна из причин низкой производительности в сельском хозяйстве, как продовольственные культуры и садоводство. Непредсказуемые погодные условия часто вызывают затруднения определить время посадки и сбора урожая.

Для управления микроклиматом теплицы играет важную роль параметры как температура и влажность. Влажность — это концентрация водяного пара, присутствующего в воде. Водяной пар, есть газообразная форма воды, обычно невидимая для человеческого глаза. Для эксперимента выбран датчик влажности DHT11. Потребление тока при измерении от 1 до 1,5 мА. Потребление тока в режиме ожидания от 40 до 50 мА. Цифровой выходной сигнал по единой шине со скоростью 5 мс / операцию. Чувствительность 0,1% для измерения температуры и влажности.

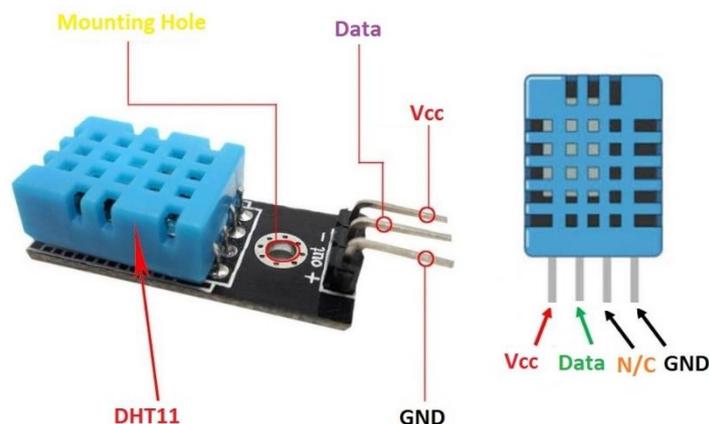


Рисунок 1. Датчик температуры и влажности DHT11.

Это исследование проводилось в несколько этапов, в том числе:

- Анализируя проблему, анализ потребности тепличной системы.
- Изготовление инструментов с использованием контроллера вместе с датчиками DHT11 и емкостным грунтом.

- Программирование с использованием контроллера и датчика влажности.

- Выполните тестирование инструментов, созданных с подключением к Интернету.

Созданный проект служит для мониторинга влажности в теплицы и передаёт информацию через облако на смартфон пользователя Рисунок 2.

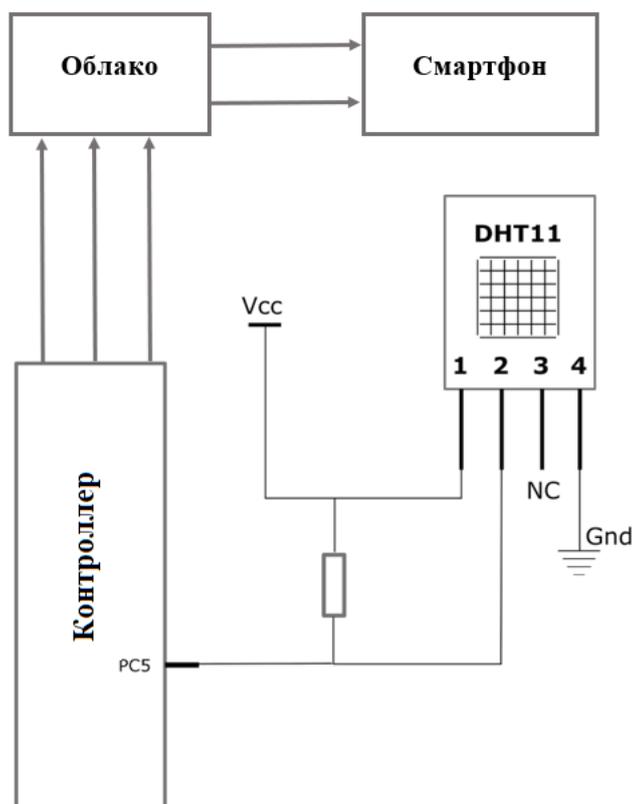


Рисунок 2. Схема мониторинга влажности в теплице с помощью “Облачного сервиса”

Все компоненты тщательно интегрированы друг с другом и подключился к облачному серверу. Затем проводится общая проверка:

система может работать нормально. По результатам этого общего теста установлено, что программа установленный в облако, который

используется в качестве контроллера, может хорошо работать и может работать автоматически путем считывания значений температуры и влажности теплицы, параметры, которые были установлены, если значения температуры и влажности превышают значения предварительно

установленный, облако будет работать, чтобы обеспечить запотевание насадки, чтобы температура и влажность воздуха в теплице стали более стабильными. Контроллер может хорошо работать, так что он может регулировать температуру и влажность в теплице.

Облачный сервис будет автоматически сдавать сигналы, если влажность составляет 50% и прекращается работа при влажности 80%.

#### Результаты

Система теплицы имеет 2 функции, а именно: определение температуры и

влажность помещения теплицы с датчиком DHT11. Если температурный режим в тепличном помещении превышает максимальный порог, установленный в приложении на Смартфоне, сопло будет опрыскивание тепличного помещения до тех пор, пока влажность не достигнет параметра влажности и нормальная температура, установленная в приложении. Что касается условия влажность почвы в теплице будет считывать значение влажности, если значение влажности ниже 50%, тогда насос будет пропускать воду через капли до тех пор, пока влажность почвы достигает 80%. Также будут отображаться результаты значений температуры и влажности на Смартфоне.

При этом контроллер будет контролировать, считывает ли датчик DHT-11 значение. Влажность в теплице при значении <60%, форсунка будет работать автоматически, однако, если значение влажности в тепличном помещении <= 85%, форсунка будет выключаться.

#### Заключение

После тестирования датчика DHT11 и облачного сервиса в теплице, можно сделать следующие выводы:

Система мониторинга оборудования для облачного контроля теплицы сделаны с датчиком DHT11 и имеет функцию считывания влажности и температуры в помещении и в теплице. А контроллер отвечающая за отправку данных можно

выбрать как Атмегу или же готовую плату Ардуино. Рассчитанные данные контроллером будет отображаться в приложении на Смартфоне в реальном времени.

Система мониторинга оборудования для контроля температуры и влажности в теплицах с Облачным сервисом в своей реализации заключается в использовании посаженных растений. Почва используется в различных условиях, а именно влажная, сухая и немного влажных. Для проверки датчика DHT11 датчик устанавливается в теплице, температуру и влажность в помещении можно увидеть на ЖК-экране OLED и в приложении.

#### Список литературы

1. Yusupbekov, N., Mukhitdinov, D., Kadirov, Y., Sattarov, O., Samadov, A. Control of non-standard dynamic objects with the method of adaptation according to the misalignment based on neural networks (2020) International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (9), No 62, pp. 5273-5278. DOI: 10.30534/ijeter/2020/62892020

2. Медведев А. Облачные технологии: тенденции развития, примеры исполнения // Современные технологии автоматизации. 2013. № 2. С. 6–9.

3. Леонов Василий Google Docs, Windows Live и другие облачные технологии; Эксмо - Москва, 2012. - 304 с.

4. Jumaev, O.A. and Sayfulin, R.R. and Samadov, A.R. and Arziyev, E.I. and Jumaboyev, E.O. Digital control systems for asynchronous electrical drives with vector control principle // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 volume 862, number 3

5. Y.B. Kadirov, S.B. Boybutayev, A.R. Samadov Mathematical modeling of a ball mill in gmz-2 ngmk based on the diffusion model // Chemical Technology, Control and Management 2020 (5), 46-53

УДК 004.89

ГРНТИ 28.17.31;29.03

---

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СОБЫТИЙ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА БАРОТЕРАПИИ

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1502

**Бондарчук Виктория Валерьевна**

канд. техн. наук,

зав. отделом распознавания зрительных образов,

**Кравченко Наталия Михайловна**

канд. техн. наук, с.н.с., с.н.с.,

отдел распознавания зрительных образов,

Донецкий институт проблем искусственного интеллекта

## INTERPRETATION OF SOFTWARE GENERATION EVENTS ENSURING THE BAROTHERAPY PROCESS

**Bondarchuk Victoria Valerievna**

candidate of technical sciences,

Head of the Visual Image Recognition Department,

**Kravchenko Natalia Mikhailovna**

*candidate of technical sciences,  
Senior Researcher, Senior Researcher  
visual recognition department,  
Donetsk Institute for Artificial Intelligence Problems*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается вопрос обработки событий на формах при генерировании программного обеспечения процесса баротерапии для экспертной системы с целью контроля параметров variability сердечного ритма, принятия решений при управлении режимами следующих сеансов с учетом предыстории. Основные формы. Обработчики событий на формах и некоторые функции. Схема движения данных в системе.

### ABSTARCT

This article discusses the issue of processing events on forms when generating software for the barotherapy process for an expert system in order to control the parameters of heart rate variability, making decisions when controlling the modes of the following sessions, taking into account the history. Basic forms. Form event handlers and some functions.

**Ключевые слова:** Обработка событий на формах, программное обеспечение, баротерапия, процесс взаимодействия гипербарического состояния и контролируемых параметров объектов

**Keywords:** Processing of events on forms, software, barotherapy, the process of interaction of the hyperbaric state and controlled parameters of objects

Институт проблем искусственного интеллекта имеет значительный опыт в разработке интеллектуальных систем, стратегий программных продуктов. Разработка прикладных программ представляет собой самую быстрорастущую и изменяющуюся технологию в современном деловом мире. Анализ мировой практики решения проблем процесса взаимодействия гипербарического состояния и контролируемых параметров объектов подтвердил актуальность исследований, заинтересованность ученых решением этой проблемы во всем мире [1 - 6].

Обработка сложных медицинских данных стало важной частью развития как медицинских, так и компьютерных наук. Развитие технологий и автоматизация позволяет сделать обработку значительно быстрее и точнее, чем вручную, а также не учитывать погрешности человеческого фактора, что значительно повысит шансы на успешное лечение больного. Программное обеспечение процесса баротерапии реализует функциональные возможности экспертной системы поддержки принятия решений для автоматизации процесса баротерапии (ЭС АБ): работу с базой данных, учет пациентов, их данных психологического тестирования, ведение курсов и сеансов для пациентов, реализацию стандартных операций по работе с БД – добавление, удаление, редактирование записей; проведение психологических тестов, с целью определения психологического состояния пациента; анализ файла данных кардиограммы и на ее основе вычисление параметров ВСР; построение дерева решений на основании накопленных данных о пациентах и нахождение с помощью него первоначального режима лечения; корректировку режима лечения перед каждым сеансом, с целью обеспечения наиболее подходящего лечения индивидуально для каждого пациента. База данных и модуль для взаимодействия с ней выполняют все базовые операции с базой данных: создание, чтение, редактирование, удаление сущностей

системы. Основой управления системой является интерфейс пользователя, с помощью которого пользователь управляет компонентами системы. С помощью интерфейса пользователя можно регистрировать пациентов в системе, проводить психологические тесты при помощи «модуля тестирования» и создавать курсы лечения для пациентов. Далее при создании первого сеанса врач, используя «модуль определения первоначального режима», может получить рекомендацию о начальном режиме лечения. По окончании сеанса при его сохранении будет вызван «модуль расчета параметров ВСР» и полученные результаты будут сохранены в базу данных. Он взаимодействует с файловой системой компьютера, где хранится набор бинарных файлов с кардиограммами. Данный модуль позволяет загрузить нужные файлы в систему из директории операционной системы и обработать их.

Схема обработки и передачи данных [7, с. 34 ], схема движения данных в системе (Рис. 1) отражает выполнение всех функциональных требований к системе во время сеанса баротерапии: данные о текущем состоянии пациента, полученные с приборов Cardio+; импортируемые БД Unicard; преобразованные данные о ВСР в ходе сеанса системой автоматизации баротерапии: данные для расчета параметров ВСР, результаты расчетов, средства визуализации (диаграммы, таблицы, рекомендации по лечению), экспорт данных о ВСР (\*.pdf, \*.xls).

Метод обработки событий в экспертной системе, основанный на фактах, включает Основные формы, Обработчики событий на формах и некоторые функции.

Form1. Главная форма.

FormShow() – обработка события открытия формы, настройка видимых элементов окна; miImportAccessClick() – обработка выбора пункта меню «Импорт из Access», вызов диалога открытия файла, затем вызов fmImportAccess() и miOpenPDXClick(); miOpenPDXClick() – запрос к

таблице Patients, выбрать всех пациентов, сортировать по Famil; miSelectPDXClick() – запрос к таблице Patients, выбрать всех пациентов с учетом фильтров, сортировка в заданном порядке; N1Click() – обработка события выбора пункта меню «Очистить», служебная функция очистки БД; N2Click() – обработка события выбора пункта меню «Все сеансы», вызвать окно просмотра данных о всех сеансах всех пациентов (fmAllSeances); SelDBLine() – при выборе пациента в списке пациентов выбрать из таблицы Monitor соответствующие сеансы (отображаются в списке сеансов пациента в правой части главной формы; btPDFClick() – обработка события нажатия кнопки

«PDF-файл», вызов процедуры сохранения данных о сеансе в формате PDF; BitBtn2Click() – обработка события нажатия кнопки «Excel», вызов MSExcelSave2 – сохранение в XLS всех сеансов пациента, выбранного в списке пациентов; DBGrid1DblClick() – обработка события двойного щелчка мыши на строке, соответствующей пациенту, вызов fmBaro – окно с полной информацией о пациенте: все регистрационные данные, все сеансы, информация о сеансах; ImpExcelClick() – обработка события выбора пункта меню «Импорт из Excel», импорт данных о сеансах из Excel. Вызов диалогового окна открытия файла



Рис. 1 Схема движения данных в системе

Excel, отображение окна с информацией о процессе копирования (fmImportExcel); btAllClick() – обработка события нажатия кнопки «Весь список», снятие фильтров просмотра пациентов; SpravPatientClick() – обработка события выбора пункта меню «Справочник пациентов», вызвать справочник пациентов fmSpravPatient; SpravDiagnozClick() – обработка события выбора пункта меню «Справочник диагнозов», вызвать справочник диагнозов fmSpravDiagnoz; SpravSeansClick() – обработка события выбора пункта меню «Справочник сеансов», вызвать справочник сеансов fmSpravMonitor.

fmImportExcel. Форма импорта данных о параметрах сеансов. ImExcel: процедура импорта данных; fmAllSeances – отображение всех сеансов всех пациентов (с возможностью установки фильтров); BitBtn3Click() – обработка события нажатия кнопки «По сеансу», вызов fmVCR; расчет параметров ВСП в ходе сеанса, представление результатов в виде диаграмм, сохранение в БД и в XLS; BitBtn2Click() – обработка события нажатия кнопки «MS Excel», вызов MSExcelSave2; сохранение в Excel всех сеансов, выбранных в этом окне, возможно, для группы пациентов; BitBtn1Click() – обработка события нажатия кнопки «Поиск», вызов fmSelectPDX для задания

фильтров, потом выполняется запрос на выбор данных из БД.

fmBaro. Вся информация о пациенте для просмотра и редактирования.

FormShow() – событие открытия окна, настройка видимых элементов окна, открытие таблиц, переход к записи о пациенте; btEditClick() – обработка события нажатия кнопки «Редактировать», редактирование режима работы барокамеры; btSaveClick() – обработка события нажатия кнопки «Сохранить», запомнить параметры барокамеры; btCancelClick() – обработка события нажатия кнопки «Отмена», отмена редактирования параметров барокамеры;

btEditPClick(), btSavePClick(), btCancelPClick() – переход к редактированию, сохранение изменений, отмена изменений данных о пациенте; Memo3Click() – обработка события нажатия кнопки «Динамика средних значений ВСП», расчет динамики средних показателей ExcelAverage; Memo1Click() – обработка события нажатия кнопки «Выбор параметров первого сеанса», выбор первоначального режима; Memo2Click() – обработка события нажатия кнопки «Выбор параметров следующего сеанса», выбор режима для последующих сеансов; Button1Click() – обработка события нажатия кнопки «Динамика сеансов».

- fmImportAccess. Импорт данных о пациентах и проведенных сеансах из базы данных Cardio+; btSaveClick() – обработка события нажатия кнопки «Импортировать», импорт данных и сохранение их в БД.

- fmImportExcel. Импорт из MS Excel данных о режимах работы барокамеры во время сеансов лечения; ImExcel() – импорт и сохранение в БД;

- fmNewPatient. Ввод данных о пациенте.

FormShow() – событие открытия окна, настройка видимых элементов окна. Открытие таблиц; bitBtnSaveClick() – обработка события нажатия кнопки «Сохранить», сохранение данных о пациенте в БД; bitBtnCancelClick() – обработка события нажатия кнопки «Отмена»; fmSelectPDX. Окно задания фильтров для ограничения выводимой информации; FormShow() – обработка события открытия окна, отображение в полях текущих значений фильтров; FormClose() – обработка события закрытия формы, если нажата ОК, запомнить новые значения фильтров; fmVCR. Расчет параметров ВСП в ходе сеанса, представление результатов в виде диаграмм, сохранение в БД и в XLS; FormShow() – обработка события открытия окна, настройка видимых элементов; Raschet() – расчет показателей ВСП и сохранение средних значений в Average; Raschet\_Din() – расчет динамики показателей в ходе сеанса; Raschet\_Reg() – расчет режима для следующего сеанса; btExcelClick() – обработка события нажатия кнопки «Сохранить в Excel», сохранение результатов по сеансу; btDinam() – обработка события нажатия кнопки «Расчет динамики»; btDiagr() – обработка события нажатия

кнопки «Диаграмма», построение диаграммы по результатам расчета.

fmSpravPatient, fmSpravDiagnoz, fmSpravMonitor – справочники пациентов, диагнозов, сеансов; FormShow() – обработка события открытия окна; настройка видимых элементов, открытие таблиц; FormClose() – обработка закрытия окна. Техническая реализация системы осуществлена в среде программирования Borland Delphi, для реализации запросов к базе данных применяется язык SQL. Для хранения данных используется СУБД Paradox 7.0. Проверка статистической значимости параметров, уровня достоверности. Автоматизированное рабочее место аутентификации медицинских услуг, система управления и принятия решений, система доступа к спецприложениям, система управления базами данных и принятия решений, визуализацию событий и другие медицинские результаты.

Интеллектуальная система успешно прошла экспериментальное внедрение [7, с. 34]. Функциональные возможности программного обеспечения позволяют осуществить сбор, обработку релевантной информации, формирование базы данных информации о пациентах и параметрах сеансов; на основе систематизации релевантных данных согласно алгоритму косвенной критериальности выбрать начальный режим баротерапии и выполнить прогноз динамики показателей варибельности сердечного ритма пациента для следующих сеансов баротерапии.

Научная новизна разработки заключается в принципах построения и реализации экспертной системы поддержки принятия решений для автоматизации процесса баротерапии, механизме оптимального взаимодействия, который устанавливает однозначную связь между информационной системой, объектом и контролируемой внешней средой для получения стабильных и однозначных характеристик системы, соответствующих гипербарическому состоянию объекта [6 - 8]. Предлагаемый подход обеспечивает точное отслеживание профиля давления, предысторию процесса баротерапии. Изменение режимов барокамеры в зависимости от реального состояния варибельности сердечного ритма позволяет уменьшить динамические действия процесса гипербарической оксигенации, исключить небезопасные тревожные ситуации или приостановить динамику процесса, и, тем самым, поддержать устойчивую работу системы с мощными инструментами лечения. Обеспечивается взаимная адаптация объекта, окружающей среды и измерительной системы. Применение интерактивных процедур обеспечивает взаимную адаптацию: эксперт адаптируется к данной многокритериальной задаче, а ее решение становится отражением индивидуальных его предпочтений, что позволяет свести задачу интеллектуального многокритериального решения к последовательности задач специально организованной серии альтернатив.

Новое решение существующей проблемы процесса баротерапии, созданное автоматизированное рабочее место врача доказательно имеет право принадлежности разработки к приоритетным направлениям развития научных исследований в медицине.

### Список литературы

1. Информатизация здоровья. Стандартный протокол коммуникаций. Часть 91064. Компьютерная электрокардиография (ISO 11073-91064:2009, IDT)

2. Lalaria Elena G. Principles for Implementing an Intelligent Decision Support System in the Barotherapy Process [Текст] / Lalaria Elena G., Bondarchuk Victoria V., Kravchenko Nataliya M. // The 5th International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education" (January 29-31, 2020) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2020. 884 p. – P. 114–116.

3. Бондарчук В. В. Методологические аспекты моделирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений для формирования режимов гипербарической оксигенации [Текст] / В. В. Бондарчук, Е. Г. Ладария, Н. М. Кравченко // The 6th International scientific and practical conference «Dynamics of the development of world science» (February 19-21, 2020) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. 1324 p. – С. 391–399.

4. Bondarchuk Victoria V. Generation of the Intellectual Decision-Making Software for Forming Hyperbaric Oxidation Modes Prospects for

Development [Текст] / Bondarchuk Victoria V., Lalaria Elena G., Kravchenko Nataliya M. // The 2nd International scientific and practical conference «Eurasian scientific congress» (February 24-25, 2020) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. 525 p. – P. 137–142.

5. Бондарчук В.В. Принципы построения и реализации экспертных интеллектуальных систем процесса взаимодействия гипербарического состояния и контролируемых параметров объектов. Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал №81/ декабрь 12 / 2020 – с. 16-21. DOI: 10.3168/ESU.2020.1.75.8282.

6. Кравченко Н.М., Ладария Е.Г., Ключанова Т.Д., Бондарчук В.В. Распознавание параметров variability сердечного ритма по кардиосигналу в процессе баротерапии [Текст] // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2020. – № 2 (17). – С. 28 – 35

7. Кравченко Н.М., Ключанова Т.Д., Бондарчук В.В., Гринцова А.А., Денисенко А.Ф. Экспертная система процесса баротерапии [Текст] // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2021. – № 2 (21). – С. 34 – 41

8. Bondarchuk V.V. "Theoretical aspects of rheocardiography visualization in expert barotherapy systems". Евразийский Союз Ученых. Серия: Технические и физико-математические науки. Том 1 №8(89) сентябрь, 2021 г. с. 3 - 5. DOI: 10.31618/ESU.2413 - 9335.2021.1.89

УДК 541.123

## ИЗОТЕРМА РАСТВОРИМОСТИ СУЛЬФАТ МАРГАНЦА - МОНОЭТАНОЛАМИН - ВОДА ПРИ 25°C

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1470

**Исабаев Зикрилла**

Канд.тех.наук, старший научный сотрудник  
Институт общей и неорганической химии АН РУз,  
Узбекистан, г. Ташкент

**Закиров Бахтияр Собиржанович**

Докт.хим.наук, профессор  
Институт общей и неорганической химии АН Руз  
Узбекистан, г. Ташкент

**Жуманова Миясар Ортиковна**

Докт. тех.наук,  
Институт общей и неорганической химии АН РУз.  
Узбекистан, г. Ташкент

**Исабаев Даврон Зикриллаевич**

Младший научный сотрудник,  
Институт общей и неорганической химии АН РУз.  
Узбекистан, г. Ташкент

**Жумадуллаева Сурайё Халиллуллаевна**

Младший научный сотрудник,  
Институт общей и неорганической химии АН РУз.  
Узбекистан, г. Ташкент

### АННОТАЦИЯ

Изотермическим методом изучена растворимость в тройной системе сульфат марганца - моноэтанолламин - вода при температуре 25°C. Равновесие в системе контролировалось анализом жидкой фазы. Истинное равновесие в системе устанавливалось в течение 7 часов. Новое соединение выделено в

кристаллическом виде и идентифицировано методами химического, графического, рентгенофазового и термического анализов. Установлено что новое соединение является кристаллическим веществом с индивидуальным набором межплоскостных расстояний и интенсивностей линий. Установлено образование нового соединения  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{MnSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , которое идентифицировано методами химического, графического и рентгенофазового анализов. Предварительные агрохимические испытания водного раствора нового соединения показали его положительные свойства как стимулятор.

#### ABSTRACT

Solubility in the ternary system manganese sulfate - monoethanolamine - water at 25°C was studied by isothermal method. The equilibrium in the system was controlled by liquid phase analysis. True equilibrium in the system was established within 7 hours. The new compound was isolated in crystalline form and identified by the methods of chemical, graphic, X-ray and thermal analyses. It was found that the new compound is a crystalline substance with an individual set of interplanar distances and line intensities. The formation of the new compound  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{MnSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  which was identified by the methods of chemical, graphic and X-ray analyses has been established. Preliminary agrochemical tests of aqueous solution of the new compound showed its positive properties as a stimulant.

**Ключевые слова:** изотерма, система, сульфат марганца, моноэтаноламин, растворимость, рентгенофазовый анализ, стимулятор.

**Keywords:** isotherm, system, manganese sulfate, monoethanolamine, solubility, X-ray phase analysis, stimulant.

Исследование взаимодействия этаноламинов и их производных с сульфатами микроэлементов с получением новых видов высокоэффективных экологически безвредных стимуляторов роста и развития растений имеют большой теоретический и практический интерес.

Проведенные ранние нами исследования и полученные результаты уже зарекомендовали себя в сельскохозяйственном производстве с положительной стороны, а потому дальнейшее развитие теории и практики получения и применения физиологически активных веществ на основе этаноламинов представляется нам перспективным. [1-3].

Исследована растворимость и взаимодействие в системе сульфат марганца - моноэтаноламин - вода при температуре 25°C. Равновесие в системе контролировалось анализом жидкой фазы. Истинное равновесие в системе устанавливалось в течение 7 часов. В качестве исходного вещества использовали перекристаллизованную соль - сульфат марганца марки «хч» и моноэтаноламин «ч» перегнанный.

Моноэтаноламин определяли титрованием 0,1 н раствором серной кислоты в присутствии метилово-оранжевого. Содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  определяли методом осаждения с последующим пересчетом на сульфат металла. [4-5].

Азот определяли по методу Кельдаля [6].

Изотерма растворимости системы сульфат марганца - моноэтаноламин - вода состоит из двух ветвей кристаллизации исходных компонентов. Первая ветвь соответствует кристаллизации в твердую фазу сульфата марганца пятиводного, а вторая отвечает новому соединению состава:  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{MnSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Образовавшееся соединение растворяется в воде конгруэнтно (рис. 1).

Концентрационные пределы существования нового соединения занимают на диаграмме большую область и находятся между 12,69-28,50 % моноэтаноламина и 8,72-59,86 сульфата марганца соответственно. Это дает возможность синтезировать соединение в широких пределах концентраций исходных компонентов.

Новое соединение выделено в кристаллическом виде и идентифицировано методами химического, графического, рентгенофазового и термического анализов.

Химический анализ  
 $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}\cdot\text{MnSO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ :

Вычислено, % : Найдено, % :

$\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$  – 22,93;  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$  – 22,56;

$\text{MnSO}_4$  – 56,77;  $\text{MnSO}_4$  – 56,98;

$\text{H}_2\text{O}$  - 20,30.  $\text{H}_2\text{O}$  - 20,35.

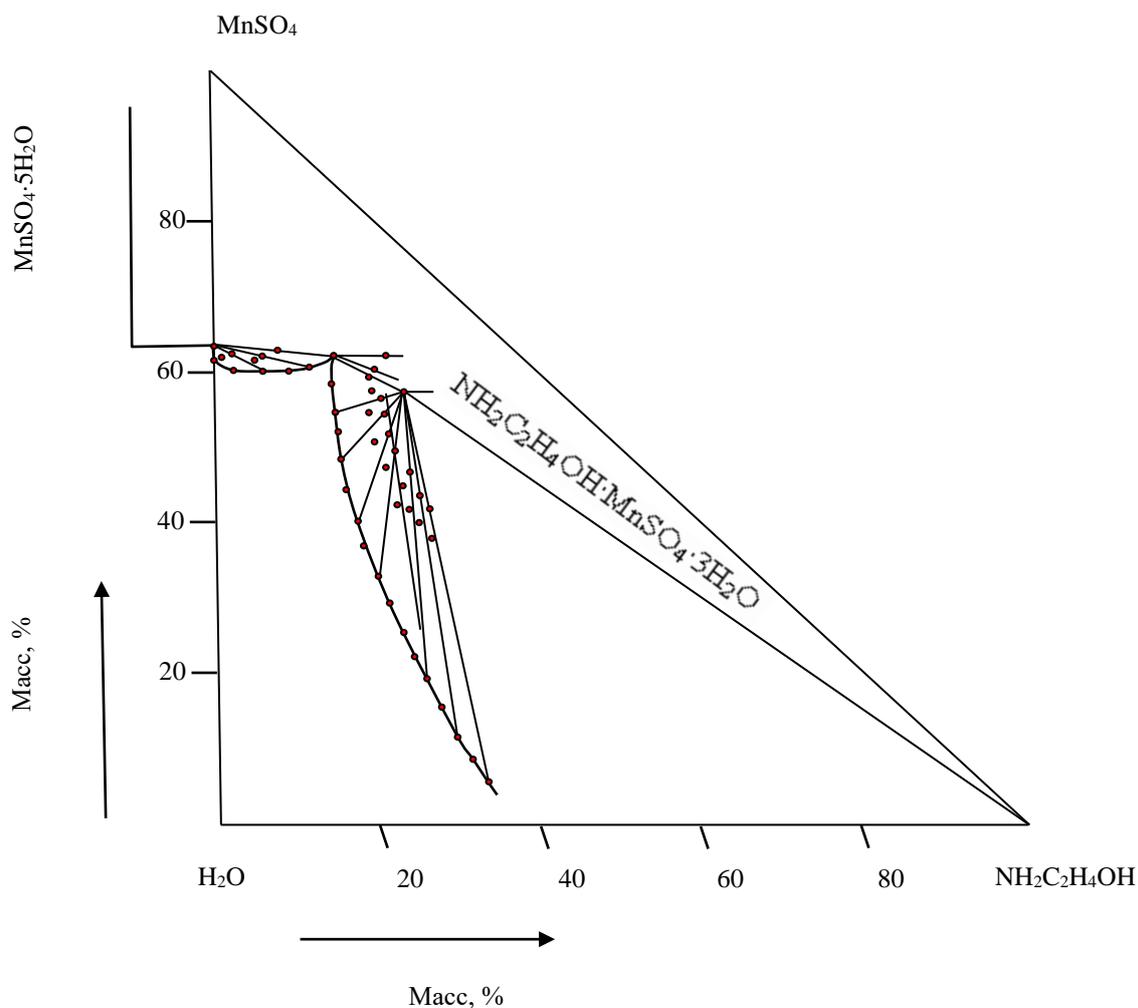


Рис. 1. Изотерма растворимости системы сульфат марганца - моноэтаноламин - вода при 25°C.

Рентгенограммы исходного и синтезированного нового соединения снимались на дифрактометре Дрон-3 при отфильтрованном медном излучении, напряжении 25 кВ, силе тока 8 мА, со скоростью движения счетчика 2 град/мин [7]. Данные по растворимости системы сульфат

марганца – моноэтаноламин – вода при 25°C показано в таблице 1.

Рентгенофазовый анализ показывает, что новое соединение является кристаллическим веществом с индивидуальным набором межплоскостных расстояний и интенсивностей линий (табл. 2).

Таблица 1

Данные по растворимости системы сульфат марганца – моноэтаноламин – вода при 25°C

№	Состав жидкой фазы, масс. %		Состав твердого «остатка», масс. %		Кристаллизующая фаза
	МЭА	MnSO <sub>4</sub>	МЭА	MnSO <sub>4</sub>	
1	-	62,10	-	62,80	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
2	2,44	60,24	1,32	62,09	--/--
3	6,12	60,38	1,66	62,51	--/--
4	9,27	60,43	4,14	61,90	--/--
5	11,49	60,47	6,15	62,76	--/--
6	14,58	61,62	7,93	62,78	--/--
7	14,63	61,70	21,18	61,85	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O + NH <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH · MnSO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O
8	14,69	61,74	19,93	60,37	--/--

9	14,72	61,76	18,77	59,28	$\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
10	14,78	58,53	19,50	59,46	--/--
11	15,19	55,30	20,85	56,52	--/--
12	15,49	52,41	19,26	54,80	--/--
13	15,43	48,53	21,08	54,65	--/--
14	16,91	44,48	19,97	51,13	--/--
15	17,82	40,89	21,55	52,18	--/--
16	18,04	37,10	21,24	47,44	--/--
17	20,16	33,36	22,28	49,87	--/--
18	20,93	29,51	22,35	42,60	--/--
19	23,14	26,37	23,17	45,12	--/--
20	24,43	22,30	23,48	41,98	--/--
21	25,20	18,96	23,51	46,93	--/--
22	27,47	15,58	25,06	40,19	--/--
23	29,39	12,36	25,20	43,95	--/--
24	31,32	8,50	26,73	38,10	--/--
25	32,90	6,42	26,60	41,98	--/--

Таблица 2

**Рентгенофазовый анализ исходного и нового комплекса  
 $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$**

№	$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$				$\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$			
	1	2	3	4	5	6	7	8
	d, Å	I/I <sub>0</sub>	d, Å	I/I <sub>0</sub>	d, Å	I/I <sub>0</sub>	d, Å	I/I <sub>0</sub>
1	7,66	10,96	1,634	15,85	11,30	79,331	1,854	27,59
2	4,91	60,98	1,616	18,29	7,35	31,03	1,833	34,48
3	3,82	14,63	1,598	9,76	6,02	51,72	1,799	34,48
4	3,50	100	1,577	8,54	4,91	34,48	1,774	37,93
5	3,37	42,68	1,537	8,54	4,37	31,03	1,701	34,48
6	3,14	62,195	1,482	12,195	4,54	48,28	1,674	37,93
7	2,58	47,56	1,424	6,097	3,79	37,93	1,659	41,38
8	2,42	9,76	1,301	10,96	3,70	58,62	1,571	41,38
9	2,36	18,29			3,06	100	1,537	41,38
10	2,25	23,17			3,00	89,66	1,463	27,59
11	2,14	15,85			2,82	41,38	1,344	27,59

12	2,10	17,07			2,60	27,59		
13	2,02	17,07			2,51	51,72		
14	1,972	9,76			2,42	44,83		
15	1,871	10,96			2,10	34,48		
16	1,747	9,76			2,01	34,48		
17	1,717	19,51			1,988	27,59		
18	1,675	9,76			1,967	27,59		

Основные межплоскостные расстояния сульфата марганца пятиводного имеют значения 4,91; 3,50; 3,14; 2,58; 2,25 Å с интенсивностью 61, 100, 62, 48, 20 соответственно. Для  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  характерными являются следующие дифракционные линии: 11,30; 6,02; 4,54; 3,70; 3,06 Å с интенсивностью 79; 52; 48; 59; 100 соответственно [7-9].

Таким образом, исследована растворимость в системе сульфат марганца – моноэтаноламин – вода при 25°C. Установлено образование нового соединения  $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \cdot \text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , которое идентифицировано методами химического, графического и рентгенофазового анализов. Предварительные агрохимические испытания водного раствора нового соединения показали его положительные свойства как стимулятор.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леопольд А. Рост и развития растений. М.: Мир, 1968. 99с.

2. Химическая регуляция роста и развития растений. Рига: Зинайте. 1969. 13с.

3. Исабаев З., Зокиров Б.С., Исабаев Д.З. Изотерма растворимости системы сульфат кобальта - фосфатэаноламин - вода при 25°C. Химический журнал Казахстана. 2007. №3. С. 114-118.

4. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. Москва. «Химия», 1975. 207с.

5. Vlagrov R. J., Oruen Z.C. Mikrochimica. Acta. №4, 1971. 639с.

6. ГОСТ 20851.1-75 - ГОСТ 20851. 4-75 Удобрения минеральные. Методы анализа. Москва. Переиздание. Август 1986. С. 10.

7. Зевин Л.С., Завьялова Л.Л. Количественный рентгенофазовый анализ. Москва. Недра, 1974. С. 184.

8. Гиллер Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний. Москва. Недра, 1966. №1. С. 362.

9. Ефимов А.И. и др. Свойства неорганических соединений. Справочник. – Л.: Химия, 1983, 392 с.

UDK:621.314

#### ANALYSIS OF THE PROCESSES OF OCCURRENCE OF SUBHARMONIC COMPONENTS IN CONTACT POWER SUPPLY NETWORKS WITH NONLINEAR LOADS

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1469

**Jurayeva Kamila Komilovna**

*PhD, Doctor of Philosophy in Technical Sciences*

*Associate Professor, Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent*

**Iksar Elena Vladimirovna**

*Senior Lecturer, Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent*

**Khalilova Iroda Fakhriddinovna**

*3rd year student of the Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent*

#### ABSTRACT

The article considers the calculation of the modes of occurrence of subharmonic components in traction power supply networks of railway transport, containing traction converters, controlled and uncontrolled rectifiers. The processes of the appearance of harmonic components during the operation of electric locomotives with zone-phase and pulse control using a four-quadrant 4q-S converter in power circuits are considered. Harmonics related to the fundamental and subharmonic components are determined by the harmonic balance method.

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен расчет режимов возникновения субгармонических составляющих в тяговых сетях электроснабжения железнодорожного транспорта, содержащих тяговые преобразователи,

управляемые и неуправляемые выпрямители. Рассмотрены процессы возникновения гармонических составляющих при эксплуатации электровозов с зонно-фазовым и импульсным управлением с помощью четырёхквadrантного преобразователя 4q-S в силовых цепях. Методом гармонического баланса определены гармоники, относящиеся к основной и субгармонической составляющим.

**Keywords:** Subharmonics, zone-phase control, pulse control, harmonic balance, four-quadrant 4q-S converter, direct controlled converters.

**Ключевые слова:** Субгармоники, зонно-фазовое управления, импульсное управление, гармонический баланс, четырёхквadrантный преобразователь 4q-S, преобразователи с прямым управлением.

An increase in the speed limit of railways and the widespread introduction of traction rolling stock with frequency converters increases the negative effect of traction loads on the quality of electricity, which consists in distortion of the sinusoidal shape, deterioration of voltage symmetry. The non-sinusoidal voltage depends on the frequency characteristics of the network [13]. Electric power systems with AC traction load have the peculiarities that the AC electric rolling stock is a powerful single-phase non-linear load that has a negative impact on the quality of power. Rolling stock converters consist of a mains current rectifier with a switching frequency that is not a multiple of the supply frequency. Changing the mains voltage is converted into voltage with adjustable amplitude and frequency, PWM-modulated circuits emit current components at the control frequency of the microprocessor. Their range lies in the range from several hundred hertz to tens of kilohertz. In AC electric locomotives, a single-phase bridge circuit is used as a rectifier, implemented on the basis of power thyristors. Controlled converters in the process of commutation cause distortions of the consumed current shape, therefore, odd harmonics prevail in the spectrum of the current consumed by the electric rolling stock [9]. Non-sinusoidal currents cause voltage distortions on the current collectors, as well as on the 110 (220) kV buses of the external power supply system. When operating electric locomotives with zone-phase and pulse control and control using a four-quadrant 4q-S converter, autparametric oscillations occur in the power circuits. A low power factor of a converter

increases power losses and voltage drops in networks [11].

In electric power systems with traction loads, the contact network behaves like a distributed line. Wave processes in the traction power supply system are accompanied by resonance phenomena that cause significant distortion of the voltage curve. The variable nature of the traction loads, the change in the operating mode of the electric rolling stock, the constant movement, the change in the number of locomotives are characterized by significant fluctuations in active and reactive power, which causes dips and surges in the supply voltage. At industrial frequency, an alternating current contact network can be considered as a lumped-parameter circuit [12,5,7]. However, at frequencies exceeding 500 Hz, the wavelength of voltage or current harmonics becomes comparable to the length of the traction network, therefore, when analyzing electromagnetic processes at harmonic frequencies, it is necessary to take into account the distributed nature of the traction power supply system. In frequency converters with voltage control, the characteristic harmonics of the converter dominate. The lateral frequencies are determined by the number of transducer pulses; lateral subharmonics appear around the odd harmonics. Numerical determination of harmonics from the supply current and subharmonic values requires an accurate analysis of the characteristics of each specific converter. Each specific harmonic of the order has its own lateral nonspecific components. 2 shows the spectrum of frequencies adjacent to each odd harmonic.

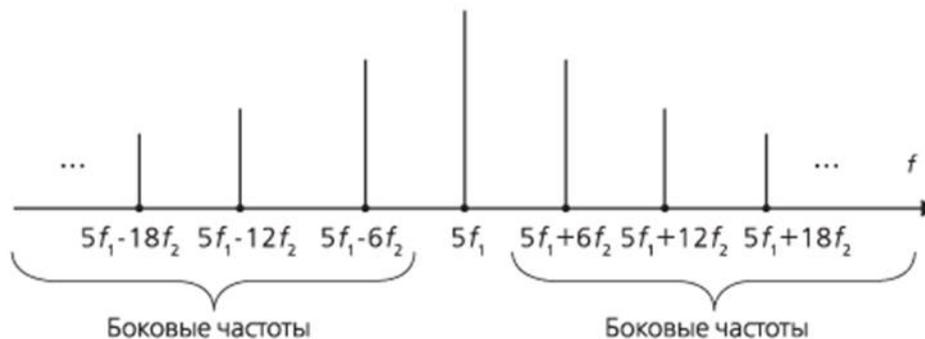


Figure 1 The spectrum of harmonic frequencies adjacent to the fundamental harmonic pulse converter

The current components associated with the load are also present in the DC linking circuit and are therefore transferred to the supply side. These components are subharmonics and interharmonics in relation to the fundamental frequency. The harmonic composition of the input current  $i_0(t)$  is represented as

an equation of dynamic equilibrium of a multicircuit circuit:

$$i_{l1} + i_{c1} + i_{g1} = i_{l2} + i_{c2} + i_{g2} = i_0(t) \quad (1)$$

since the circuit is powered by a voltage source  $U_0$ , it does not contain any harmonics, except for the fundamental one. equation (1) can be considered as the equation of connection between two variables  $\Psi_1(t)$  and  $\Psi_2(t)$ , which contain in their harmonic composition both the main and subharmonic components of oscillations. Current  $i_0(t)$  can be polyharmonic, voltage [10,4,15]. The subharmonic

components of the flows are mutually compensated. In the mode of excitation of autoparametric oscillations, the fundamental harmonic and the subharmonic component of the flows  $\Psi_1(t)$  and  $\Psi_2(t)$  mainly take place, the solution to the differential equation of the electrical equilibrium of the circuit has the form:

$$\Psi_1 = \Psi_{11} \sin(\omega t + \varphi_1) + \Psi_{1/n} \sin\left(\frac{\omega t}{n} + \theta\right) \tag{2}$$

$$\Psi_2 = \Psi_{21} \sin(\omega t + \varphi_2) - \Psi_{1/n} \sin\left(\frac{\omega t}{n} + \theta\right) \tag{3}$$

Where  $\Psi_{11}$  and  $\Psi_{21}$  are the amplitudes of the first harmonics of the fluxes in the cores of the first and second nonlinear ferromagnetic elements  $L_1$

$\Psi_{1/n}$  is the amplitude of the nth order subharmonic flux.

$\varphi_1$  and  $\varphi_2$  are the shifts of the initial phases between the first harmonics of the corresponding flows and the total current.

$\theta$  phase shift between the subharmonic flux and current  $i_0(t)$ ,

$n$  is the order of the required subharmonic.

Consider the mode of excitation of autoparametric oscillations at the frequency of the third subharmonic at  $n = 3$ . Then the solution to the differential equation has the form

$$\Psi_1 = \Psi_{11} \sin(\omega t + \varphi_1) + \Psi_{1/3} \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right) \tag{4}$$

$$\Psi_2 = \Psi_{21} \sin(\omega t + \varphi_2) - \Psi_{1/3} \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right).$$

Substituting the proposed solution into the original differential equation, after simple trigonometric transformations we have

$$\begin{aligned} & (-C_1\omega^2 + a + \frac{3b}{4}\omega_{11}^2\omega_{1/3}^2)\Psi_{11} \sin(\omega t + \varphi_1) + g_1\omega\Psi_{11} \cos(\omega t + \varphi_1) + \left(-\frac{C_1\omega^2}{9} + a + \frac{3b}{4}\Psi_{1/3}^2 + \right. \\ & \left. \frac{3b}{2}\Psi_{11}^2\right)\Psi_{1/3} \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right) + \frac{g_1\omega}{3}\Psi_{1/3} \cos\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right) + \frac{b}{4}\Psi_{11}^3 \sin 3(\omega t + \varphi_1) + \frac{3b}{4}\Psi_{11}^2\Psi_{1/3} \sin\left(\frac{5\omega t}{3} - \theta + 2\varphi_1\right) - \\ & \frac{3b}{4}\Psi_{11}^2\Psi_{1/3} * \sin\left(\frac{7\omega t}{3} - \theta + 2\varphi_1\right) + \frac{3b}{4}\Psi_{11}\Psi_{1/3}^2 \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \varphi_1 - 2\theta\right) - \frac{3b}{4}\Psi_{11}\Psi_{1/3}^2 * \sin\left(\frac{5\omega t}{3} - 2\theta + \varphi_1\right) - \\ & \frac{b}{4}\Psi_{1/3}^3 \sin(\omega t + 3\theta) = \left(-C_2\omega^2 + a + \frac{3b}{4}\Psi_{21}^2 + \frac{3b}{2}\Psi_{1/3}^2\right)\Psi_{21} \sin(\omega t + \varphi_2) + \frac{b}{4}\Psi_{21}^3 \sin 3(\omega t + \varphi_2) + \\ & g_2\omega\Psi_{21} \cos(\omega t + \varphi_2) + \left(\frac{C_2\omega^2}{9} - a - \frac{3b}{2}\Psi_{21}^2 - \frac{3b}{4}\Psi_{1/3}^2\right)\Psi_{1/3} \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right) - \frac{g_2\omega}{3}\Psi_{1/3} \cos\left(\frac{\omega t}{3} + \theta\right) - \\ & \frac{3b}{4}\Psi_{21}^2\Psi_{1/3} \sin\left(\frac{5\omega t}{3} + 2\varphi_2 - \theta\right) + \frac{3b}{4}\Psi_{21}\Psi_{1/3}^2 \sin\left(\frac{7\omega t}{3} + \theta + 2\varphi_2\right) - \frac{3b}{4}\Psi_{21}\Psi_{1/3}^2 \sin\left(\frac{\omega t}{3} + \varphi_2 - 2\theta\right) - \\ & \frac{3b}{4}\Psi_{21}\Psi_{1/3}^2 \sin\left(\frac{5\omega t}{3} + \varphi_2 + 2\theta\right) + \frac{b}{4}\Psi_{1/3}^3 \sin(\omega t + 3\theta) = i_0(t) \tag{5} \end{aligned}$$

Further, using the method of harmonic balance, we group the terms with the same trigonometric functions related to the fundamental and subharmonic

components of the third order [8,1,3.]. At the same time, discarding the higher and lower harmonic components, we have:

$$\begin{aligned} & \left(-C_1\omega^2 + a + \frac{3b}{4}\Psi_{11}^2 + \frac{3b}{2}\Psi_{1/3}^2\right)\Psi_{11} \sin(\omega t + \varphi_1) - \frac{b}{4}\Psi_{1/3}^3 \sin(\omega t + 3\theta) + g_1\omega\Psi_{11} \cos(\omega t + \varphi_1) = \\ & \left(-C_2\omega^2 + a + \frac{3b}{4}\Psi_{21}^2 + \frac{3b}{2}\Psi_{1/3}^2\right)\Psi_{21} \sin(\omega t + \varphi_2) + \frac{b}{4}\Psi_{1/3}^3 \sin(\omega t + 3\theta) + g_2\omega\Psi_{21} \cos(\omega t + \varphi_2) \tag{6} \end{aligned}$$

And (5) and (6) it can be seen that a steady-state mode is possible in the circuit when the subharmonic mode arises at  $\Psi_{1/3} \neq 0$ . Thus, in the load branches of the traction converters with oscillations the order of which is  $1 / 3.1 / 5.1 / 7$  etc. [13,14] subharmonics are formed. The existence of autoparametric oscillations at the frequencies of subharmonics is possible during the operation of electric locomotives with zone-phase control and control using a four-quadrant 4q-S converter, which cause voltage distortions and negatively affect the efficiency of the operation of the electric rolling stock.

#### REFERENCES

1. Arrilaga, J. Harmonics in electrical systems / J. Arrilaga, D. Bradley, P. Bodger: Trans. from English - M.: Energoatomizdat, 1990. - 320 p.
2. Bessonov, L. A. Theoretical foundations of electrical engineering / L. A. Bessonov - 11th ed., - M.: Gardariki, 2007. - 701 p.
3. Borodulin, BM Condensing installations of electrified railways / BM Borodulin, LA German, GA Nikolaev - Moscow: Transport, 1983. - 183 p.
4. Burman, AP Management of electricity flows and increasing the efficiency of electric power systems: textbook / AP Burman, Yu.K. Rozanov, Yu.G. Shakaryan. - M.: Publishing house MEI, 2012. - 336 p.
5. German, L. A. The quality of electrical energy and its increase in power supply devices / L. A. German // Russian State Open Technical University of Railways. Lecture notes. H 2. Moscow, 2005. p. 43
6. German, L. A. Principles of power selection and placement of capacitive compensation installations for increasing the voltage in the AC traction network / L. A. German, B. M. Borodulin - VNIIZhT Bulletin, 2012, No. 3. P. 29-35 ...
7. German, LA Regulated installations of capacitive compensation in traction power supply systems of railways: textbook. Manual / L. A. German, A. Serebryakov - M: FGBOU "Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport", 2015. - 316 p.
8. German, L. A. Efficiency of filter-compensating devices in AC traction network / L. A. German, A. S. Serebryakov, V. P. Goncharenko, A. V. Mizintsev - Bulletin of VNIIZhT, 2013, No. 1. C. 56-61.
9. Burkhanhodzhaev A.M., Berdiev U.T., Karimov R.Ch., Iksar E.V. The program for the minimum electrical power losses in the asynchronous traction motor of mainline locomotives. Electrical production, electrical technologies and electrical equipment of enterprises. Collection of scientific papers of the V International scientific and technical conference, 2020. pp. 45-48.
10. Burkhanhodzhaev A.M., Iksar E.V., Jurayeva K.K. Algorithm for reducing electrical losses in an asynchronous traction drive. International scientific and scientific-technical conference "Problems and prospects of innovative equipment and technologies in the agrarian and food sector" Tashkent 2020
11. Ermolenko D.V. Research of multifunctional compensating devices in operating conditions / D.V. Ermolenko, N.I. Molin, I.V. Pavlov - VNIIZhT Bulletin, 1991, No. 7, p. 44-47.
12. Zhelezko Yu. S. Power losses. Reactive power. Electricity quality: A guide for practical calculations / Yu. S. Zhelezko - M.: ENAS, 2009. - 456 p.
13. Zhezhenko, I.V. Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises / I.V. Zhezhenko - M.: Energoatomizdat, 2000. 331 p.
14. Zakaryukin V.P. Modeling of non-sinusoidal modes in power supply systems of railways / V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov // Bulletin of the Rostov State Transport University. - 2008. - No. 3. - pp. 93-99.
15. Zinoviev G.S. Fundamentals of power electronics/ G.S. Zinoviev - Novosibirsk: Publishing house of NSTU, 2000.

---

#### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1472

**Каримов Ташмухамед Халмухамедович**

*к.т.н., заведующий кафедрой «Водоснабжение и Водоотведение»  
КГУСТА им. Н. Исанова.*

**Каримова Малика Ташмухамедовна**

*аспирантка кафедры «Водоснабжение и Водоотведение»  
КГУСТА им. Н. Исанова.*

**Пак Сергей Борисович**

*магистрант кафедры «Водоснабжение и Водоотведения»  
КГУСТА им. Н. Исанова.*

**Абылов Эрик Абдырашитович**

*магистрант кафедры «Водоснабжение и Водоотведения»  
КГУСТА им. Н. Исанова.*

---

#### ECOLOGICAL AND SANITARY AND HYGENE SAFETY OF WATER SUPPLY SOURCES OF THE KYRGYZ REPUBLIC

**Karimov Tashmuhamed Halmukhamedovich**

*Ph.D., Head of the Department of Water Supply and Sanitation"KGUSTA them. N. Isanova*

**Karimova Malika Tashmukhamedovna**

postgraduate student of the department "Water Supply and Sanitation"  
KSUTA them. N. Isanova.

**Pak Sergey Borisovich**

Master's student of the Department of Water Supply and Wastewater Disposal  
of KSUTA named after N. Isanova.

**Abylov Erik Abdyrashitovich**

Master student of the Department of Water Supply and Wastewater Disposal  
of KSUTA named after N. Isanova.

## АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается проблема экологической безопасности а также качества питьевой воды и очистки сточных вод. Поднимается проблема снабжения чистой водой и канализования населенных пунктов и городов Кыргызской Республики. Антропогенное загрязнение природных вод. Не соответствующая очистка сточных вод и не удовлетворительное состояния очистных сооружений. Данное состояние дел в системе водоснабжения и водоотведения Кыргызской Республики требует разработки и внедрения новых передовых технологий по очистке природных и сточных вод

## ABSTRACT

This article addresses the issue of environmental safety as well as the quality of drinking water and wastewater treatment. The problem of supplying clean water and sewage of settlements and cities of the Kyrgyz Republic is raised. Anthropogenic pollution of natural waters. Inadequate wastewater treatment and unsatisfactory condition of sewage treatment plants. This state of affairs in the water supply and sanitation system of the Kyrgyz Republic requires the development and implementation of new advanced technologies for the treatment of natural and waste waters.

**Keywords:** environmental Safety, water resources, water sources, sewerage, water protection zone, bacterial contamination

В современном мире актуальность экологической безопасности уже давно признана и активно исследуется, а окружающая среда как предмет безопасности стала выделяться в связи с ее повсеместной деградацией. Решение проблемы безопасности является центральной стратегической задачей любого государства.

Специфические природные и климатические особенности Кыргызстана (рис. 1), а так же непродуманная хозяйственная деятельность

обусловили возникновение и нарастание экологических проблем. В районах, примыкающих к бывшим и действующим горно-металлургическим предприятиям отмечаются неблагоприятные демографические изменения, выражаемые в росте числа случаев заболеваний и нарушений генофонда, людей связанных с радиацией. Многие экологические проблемы связаны с загрязнением водных ресурсов Кыргызстана.

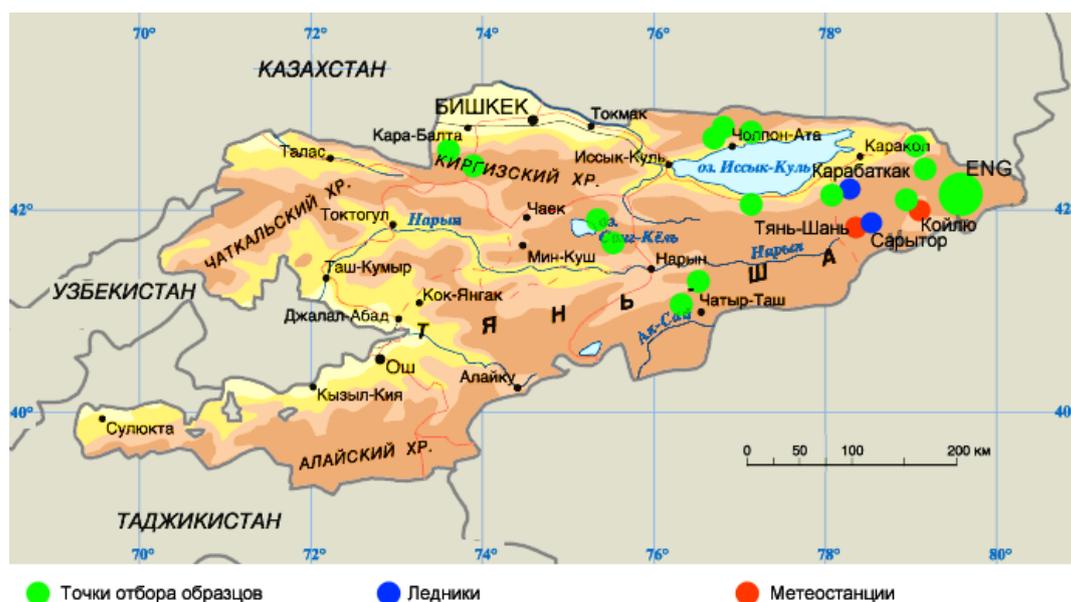


Рис.1 Карта Кыргызской Республики

Хотя большинство водных ресурсов Кыргызстана оцениваются как чистые, в последнее десятилетие наблюдается ухудшение качества воды из-за недостатка или неисправности

существующих систем водоотведения и водораспределения, что, в конечном счете, влияет на экологическую безопасность государства. Данная тенденция может усиливаться в

маловодные периоды, и с каждым годом дефицит будет ощущаться все больше.

Значительная часть забираемых вод в республике теряется при заборе воды из подземных источников и транспортировке ее по сети водоснабжения. Причина потерь заключается в неудовлетворительном техническом состоянии водораспределительных систем, износа оборудования. Существующие сети и сооружения и оборудования систем водоснабжения находятся в крайне низком уровне. И более 70 % из них нуждаются в срочной реконструкции и перевооружении. Следствием этого являются :

1. Значительные потери чистой воды при ее транспортировке потребителям (20-26 % от общего забора воды),

2. Ухудшение качества питьевой воды, появление вспышек инфекционных заболеваний.

В соответствии со стратегической целью в Кыргызской Республике принята программа «Питьевая вода» по которой к 2023 году должны быть обеспечены чистой питьевой водой все населенные пункты. Задачи развития водохозяйственного комплекса включают:

\* гарантированное обеспечение населения питьевой водой нормативного качества и развитие систем водоснабжения;

\* повышение эффективности использования подземных вод; - снижение и предупреждение негативного воздействия на водные объекты;

\* создание и освоение инновационных технологий, оптимизация работы насосов и насосных агрегатов с целью энергосбережения, водоподготовки, очистки сточных и коллекторно-дренажных вод, создание замкнутых систем водопользования;

Исследуя статистику и инфографику мы видим что почти 20-30% воды мы теряем при транспортировке - это местные потери и утечки за счет того что вся водопроводная сеть в г. Бишкек находится в плохом состоянии и на реконструкцию данных сетей требуются огромные вложения.

Для того чтобы данные проблемы решить, необходимо, четко понимать и следовать определенным, выверенным планам действий.

Необходимо менять установленные стандарты и нормы. Внедрять на законодательном уровне энергоэффективное и ресурсосберегающее оборудование, которое будет сокращать эксплуатационные затраты, а также иметь продолжительный жизненный цикл работы. (рисунок 1)

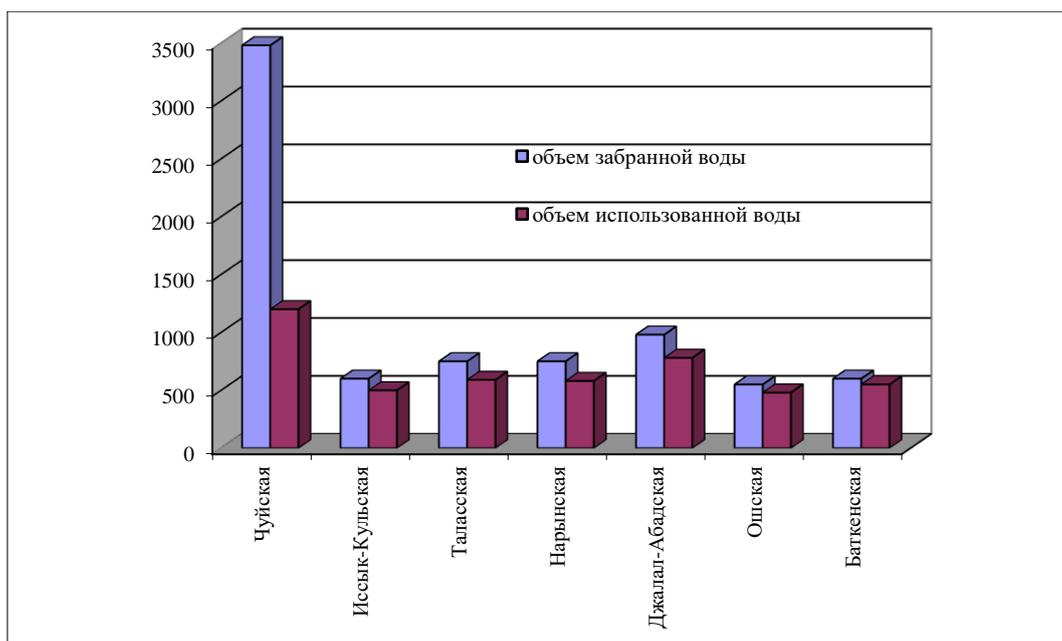


Рис. 1 - Забор и использование воды по областям Кыргызской Республики, тыс. м<sup>3</sup>

На большей части территории страны, подавляющая часть малых рек в долинной части практически непригодна для питьевых целей. Большинство малых городов республики не имеют централизованных канализационных систем и очистных сооружений. Фильтрация с полей при орошении за счет растворения удобрений и пестицидов, неорганизованные сбросы с сельскохозяйственных объектов, сбросные воды с полей являются основными источниками

загрязнения подземных вод и открытых водных объектов. [1]

Увеличение объема сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, неудовлетворительное хранение, обработка, утилизация промышленных и бытовых отходов, низкая культура сельскохозяйственного производства привели к локальным загрязнениям открытых водоемов и подземных вод республики, приведен на рисунке 2.

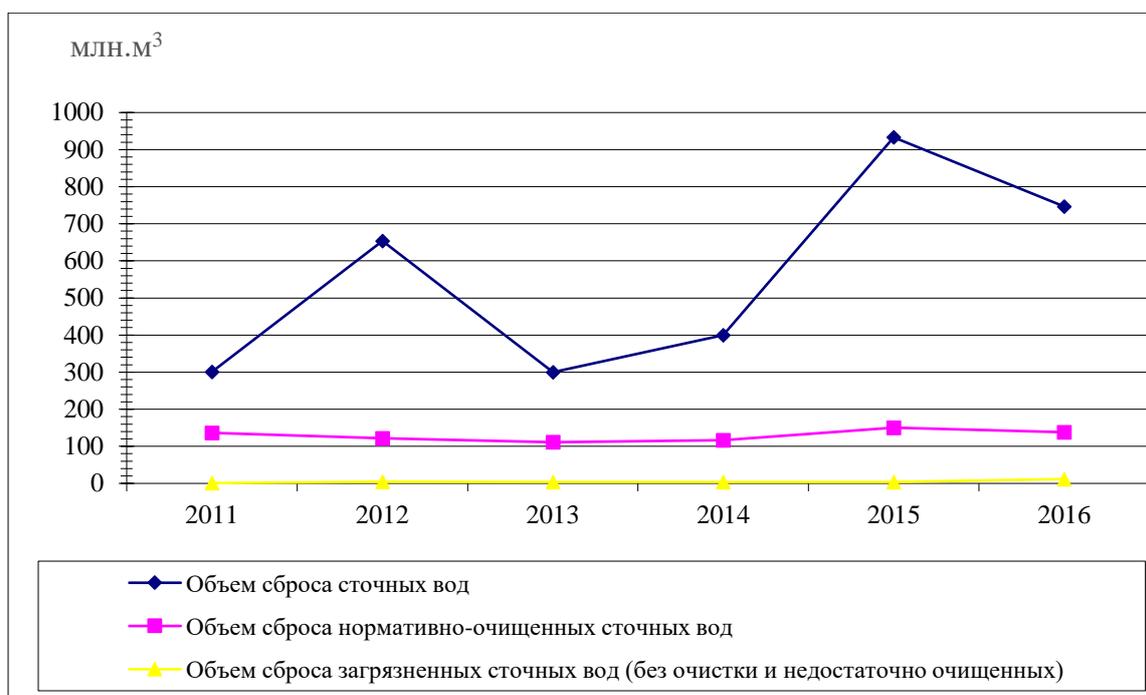


Рис.2 - Основные показатели, характеризующие сброс сточных вод (млн.м³)

В целом по республике из 350 сооружений по очистке сточных вод санитарным требованиям соответствуют лишь 105 (30%), совершенно не

выполняют свои функции 140 (40%). Очистные сооружения города Чолпон-Ата не работает биологическая очистка сточных вод на аэротенках.



Рис.3 Биологическая очистка воды очистного сооружения г.Чолпон-Ата

На городских очистных сооружениях города Джалал-Абад не работает биологическая очистка на биофильтрах.



Рис. 4 Распределительная чаша очистных сооружений биологических фильтров города Джалал-Абад

Более половины малых городов и областных центров не располагают централизованными системами водоотведения и станциями водоочистки, например, 35% населения города Кара-Балта, около 30% населения города Джалал-Абад, и только 13% населения в Нарыне. В

отдаленных горных селах население употребляет воду для питья прямо из рек, не зная о степени их загрязнения.

Данные сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты приведены в таблице 1

По территории, млн. куб. метров	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Кыргызская Республика</b>					
Баткенская область	-	-	-	0,2	0,1
Джалал-Абадская область	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4
Иссык-Кульская область	0,0	-	-	-	0,1
Таласская область	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Чуйская область	3,0	3,0	3,0	1,5	1,5
г.Бишкек	0,0	0,0	1,0	-	-

Ежегодно в поверхностные водные объекты республики отводится 900-1150 млн. м<sup>3</sup> различных стоков, из них 301-635 млн. м<sup>3</sup> сточных вод проходит биологическую, физико-химическую или механическую очистку. Без очистки в год сбрасывается в открытые водоемы и водотоки 0.42-0.75 млн. м<sup>3</sup> опасно загрязненных сточных вод. Содержание в них вредных веществ в десятки раз превышает установленные нормативы. Наблюдения республиканской санитарно-эпидемиологической станции (СЭС) показали, что 14% проб воды не соответствуют бактериологическим нормам, а 34% - физико-химическим нормам. [4]

Поступление в водные объекты органических загрязнений, нефти и нефтепродуктов, фенолов и других вредных веществ, связано с неэффективной очисткой городских коммунальных стоков, стоков предприятий мясомолочной, пищевой

промышленности, кожевенного и сельскохозяйственного производства, автотранспортных предприятий.

Еще одним фактором опасности экологической ситуации является то, что на территории Кыргызстана находится 92 объекта, в которых размещено свыше 250 миллионов м<sup>3</sup> тонн токсичных и радиоактивных отходов. Так как большинство из них расположено в конусах выноса и в поймах рек существует возможность их разрушения, что представляет угрозу окружающей среде. С активизацией в последнее время техногенных катастрофических явлений, оползневых, селевых, эрозионных процессов, угроза загрязнения ими поверхностных и подземных вод многократно возрастает.[4]

Существенным фактором, оказывающим негативное влияние на качество водных ресурсов, является неупорядоченная хозяйственная

деятельность в водоохраных зонах и полосах поверхностных водных объектов, а также неудовлетворительное состояние зон санитарной охраны месторождений подземных вод.

Заболеваемость детей до 14 лет в течение последних десяти лет составила 52 случая из 1000 человек. В основном, причинами летального исхода являлись - респираторные заболевания зимой, а также острые кишечные заболевания летом, причина которых кроется в плохом санитарном состоянии и загрязненных источниках открытой воды. Санитарное состояние

ухудшилось: школы, где ранее пользовались туалетами со смывом в канализационную систему (60 учащихся на 1 туалет), перешли на «туалеты» с выгребными ямами (500 учащихся на 1 туалет) с отсутствием возможности соблюдения личной гигиены (особенно для учащихся женского пола).

В таблице 2 представлена ухудшающаяся ситуация по сохранению здоровья населения, на примере младенческой смертности: именно уровни младенческой заболеваемости и смертности служат показателями здоровья жителей региона. [15]

Основные показатели здравоохранения

Таблица 2.1

	2011	2012	2013	2014	2015
Численность врачей всего тыс.	13,3	13,4	13,6	13,5	13,6
На 10 000 населения	24	24	24	23	23
Численность среднего медицинского персонала 1 - всего, тыс.	31,4	32,3	33,3	33,8	34,5
На 10 000 населения	57	57	58	57	57
Число больничных учреждений всего, тыс	177	177	179	182	181
Число больничных коек всего, тыс	27,6	27,7	27,6	27,6	26,9
На 10 000 населения	50	49	48	47	45
Число учреждений, оказывающих первичную медико - санитарную помощь, единиц	156	153	163	172	155
Число фельдшерско - акушерских пунктов, единиц	998	1003	1010	1020	1026

В последние годы так же начали проявляться основные показатели регресса, связанные с изменением климата. Вследствие этого происходит рост необеспеченности питьевой водой, разрушение экосистемы и повышается угроза здоровью населения.

Уже сейчас около 70% населения имеет проблемы с доступом к чистой питьевой воде. Самый высокий уровень бактериологического загрязнения водопроводной воды по республике наблюдается в Джалал-Абадской (28.3%), Чуйской (18.4%), Иссык-Кульской (19,3%) областях, а также в городах Ош (28,2%) и Каракол (33,8%). В Чуйской области наиболее высокий уровень бактериального загрязнения водопроводной воды отмечается в населенных пунктах Аламундунского (33%), Кеминского (20,2%) районов и города Токмок (13,2%) при среднем по республике – 9,8% .[2]

Результаты исследования Агентства Развития и инвестирования Сообществ в КР (АРИС), проведенного в 2013 году, показали, что только у 59.9 % сельского населения есть доступ к питьевой воде, так как из 1890 сельских поселений, 725 сел не имеют достаточного доступа к централизованному питьевому водоснабжению (в 267 селах водопроводы построены до 1960 года, в 458 селах - до 1980 года, в 396 селах водопроводы полностью отсутствуют).

Полный охват населения системой водопроводов отмечается только в городе Бишкек (81%), высокий, более 90 % — в Чуйской, Иссык-Кульской, Таласской областях, низкий — в

Джалал-Абадской, Ошской, наиболее низкий – в Баткенской, недостаточное количество водопроводов отмечено в городе Ош, и Нарынской области.

Все дело в том, что водоносная инфраструктура, заложенная еще в середине прошлого века, значительно изношена, а в большинстве селений пришла в негодность. Доступ к чистой питьевой воде существенно ограничен в связи, с чем увеличивается число заболеваний среди населения.

Одной из наиболее остро стоящих угроз экологии являются бытовые отходы. Следует отметить, что уборка твердых бытовых отходов в крупных городах (Бишкек и Ош) не отвечает санитарным и экологическим требованиям, нет технологии их промышленной утилизации. Так, на Бишкекском свалочном полигоне (проектная мощность 3,3 млн. м<sup>3</sup>.) в настоящее время складировано 24 млн. м<sup>3</sup>. отходов, что создает риск загрязнения подземных вод, питающих город Бишкек.[3]

В последние годы большинство случаев возникновения заболеваний, связанных с качеством питьевой воды, было зарегистрировано в сельских районах Кыргызской Республики, особенно в Южных регионах страны (Баткенская, Ошская, Джалал-Абадская области) и южной части Иссык-Кульской области (Тон, Джети-Огуз, Ак-Суу).

Среднереспубликанский показатель заболеваемости инфекциями общей кишечной группы держится на стабильно высоком уровне,

достигая в отдельные годы показателя от 332,4 на 100 тыс. населения до 490,2. Наиболее высокая заболеваемость зарегистрирована в Баткенской области (980 человек на 100 тыс. населения) и Джалал-Абадской (552,8), превысив показатель страны в целом в 1,8 раза.

Более уязвимыми слоями общества являются дети, пожилые и престарелые, больные люди. Ежегодно по республике официально регистрируется до 40 тысяч случаев заболевших кишечной инфекцией, из них более 80% заболевших это дети до 14 лет. Летальность

составляет от 150 до 300 детей до 14 лет жизни. Наибольшая летальность отмечается в областях южного региона (Ошская, Джалал-Абадская, Баткенская), на которые приходится 80-90% всех летальных исходов в республике.[3]

Среди болезней, связанных с качеством питьевой воды, - брюшной тиф, вспышки которого происходят в течение ряда лет в городе Майлуу-Суу и Ноокенском районе Джалал-Абадской области. Это обусловлено, главным образом, недостаточным доступом к безопасной питьевой воде.[15]

#### Заболеваемость населения инфекционными болезнями

Кишечные инфекции, случаев Таблица 2.3

	2011	2012	2013	2014	2015
Брюшной тиф паратифы	114	50	69	71	45
Сальмонеллезные инфекции	260	273	199	93	81
Острые кишечные инфекции, вызванные неустановленными возбудителями	18550	21665	18466	18606	17894
Гастроэнтериты, колиты, вызванные установленными возбудителями	8602	10444	9039	9819	9680
Бактериальная дизентерия	1354	1673	1540	1809	2131

#### Вирусный гепатит

Вирусный гепатит (включая сывороточный)	13 252	22 226	20 486	12 024	11 252
гепатит В	549	565	456	438	349
гепатит С	111	127	112	104	78

#### Воздушно - капельные инфекции

Дифтерия	-	1	-	-	-
Коклюш	77	63	94	113	280
Корь	226	-	1	308	17 783
Паротит - эпидемический	300	377	690	892	569
Менингококковая инфекция	20	8	12	28	90
Грипп	583	2071	431	694	585
Острые респираторные инфекции	162 106	191 725	142 012	159 934	171 640

Все вышеназванные факторы, т.е. уменьшение природоемкости всех видов деятельности является угрозой экологической безопасности КР. При этом в настоящее время затраты, на охрану окружающей среды не превышают 0,03% от ВВП.

Безусловно, на современном этапе, когда Кыргызская Республика переживает кризисы в экономике и политике, экологическая безопасность может вызывать меньшую озабоченность, однако надо помнить что недостаток внимания к ним приводит к снижению качества среды обитания человека и создает угрозы здоровью и безопасному

развитию населения Кыргызстана, в конечном итоге — это экологическая безопасность государства в будущем.

#### Выводы:

Данные проблемы, изложенные в статье в области водо-энерго и ресурсосбережения, остро стоят сейчас во всем мире. Не менее актуальна эта проблема и в странах южного Кавказа, таких как Грузия, Азербайджан и Армения, за счет схожести природно-климатических условий и рельефа местности. Большого количества горных рек и подземных запасов воды. Также как и в

Кыргызстане в странах южного Кавказа решаются проблемы обеспечения чистой питьевой водой и экологической безопасности водных ресурсов на законодательном уровне.

#### Литература

1. Состояние водных ресурсов Кыргызской Республики // Национальный институт стратегических исследований Кыргызской Республики - Бишкек 2014.

2. Ивашенко. Е. Питьевая вода как государственная проблема. Международное информационное агентство. // Фергана-2014.

3. Тайлакова А.А. Гендерный аспект доступа населения Кыргызской Республики к чистой питьевой воде. // Инновации в науке-2015-№9-(46)

4. Глобальная водная солидарность, Улучшение доступа к воде и санитарии посредством децентрализованного сотрудничества в Кыргызской Республике // Глобальная Инициатива ART по водной солидарности ПРООН-2014. 5. Статистический Сборник 2011-2015. Окружающая среда в Кыргызской Республике. Национальный

УДК 629.44. 083 (571.63)

---

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С УСТРОЙСТВОМ РПН

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1467

*Лаптева И.И.*

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
680001, Хабаровск, пер. Краснореченский 8-32  
телефон: 8 (4212) 61-77-63*

*Карнаков Е.А.*

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
Хабаровск*

### INVESTIGATION OF METHODS FOR MODELING THE OPERATION OF A VOLTAGE REGULATION SYSTEM OF A POWER TRANSFORMER WITH AN RPN DEVICE

*Lapteva I.I.*

*Eastern State of Transport University,  
Khabarovsk*

*680001, Khabarovsk, lane. Krasnorechensky 8-32, 8 (4212) 61-77-63,*

*Karnakov E.A.*

*Far Eastern State of Transport University,  
Khabarovsk*

#### АННОТАЦИЯ

Приведен анализ одной из важных задач, возникающих в процессе автоматизации управления режимами работы электрических сетей, – поддержание заданных уровней напряжения на шинах подстанций. Централизованное регулирование напряжения на подстанциях предусматривает широкое использование силовых трансформаторов и автотрансформаторов, содержащих устройство регулирования под нагрузкой (РПН). Предлагается метод моделирования работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройствами РПН.

#### ABSTRACT

The analysis of one of the important tasks arising in the process of automating the control of the modes of operation of electrical networks is given – maintaining the specified voltage levels on the busbars of substations. Centralized voltage regulation at substations provides for the widespread use of power transformers and autotransformers containing a load control device (RPN). A method for modeling the operation of a voltage regulation system of a power transformer with RPN devices is proposed.

**Ключевые слова:** моделирование, силовой трансформатор, регулирование под нагрузкой, регулирование напряжения, электрическая сеть.

**Keywords:** simulation, power transformer, regulation under load, voltage regulation, electrical network

Одна из важных задач, возникающих в процессе автоматизации управления режимами работы электрических сетей, – поддержание заданных уровней напряжения на шинах подстанций. Централизованное регулирование напряжения на подстанциях предусматривает широкое использование силовых трансформаторов и автотрансформаторов,

содержащих устройство регулирования под нагрузкой (РПН). Автоматизация управления силовых трансформаторов с РПН в распределительных сетях с помощью широко распространенных автоматических регуляторов напряжения трансформаторов – эффективное средство улучшения качества регулирования и поддержания оптимальных уровней напряжения.

На узловых подстанциях связи сетей различного номинального напряжения регулирование напряжения приводит к перераспределению потоков реактивной мощности в энергосистеме. В этом случае даже небольшие изменения напряжения на одной из регулируемых подстанций могут привести к значительным перераспределениям потоков реактивной мощности.

Питающие сети энергосистемы, как правило, неоднородны. Высокую степень неоднородности создают автотрансформаторы связи в замкнутых контурах, что обуславливает неблагоприятное потокораспределение и, как следствие этого, снижение экономичности работы сети. Для экономического распределения мощностей в контур включается дополнительная ЭДС, создающая уравнивающую мощность. Эта ЭДС, имеющая сдвиг по фазе по отношению к основному напряжению, создается последовательным регулировочным трансформатором с соответствующей схемой соединения обмоток. Регулирование осуществляется устройством, аналогичным по принципу действия РПН трансформаторов. Внедрение ЭВМ во всех звеньях управления режимами работы электрических сетей – современная тенденция создания автоматизированных систем энергетики. Энергосистемы уже имеют значительный арсенал вычислительных средств, который в настоящее время быстро изменяется как в качественном, так и в количественном отношении. Широко применяются также системы телемеханики, которые используются для сбора, обработки информации и передачи управляющих воздействий на энергетические объекты.

Если с точки зрения целей исследования между двумя объектами есть сходство, то вместо одного можно исследовать другой. Первый называется *оригиналом*, а второй – *моделью*. Модель – это заместитель оригинала, позволяющий изучить некоторые его свойства в определенных условиях. При этом следует подчеркнуть, что сходство может быть не по всем характеристикам: форме, цвету, структуре и т.п. Достаточно, чтобы сходство было лишь в тех свойствах, которые являются объектом данного исследования.

Не существует таких моделей, которые воспроизводили бы все свойства оригинала. Моделирование – это процесс выбора или построения модели для исследования определенных свойств оригинала в определенных условиях.

Постановка задачи исходит из знаний, полученных в результате наблюдения, изучения объекта, а также из той практической проблемы,

которую требуется решить. При этом из всего множества влияющих на объект факторов надо суметь отобрать существенные и определить диапазоны их изменения и особенности влияния на конечный результат. Кроме того, к этой стадии относится оценка требуемой точности результатов, диктуемая целью исследования.

В настоящее время показатели качества напряжения у потребителей электроэнергии часто не отвечают установленным нормам. Это свойственно как для производственных, так и для городских сетей. Проблема качества электроэнергии тесно связана с надежностью и ресурсом работы различного рода потребителей [2]. Более того, особо требовательные из потребителей могут функционировать только при высоком качестве напряжения. Важнейшим параметром качества электроэнергии является уровень напряжения. Для наиболее экономичной и безаварийной работы потребителя необходимо, чтобы отклонение фактической величины напряжения, при котором он получает электроэнергию, от своего номинального значения не превышало установленной нормами допустимой величины. При этом желательно, чтобы отклонения напряжения вообще были минимальными. Требования к точности поддержания напряжения различны для разных видов нагрузок. Особенно нежелательно отклонение напряжения в сторону его уменьшения, которое приносит убытки во всех областях промышленности. Также понижение напряжения увеличивает потери мощности в электросетях. Поскольку колебания напряжения являются принципиально неизбежными (ввиду изменения режимов работы сетей и потребителей), то для обеспечения необходимых уровней напряжения требуется его регулирование.

Автоматическое регулирование напряжения на шинах электростанций и районных подстанций преимущественно осуществляется в виде встречного регулирования, при котором в период наибольших нагрузок напряжение устанавливается выше номинального напряжения сети (с целью компенсации потерь напряжения у потребителей). В период же наименьших нагрузок напряжение автоматически понижается.

В условиях эксплуатации стремятся, по возможности, уменьшить количество переключений ответвлений трансформатора, сознательно идя на некоторое снижение качества регулирования, но добиваясь этим повышения надежности систем электроснабжения. Для этого задают закон регулирования, который нечувствителен к кратковременным колебаниям напряжения, но реагирующий на отклонения, большие, чем зона нечувствительности.

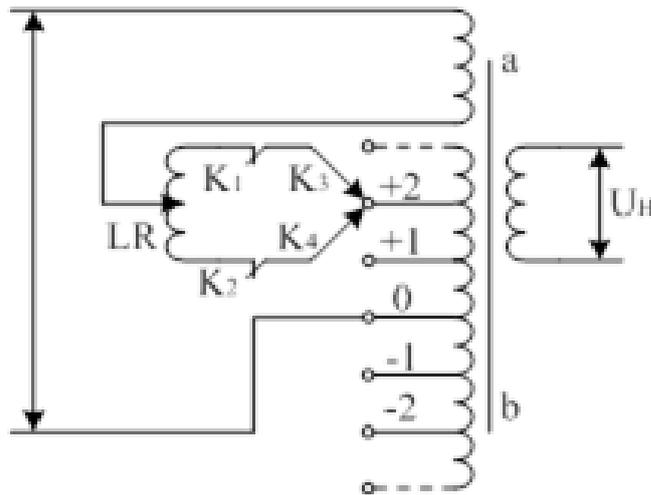


Рис.1. Схема регулирования напряжения на одной фазе трехфазного регулируемого трансформатора

Для моделирования задавались следующие параметры:

- 1) номинальная мощность  $S_n$  (кВА) и частота  $f$  (Гц);
- 2) обмотка ВН [ $U_1$ ;  $R_1$ ;  $X_1$ ] – с номинальным межфазным напряжением обмотки (кВ); сопротивлением обмотки (Ом);
- 3) обмотка НН [ $U_2$ ;  $R_2$ ;  $X_2$ ] – с номинальным межфазным напряжением обмотки (кВ); сопротивлением обмотки (Ом);
- 4) регулировочная обмотка [ $R_i$ ;  $X_i$ ] – с сопротивлением цепи (Ом) в зависимости от положения отпаяк.
- 5) напряжение ступени ( $\Delta U$ ) на одну отпайку;
- 6) минимальное или максимальное положение РПН

7) номер отпайки  $N$

Отсюда следует, коррекция напряжения:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{(1 + N \cdot \Delta U)} \cdot \frac{U_{ном2}}{U_{ном1}}$$

Исходные параметры РПН и регулятора напряжения для моделирования следующие:

1. Уровень напряжения на шинах НН потребителя;
2. Продолжительность отклонения (провала) напряжения от номинального значения.

Составим блок-схему работы (рис.2) системы регулирования напряжения в зависимости от уровня напряжения потребителя.

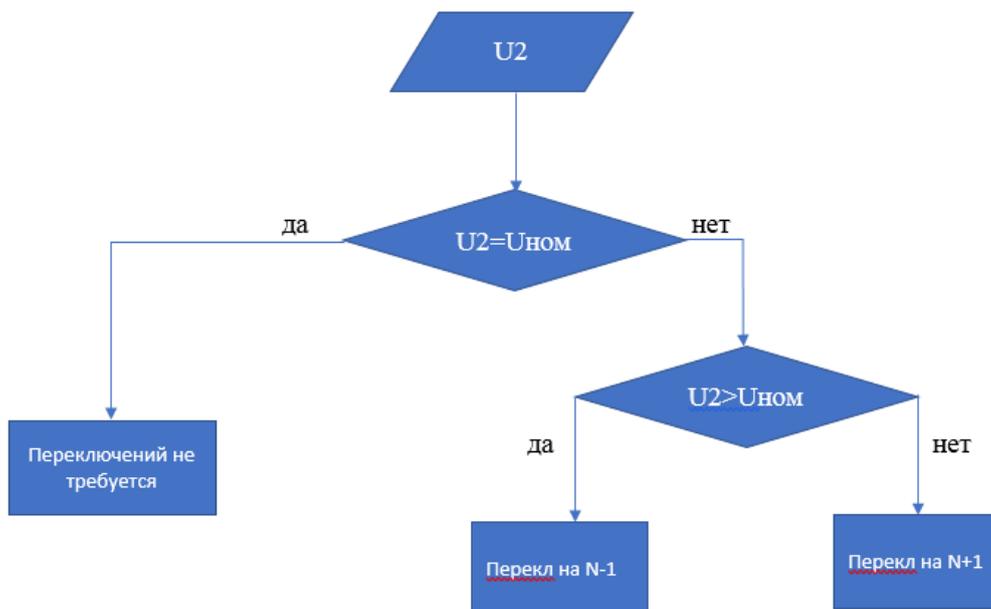


Рис.2. Блок-схема запуска двигателя для регулирования напряжения на одной фазе трехфазного регулируемого трансформатора

Моделируемая схема и АЧХ трансформатора в программе *Multisim* приведены на рисунках 3-5.

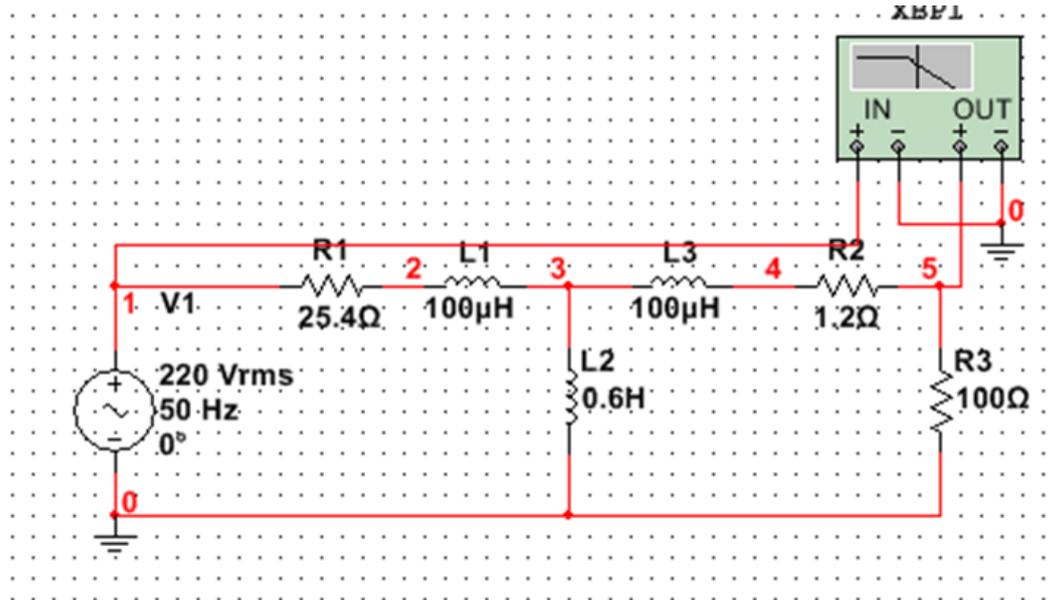


Рис.3. Моделируемая схема трансформатора

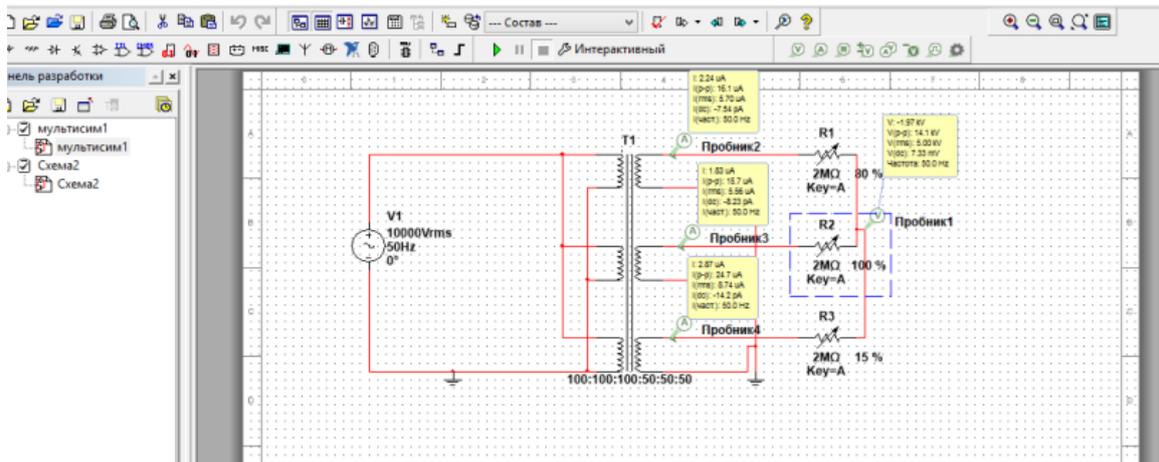


Рис.4. Моделируемая схема 3-х фазного трансформатора

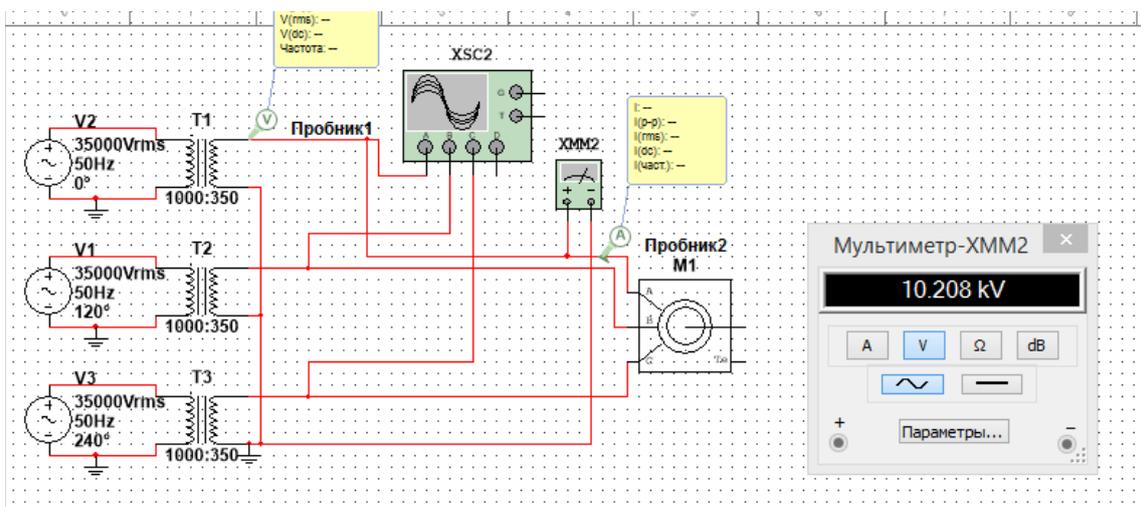


Рис.5. Моделируемая схема из 3-х однофазных трансформаторов

В ходе работы были рассчитаны и промоделированы основные функциональные узлы устройства РПН в пакете *Multisim*.

В целом можно отметить, что пакет

*Multisim* является удобным инструментом для анализа процессов в электрических цепях при проектировании устройств электропитания и может быть рекомендован не только для их

проектирования, но и в учебных целях, в частности для построения виртуального лабораторного практикума.

В ходе моделирования различия между расчётными данными по методикам, указанным в литературе по источникам питания и ЭПУ, составили порядка 5%.

В ходе работы была определена элементная база, использующаяся при моделировании элементов РПН трансформатора, а также необходимые источники сигналов, регистрирующая аппаратура и инструменты анализа.

#### Список литературы

1. А.И. Иванов–Цыганов. Электропреобразовательные устройства РЭС. – М. «Высшая школа», 1991 г.
2. Китаев В. Е., Бокуняев А. А., Колканов М. Ф. Расчет источников электропитания устройств связи. – М.: «Радио и связь», 1993.
3. Бушуев В.М., Деминский В.А., Захаров Л.Ф. Электропитание – М.: «Горячая линия», 2011 г.
4. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника. – М.: «Горячая линия», 2012.

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ НА БАЗЕ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ФЕРРОЗОНДОВОГО ДАТЧИКА И МАГНИТОВАРИАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1473

*Любимов Владимир Валерьевич*

*старший научный сотрудник*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн*

*им. Н.В. Пушкова Российской академии наук,*

*г. Троцк*

#### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена описанию конструкции измерительного модуля (феррозондового магнитного компаса) и созданной на его основе магнитовариационной станции (геофизического прибора). Эта станция предназначена для проведения геомагнитных работ в различных условиях, - как в стационарных пунктах наблюдений, так и для работы в поле.

#### ABSTRACT

The work is devoted to the description of the design of the measuring module (fluxgate magnetic compass) and the magnetovariation station (geophysical device) created on its basis. This station is designed to carry out geomagnetic work in various conditions - both stationary observation points and for work in the field.

**Ключевые слова:** Магнитное поле, магнитные измерения, компонентные измерения, феррозондовые магнитометры, магнитовариационная станция, цифровые инклинометры.

**Keywords:** Magnetic field, magnetic measurements, component measurements, fluxgate magnetometers, magnetovariation station, digital inclinometers.

#### ВВЕДЕНИЕ

Феррозондовые приборы характеризуются малогабаритностью и компактностью, малым энергопотреблением, высокой чувствительностью и точностью. Современные феррозондовые датчики (ФД) и приборы на их основе обладают малыми собственными шумами, что позволяет проводить работы с высокой надёжностью в очень слабых магнитных полях (МП) и в широком диапазоне температур. Использование приборов (магнитометров) на основе ФД при проведении геомагнитных исследований, позволяет реализовать возможность непосредственного измерения составляющих вектора магнитной индукции (ВМИ), что обеспечивает получение полной информации о структуре поля и его источниках, как на стационарных измерительных пунктах наблюдений, так и в движении, - при проведении различного рода экспедиционных и поисковых работ.

В настоящее время как у нас в стране, так и за рубежом уже существует немало разработок магнитоизмерительных преобразователей (МИП) на основе ФД, которые имеют аналоговый или цифровой вывод измеряемой информации. Наряду

с определенными достоинствами всех известных компонентных ФД (и МИП на их основе) таких как компактность и малое энергопотребление, - эти приборы обладают некоторыми недостатками. К этим недостаткам относятся: изменение и увеличение погрешности измерений за счет изменения внешней температуры окружающей среды (температурный дрейф), а также погрешность измерений за счет неконтролируемого изменения их ориентации в пространстве в процессе длительной эксплуатации. Вот эти параметры ФД необходимо контролировать и учитывать, особенно при проведении длительных стационарных измерений, - как в условиях магнитной обсерватории (МО), так и при проведении экспедиционных работ.

Ниже дается описание конструкции нового прибора – магнитовариационной станции (МВС), который создан на основе разработанного коллективом под руководством А.С. Зверева [1] измерительного модуля (ИМ), выполненного на базе трехкомпонентного ФД.

Возможности современной техники и технологий позволили в этой разработке реализовать не только контроль параметров ФД,

накопление, обработку и коррекцию получаемых от МВС данных и их передачу по каналам связи на расстояние, но и иметь привязку и синхронизацию получаемых данных при проведении полевых работ с помощью системы GPS.

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

ИМ является универсальным преобразователем аналоговых геофизических данных и включает в себя три различных самостоятельных преобразователя аналог-цифра: трехканальный магнитоизмерительный преобразователь (МИП), трехканальный преобразователь углов наклона – цифровой инклинометр (ЦИ) и датчик температуры (ДТ). Сочетание магнитных датчиков с инклинометрами в практике геофизических работ называют бесплатформенным магнитным компасом. Например, при использовании такого магнитного компаса в скважине, при проведении геофизических работ, с помощью трехкомпонентного ЦИ определяется направление вертикали в приборной системе координат, после чего вычисляются величина и направление

горизонтальной составляющей МП Земли по отношению к скважине, – её направление.

Использование в ИМ компонентных ФД и дополняющими их другими приборами (ЦИ и ДТ), – позволяет компенсировать искажения МП, которые возникают из-за различных факторов, что позволяет избавиться от части дополнительной погрешности измерения, например, при изменении угла наклона датчика или влиянии температуры окружающей среды.

МИП построен на основе магнитных датчиков феррозондового типа и включает в себя три измерительных канала (ИК) для измерения составляющих ВМИ поля Земли D, H и Z. Функциональная схема и конструкции отдельных узлов ИМ представлены на *рис.1*. При создании прибора и поиске необходимых для использования в конструкции его МИП датчиков рассматривались варианты применения нескольких известных отечественных и зарубежных малогабаритных конструкций ФД [1]. В *табл.1* представлены для сравнения основные технические характеристики некоторых из них.

Таблица 1.

Сравнительные параметры ФД для применения в ИМ.

Параметры	FL3-100	FLC3-70	НВ0302А
Фирма-производитель	Stefan Mayer Instruments, Германия		ООО «НПО ЭНТ», Россия
Диапазон, мкТл	±100	±200	±50...1000
Точность, %	0,5	±1 ±0,5 диап.	3 + 0,01 диап.
Неортогональность осей, град.	<0,5	±1	5 (0.5)
Точность, нТл	<5	Не указана	Не указана
Дрейф нуля, нТл/°С	<0,1	<2	<2
Рабочий диапазон частот, Гц	0...2000	0...1000	0...400
Аналоговый выход, В/мкТл	0,1	1/35	10
Питание, В	±5 (12...16)	4,8...12	7...12
Ток потребления, мА	+22, -15 (4,4 мА/100мкТл)	6	60
Выход аналоговый, В/мкТл	0,1	±0,0285	10
Шумы в полосе 1 Гц, пТл	<20	<120	Не указаны
Размеры, мм	140x26x26	Ø25x50	Ø22x185
Вес, г	115	80	100

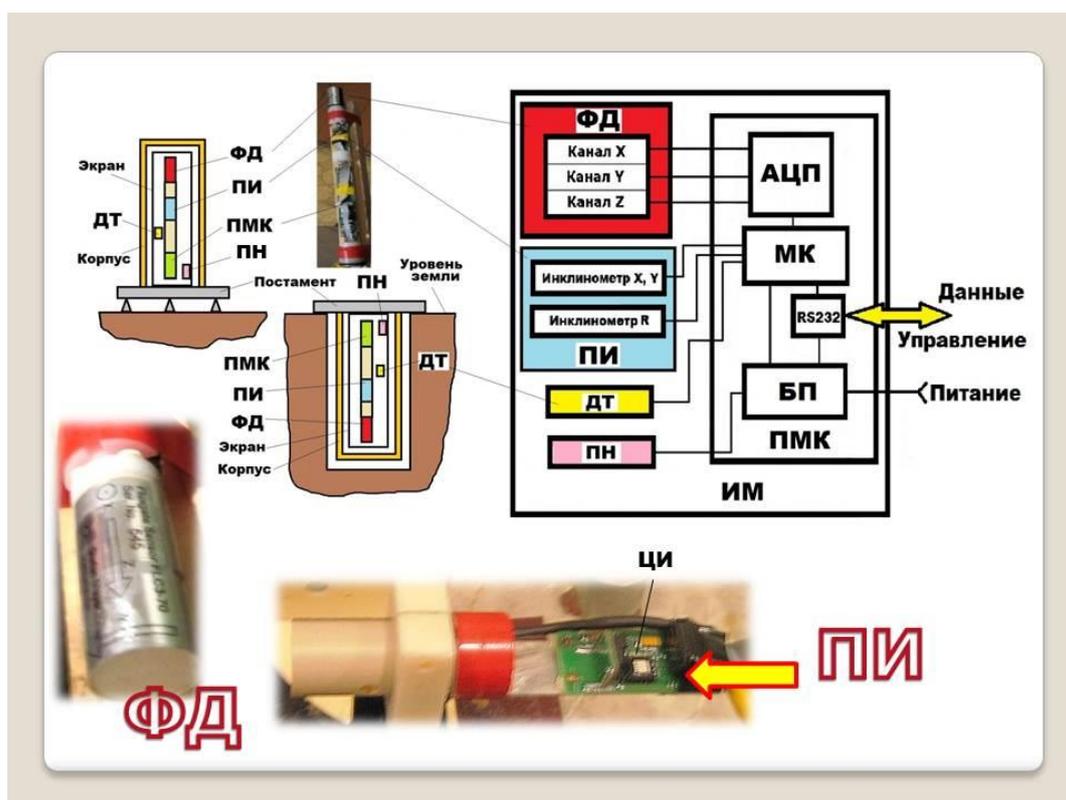


Рис.1. Измерительный модуль прибора: блок-схема ИМ, схема конструкции ИМ в сборе для настольного или подземного варианта использования, а также общий вид трехкомпонентного ФД и ПИ.

В результате анализа характеристик и проведённых сравнительных и оценочных экспериментальных работ для схемы МИП прибора были выбраны ФД типа FLC3-70 [2].

Эти датчики реализуют отсчётную точность измерения 1 нТл в диапазоне от 0 до  $\pm 70$  мкТл и коэффициент преобразования поле-напряжение 35 мкТл/В по каждому ИК. При этом собственные шумы каждого ФД не превышают уровень 0,1...0,15 нТл. Общий вид используемого в схеме прибора трехкомпонентного ФД показан на *рис.1*.

Главным критерием при выборе этого варианта ФД явилось более высокая точность измерений и низкое потребление (6 мА) энергии от однополярного источника питания (ИП). Низкое потребление (малое значение тока компенсации в измерительных обмотках ФД) было важно для уменьшения (или исключения) эффекта взаимовлияния измерительных каналов друг на друга в конструкции трёхкомпонентного малогабаритного ФД.

Аналоговое напряжение ( $\pm 2$  В) с выхода каждого из трех ИК (D, H и Z) МИП поступает на входы АЦП, который расположен на плате микроконтроллера (ПМК), где также находятся схемы микроконтроллера (МК) с интерфейсом последовательного канала передачи данных (RS232) и блок питания (БП). С выхода АЦП данные от МИП поступают на вход МК и далее через последовательный порт RS232 в цифровой форме на выход ИМ. Через этот последовательный порт RS232 осуществляется также управление извне режимами работы МИП и коррекция поступающих данных.

Для контроля пространственной ориентации ФД используется трехкомпонентный инклинометр, который выполнен на базе микросхемы ADIS16209 [3] и содержит два устройства (две микросхемы) для измерения углов наклона. Выбор данной микросхемы для ЦИ был обусловлен ее компактностью, высокой точностью измерений (см. данные *табл.2*), однополярным ИП и малым энергопотреблением, что очень важно при установке ЦИ вблизи ФД. Главным достоинством этого ЦИ является наличие в нем встроенного ДТ, который позволяет проводить коррекцию измеряемых данных как ЦИ, так и ФД.

Инклинометры X, Y измеряют отклонения в горизонтальной плоскости, а инклинометр R измеряет угол наклона ФД в вертикальной в плоскости. ЦИ жестко закреплены относительно ФД на плате инклинометров (ПИ) и удалены от них на расстояние 55 мм (для исключения влияния на результаты измерений ФД), как показано на *рис.1*. При помощи инклинометров (одновременно и синхронно с измерением компонент ВМИ) осуществляется измерение и контроль трех углов отклонения измерительных осей ФД, а точность этих измерений составляет  $\pm 0,1^\circ$ .

Выходы всех ЦИ подключены к МК (см. схему на *рис.1*), к которому также подключен выход цифрового ДТ типа LM35D, имеющий пластиковый корпус исполнения. ДТ потребляет ток не более 60 мкА и установлен вблизи от ФД, что позволяет контролировать температуру рядом с ФД с точностью  $0,1^\circ\text{C}$ .

Таблица 2.

## Сравнительные параметры ЦИ для применения в ИМ.

Параметры	ADXL203	ADIS16209	ZET 7054	SCR128T-90
Фирма-производитель	Analog Devices, США		ZETLAB Россия	SENSOR SYSTEMS Россия
Диапазон, угл.град.	±90	±90 (±180)	±15	±90
Чувствительность, %	±0,3	0,0025	Не указано	0,010
Точность, угл.град.	0,06	0,1	± (0,045+0,045φ)	0,1
Дрейф нуля, угл.град/год	Не указано		0,07	0,05
Темпер. дрейф нуля, %/°С	±0,3	Не указано	±0,05	±0,006
Рабочий диапазон температур, °С	-40...125		-40...80	-40...85
Датчик температуры	нет	есть	нет	нет
Питание, В	3...6	3...3,6	9...24	5...36
Потребление, мВт	3,5	33	300	5...360
Размеры, мм	5x5x2	9,2x9,2x3,9	98x105x28	90x40x22
Вес, г	<1		315	120

Предложенная конструкция ИМ предполагает два основных варианта его использования, которые показаны на *рис.1*:

- при работе в условиях МО или стационарного пункта наблюдения реализуется установка ИМ на немагнитном постаменте, оборудованном тремя юстировочными ножками-винтами для нивелировки контейнера с МИП в горизонтальной плоскости;

- при работе в полевых условиях, - предусмотрен вариант установки контейнера с ИМ в вырытой в земле яме, и расположенной ниже уровня земли.

Для обеспечения благоприятного температурного режима работы ФД вся схема ИМ размещена в немагнитном корпусе-контейнере, который выполнен из дюрала или из пластика (ПХВ или стеклоэпоксидная труба) с размерами Ø150x300 мм. Внутри корпуса установлена утепляющая вставка из пенопласта толщиной 20 мм (на *рис.1* не показана), за которой расположен экран, выполненный из фольгированного двухстороннего стеклотекстолита (толщиной 1 мм), который одновременно является электростатическим экраном для ФД. Внутри этого экрана закреплен (припаян) нагревательный

элемент (НЭ), который выполнен на основе малогабаритного керамического саморегулирующего позисторного нагревателя (ПН) типа СТ6-1Б-1 [4]. ПН питается напряжением постоянного или переменного (превышающего примерно на порядок частоту возбуждения ФД) тока от схемы БП. При этом контроль температуры осуществляется ДТ и регулируется при помощи МК. Особенность ПН заключается в том, что при достижении точки Кюри (точки переключения) резко увеличивается его внутреннее сопротивление и он переходит в режим саморегуляции тока, то есть в режим экономичной работы, поддерживая при этом заданную температуру нагрева поверхности.

**МАГНИТОВАРИАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ**

Функциональная схема МВС (построенная на базе ИМ) показана на *рис.2*. Здесь также представлен внешний вид одного из созданных вариантов МВС для МО. Схема МВС включает в себя: ИМ и измерительный блок (ИБ), которые соединены между собой кабелем, для подачи питающего напряжения от ИП, обмена данными и управляющими сигналами между блоками по стандарту RS232 на расстоянии до 25 м.

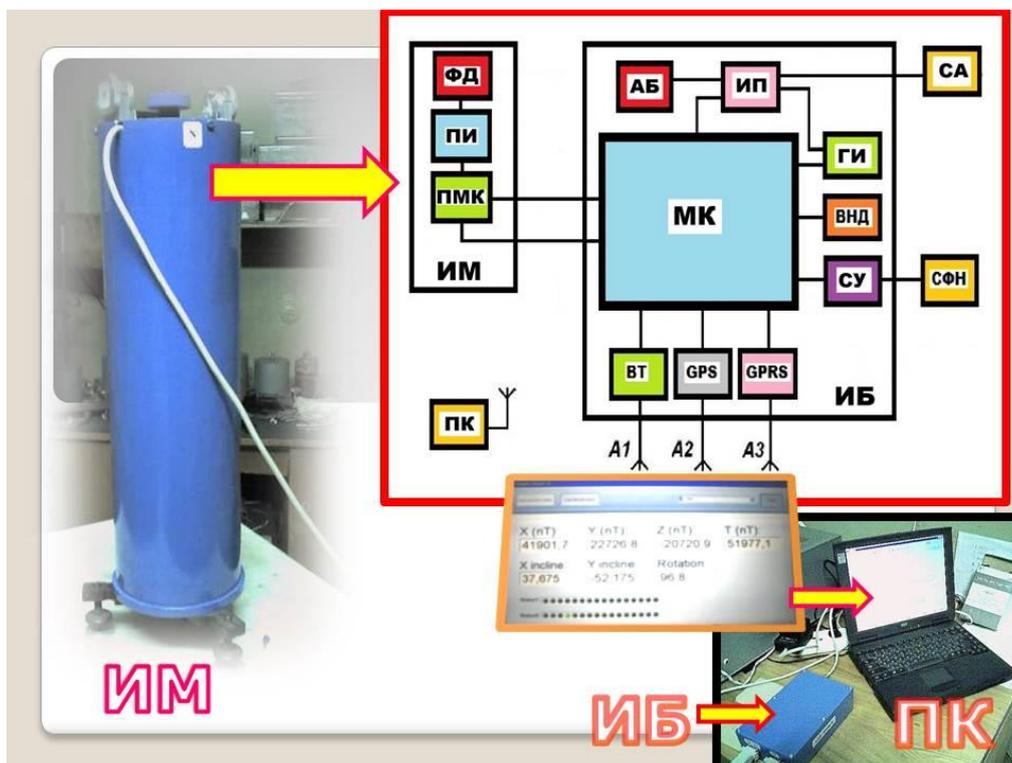


Рис.2. Функциональная схема МВС и общий вид входящих в нее блоков ИМ и ИБ, а также пример регистрации получаемых данных на дисплее ПК в процессе измерений составляющих ВМИ и инклинометров.

В состав ИБ входят следующие функциональные узлы: МК, схема управления (СУ), графический индикатор (ГИ), аккумуляторная батарея (АБ), источник питания (ИП), а также приёмник GPS и модули передачи данных Bluetooth (BT) и GPRS с антеннами соответственно А2, А1 и А3.

Модуль GPS оснащён по выходу временным стробом. Модуль Bluetooth имеет опции дальности передачи данных: модуль 2 класса – до 30 м, модуль 1 класса – до 100...200 м, а модуль 1 класса с выносной антенной – до 300...400 м. Конструкция модуля GSM выполнена с применением сменной SIM-карты.

В состав схемы ИБ также входят часы реального времени (с энергонезависимым питанием) и буферная энергонезависимая память (ЭП) – внутренний накопитель данных (ВВД) объёмом 8 Мб.

Перед началом проведения работ цикл измерений МВС устанавливается программно при помощи внешнего персонального компьютера (ПК) и специального программного обеспечения (ПО). Общий вид получаемых МВС данных в цифровой форме на дисплее ПК представлен на рис.2. ПО позволяет получать также данные в графическом виде, производить по измеренным составляющим ВМИ вычисление и визуализацию модуля (ВТ), а также проводить коррекцию получаемых магнитометрических данных на основании данных ЦИ и встроенных ДТ.

В качестве внешнего съёмного накопителя цифровых файловых данных (СФН) используется накопитель на ЭП объёмом до 4 Гб, который

подключается к ИБ и позволяет накапливать измеренные данные в автономном режиме работы, без подключения ПК.

МВС позволяет накапливать и хранить данные в процессе проведения работ во внутреннюю ЭП, а также передавать накопленные данные по имеющимся каналам GPRS и BT на удалённый приёмный пункт (компьютер).

Общее потребление схемы ИМ (без НЭ) – не более 20 мА, а общее потребление всего прибора в режиме передачи данных через канал связи составляет 250 мА. Питание МВС может осуществляться как от АБ напряжением 7...24 В, так и от сети переменного тока 220В (50 Гц) при помощи сетевого адаптера (СА) напряжением 12 В.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный ИМ на основе трехкомпонентного ФД является функционально законченной конструкцией прибора, который имеет достаточно высокие точностные характеристики и низкое энергопотребление, что позволяет использовать его в виде универсального элемента для многих геофизических измерительных систем. Например, схема и конструкция ИМ использовалась при разработке морских магнитометров и градиентометров [5-7], а также поискового полевого прибора [8-10]. Результаты натурных испытаний этих приборов в процессе проведения научных экспедиций и поисковых работ показали удовлетворительные результаты.

Созданная конструкция ИМ, как бесплатформенного магнитного компаса, - позволяет использовать ее в поисковых

геофизических работах, например, в скважинной магнитометрии.

На основе универсального ИМ создан новый магнитометрический прибор – феррозондовая МВС, который позволяет проводить измерения и научные исследования, как в условиях МО, так и в условиях экспедиции, - в поле. При этом использование ЦИ позволяет устанавливать в процессе исследований ФД произвольно, измерять составляющие ВМИ и вычислять его модуль.

#### Литература

1. Любимов В.В., Зверев А.С., Суменко К.Г. Феррозондовый поисковый буксируемый магнитометр-градиентометр: опыт разработки // Евразийское научное объединение (ЕНО). М., 2019. №1 (47). С.416-420.

2. Magnetic Field Sensor FLC3-70. Stefan Mayer Instruments GmbH & Co. KG, Wallstr. 7 D-46535 Dinslaken, Germany. (<http://www.stefan-mayer.com>)

3. Analog Devices. High Accuracy, Dual-Axis Digital Inclinometer and Accelerometer Data Sheet ADIS16209

(<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADIS16209.pdf>)

4. Любимов В.В. К вопросу повышения точности измерений магнитного поля: Опыт

термостатирования датчиков магнитометров // Приднепровский научный вестник /Геофизика. Г. Днепр: Наука и образование, 2017. Том 3. №4. С.84-93.

5. Zverev A.S., Lyubimov V.V. Marine component gradientometer // Евразийский союз учёных. (ЕСУ). М., 2019. №10 (67). 5 часть. С.4-7.

6. Зверев А.С., Любимов В.В. Градиентометр для гидромагнитной съёмки // Датчики и системы. М.: «СЕНСИДАТ-ПЛЮС», 2019. №.12 (242). С.46-50.

7. Любимов В.В. Морской градиентометр на основе одной буксируемой гондолы // Приборы, М., 2020. №2 (236). С.39-43.

8. Любимов В.В. «Феррозондовые грабли» - прибор для поиска магнитных предметов и геомагнитных исследований // Евразийское научное объединение (ЕНО). М., 2020. №7 (65). С.120-123.

9. Любимов В.В. Градиентометры для поиска локальных ферромагнитных объектов // Евразийский союз учёных (ЕСУ). М., 2020. №12 (81) 2 часть. С.38-44.

10. Любимов В.В. Компонентный магнитометр-градиентометр // Приборы, М., 2021. №4 (250). С.17-21.

---

## ЮСТИРОВКА ПЛОСКИХ ФАЦЕТ ГЕЛИОСТАТОВ БОЛЬШОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1471

*Собиров Юлдаш*

*Институт материаловедения НПО “Физика-Солнце” АН Руз*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье представлена усовершенствованная методика юстировки отдельных зеркальных элементов - фацет гелиостатов Большой Солнечной Печи (БСП) тепловой мощностью 1000 кВт в Узбекистане. В связи с тем, что БСП состоит из 22790 штук отдельных зеркал, юстировка - установка определенного геометрического положения этих зеркал очень важна. Процесс юстировки многочисленных зеркал очень трудоемкий и длительный. Часто на точность юстировки влияют субъективные факторы юстировщиков. Чтобы повысить производительность и точность юстировки фацет гелиостатов мы применили Систему Технического Зрения (СТЗ), а также применили программу для обработки юстировочных данных на компьютере. СТЗ, состоящий из видеокамеры, интерфейса, персонального компьютера и специального программного обеспечения, позволяет визуальное и точно оценить состояния юстировки фацет гелиостатов до и после процесса юстировки. Позволяет сохранять данные в памяти компьютера для дальнейшей обработки и анализа. Позволяет создать базу данных о состоянии юстировки каждого из 62 гелиостатов БСП. Специальное программное обеспечение, разработанное нами, позволяет быстро и точно определять отклонения изображения марки на фацетах гелиостатов от расчетных геометрических точек в угловых минутах. На основе полученных данных можно построить гистограммы, графики и таблицы для визуального анализа состояний юстировки гелиостата до и после процесса юстировки.

### ABSTRACT

This paper presents an improved method for adjusting individual mirrors –facets of heliostats of a Big Solar Furnace (BSF) with a heat output of 1000 kW in Uzbekistan. Due to the fact that a BSF consists of 22,790 pieces of individual mirrors, the adjustment - setting a specific geometric position of these mirrors is very important. The process of adjusting the mirrors is very time consuming and lengthy. Often exactly the adjustments are influenced by subjective factors by the aligners. In order to improve the performance and accuracy of the alignment, the facet of heliostats has applied the Technical Vision System (TVS), as well as improved the process of assessing the state of alignment and the processing of alignment data. The TVS consisting of a video camera, an interface, a personal computer and special software allows you to visually and accurately assess the alignment conditions of the heliostat facets before and after the alignment process. Allows you to save the data in computer memory for further processing and analysis. Allows you to create a database of the alignment status of each of the 62 heliostats of LSF. Special software developed by us allows you to quickly and accurately determine the deviations of the heliostat facets from the calculated geometric points in angular minutes. Based on the data obtained, you can build histograms, graphs, etc. for visual analysis of the heliostat alignment states before and after the alignment process.

**Ключевые слова:** гелиостат, концентратор, facets, юстировка, Большая Солнечная Печь, Система Технического Зрения.

**Keywords:** heliostat, concentrator, facet, alignment, Big Solar Furnace, Technical Vision System.

**ВВЕДЕНИЕ**

Высокотемпературные солнечные установки большой мощности изготавливают в виде составных гелиостатов и концентраторов. Распределение плотности лучистого потока Солнца в фокальной зоне многофакетных зеркально-концентрирующих системах (ЗКС) зависит от точности отражающих поверхностей (ОП) зеркал, а также от геометрического расположения факет на каркасе гелиостатов и концентратора, то есть от

состояния их юстировки [1,2]. Есть универсальные методы юстировки отдельных плоских или плоско-линейных факет, такие методы можно применять и для юстировки плоско-линейных зеркал Френелевских ЗКС [3].

Существует высокоточный метод юстировки плоских зеркал гелиостатов с помощью пентопризмы автоколлимационным способом (смотрите рис. 1).

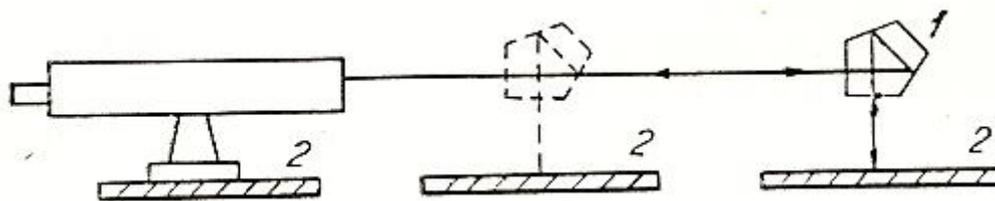


Рис. 1. Схема юстировки плоских факет гелиостатов с помощью автоколлиматора. 1-пентопризма, 2- зеркала гелиостата [1].

Точность метода юстировки используя пентопризмы автоколлимационным методом очень высокая – 30 угловой секунд. Однако поверхностные неточности плоских зеркал могут быть гораздо больше чем точности метода юстировки.

**ЮСТИРОВКА ФАЦЕТ ГЕЛИОСТАТОВ БСП.**

Плоские зеркала гелиостатов Большой Солнечной Печи меговаттной мощности Узбекистана после многолетней эксплуатации имеют поверхностную погрешность в среднем  $3 \div 6$

угловой минут. Для таких зеркал нельзя применять высокоточных методов юстировки, таких как “автоколлимационный метод юстировки с пентопризмой”, так как это точечный метод юстировки (о состоянии юстировки судить по точке). При юстировке факет гелиостатов БСП нельзя определить состояние юстировки факеты относительно одной точки. Для этой цели в условиях БСП успешно применяется метод юстировки авторефлексионной маркой (смотрите рис. 2) [4].

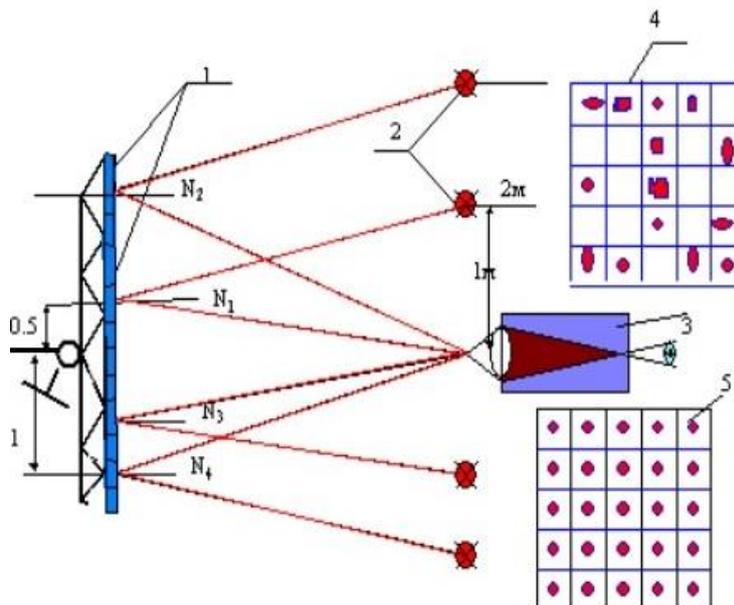


Рис.2. Юстировка плоских факет гелиостатов 1-факеты гелиостата, 2- красные лампы – марки, 3-теодолит, 4- изображения марки на факетах гелиостата до юстировки, 5- изображения марки на факетах гелиостата после юстировки.

БСП института Материаловедения НПО «Физика-солнце» АН РУз является крупногабаритной, многозеркальной, высокотемпературной установкой [2]. БСП состоит из 62 гелиостатов с отдельными зеркалами – фацетами 12090 штук и параболического концентратора с фацетами -10700 штук. Энергетические характеристики в фокальной зоне концентратора БСП зависят от состояния юстировки этих зеркал [5].

Юстировка фацет гелиостатов с помощью авторефлексионной марки [6] позволяет установить геометрическое положение плоских фацет гелиостатов с большой точностью -

погрешности меньше 1 угловой минут. В процессе эксплуатации БСП, юстировка отдельных отражающих поверхностей ЗКС - фацет гелиостатов со временем нарушается. Разъюстировка становится заметной (3-4 угл.мин.) уже в течение двух-трех месяцев их работы. Поэтому одним из сложных проблем эксплуатации БСП является сохранение первоначальной юстировки, т.е. систематическая оценка точности и, если необходимо, доюстировка фацет 62 гелиостатов. Контроль и юстировка фацет гелиостатов осуществляется при помощи авторефлексионной марки, установленной на концентраторе БСП (см. рис.3).

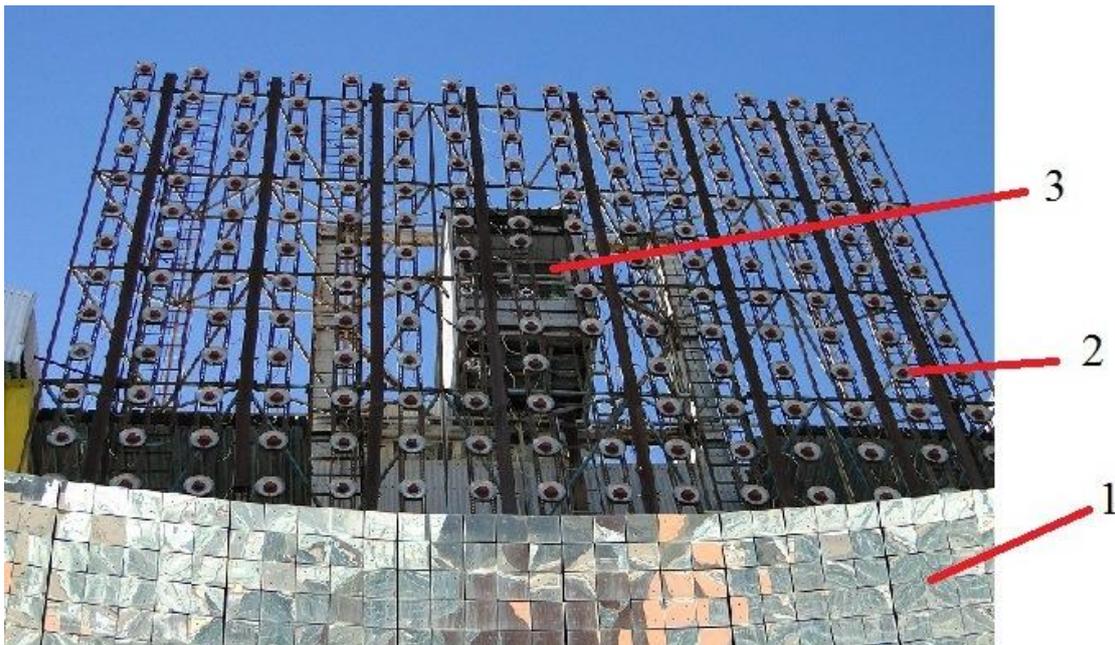


Рис. 3. Авторефлексионная марка установленная на концентраторе БСП. 1-концентратор БСП, 2-марка, 3- лабораторная комната юстировщика.

При юстировки этим методом на каждой фацете гелиостата через зрительной трубы устанавливается соответствующая визирная цель марки. При этом включается подсветка визирной цели соответствующая юстируемой фацете, и по команде оператора находящего у зрительной трубы, юстировщик разворачивает фацету до тех пор, пока изображения визирной цели не будет совмещена с перекрестием (расчетной точкой), начерченным на ее поверхности. Потом, подсветка визирной цели отъюстированной фацеты выключается и включается подсветка следующей визирной цели юстируемой фацеты.

Отметим, что для оценки состояния фацет гелиостатов до юстировки оператор составляет

карту-сетку видимого изображения каждой визирной цели на соответствующей фацете гелиостата. Отметим, что каждый из 62 гелиостатов БСП состоит из 195 отдельных фацет с размерами 50x50 см и объективная оценка состоянии юстировки каждой фацеты и её запись на карте занимает много времени оператора и носит качественный характер.

С целью, повышения производительности, уменьшения трудоёмкости работы и получения объективной оценки состояния юстировки, нами усовершенствован метод юстировки фацет гелиостатов на базе Системы Технического Зрения (СТЗ) [7,8]. Общая схема этого метода представлена на рис. 4.

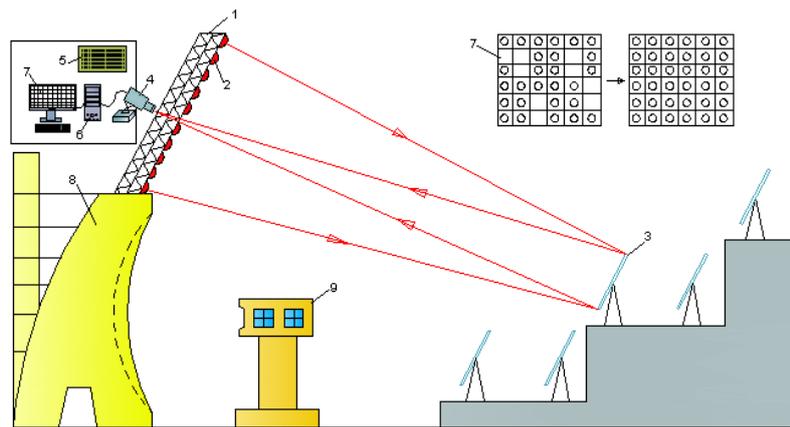


Рис. 4. Юстировка facets гелиостатов с помощью СТЗ.

1-авторефлексионная марка, 2-красные лампы – марки, 3-гелиостат, 4-СТЗ, 5-пульт для переключения ламп, 6-ПЭВМ, 7-изображение лампы на экране компьютера до и после юстировки.

После установки соответствующего гелиостата на авторефлексионную марку, изображение марки через видеокamеры выводится на экран монитора ЭВМ.

Для оценки положения отражающей поверхности достаточно снимать изображение подсветок, когда гелиостат ориентирован на авторефлексионную марку.

Таким образом, усовершенствованный метод юстировки facets гелиостатов имеет следующие достоинства:

- позволяет оперативно быстро получать данные о состоянии юстировки facets гелиостатов по всему гелиополю;
- наглядно и эффективно проводить процесс юстировки составных facets гелиостатов.

#### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ЮСТИРОВОЧНЫХ ДАННЫХ

Наряду усовершенствованием процесса юстировки нами проведено усовершенствование обработки результатов юстировки с помощью компьютерной программы. Для этого оператор

находящихся в авторефлексионной марке, вводит информации о состоянии юстировки каждой facets данного гелиостата в файл. При этом оператор оценивает отклонение марки (красной лампы) от расчетной точки в сантиметрах.

Далее оператор запускает разработанную нами программу для обработки данных. Программа запрашивает в диалоговом режиме следующие данные: число, месяц, год, номер юстируемого гелиостата, состояние юстировки «до» или «после».

Далее программа находит коэффициент погрешности «sigma». Этот коэффициент переводит линейное отклонение марки от расчетного значения к угловым минутам.

Далее программа обрабатывает данные и выводит результаты расчета в виде таблицы.

На основе полученных данных можно построить графики, гистограммы и т.д., для анализа состояния юстировки facets гелиостатов БСП (смотрите рис. 5,6,7).

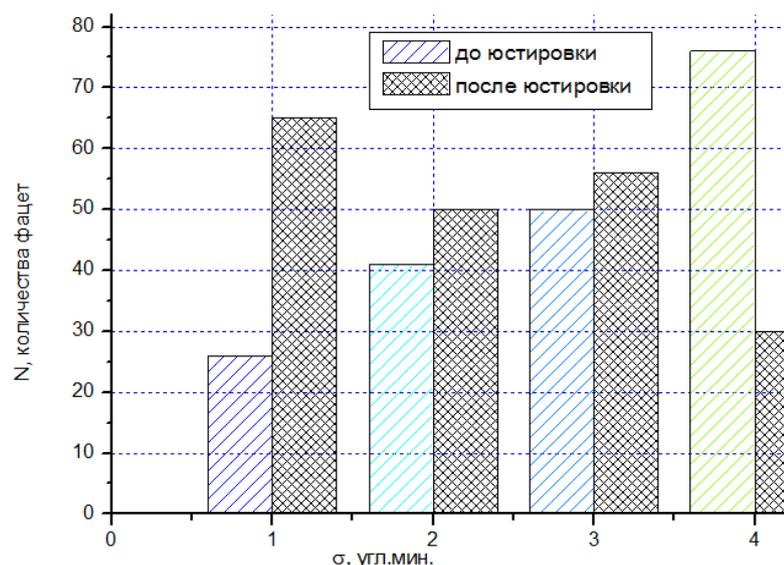


Рис. 5. Гистограмма состояние юстировки 46-гелиостата до и после проведения юстировки facets гелиостата авторефлексионным методом.

Проводиться измерения энергетических характеристик гелиостатов до и после процесса юстировки (см. рис. 5,6).

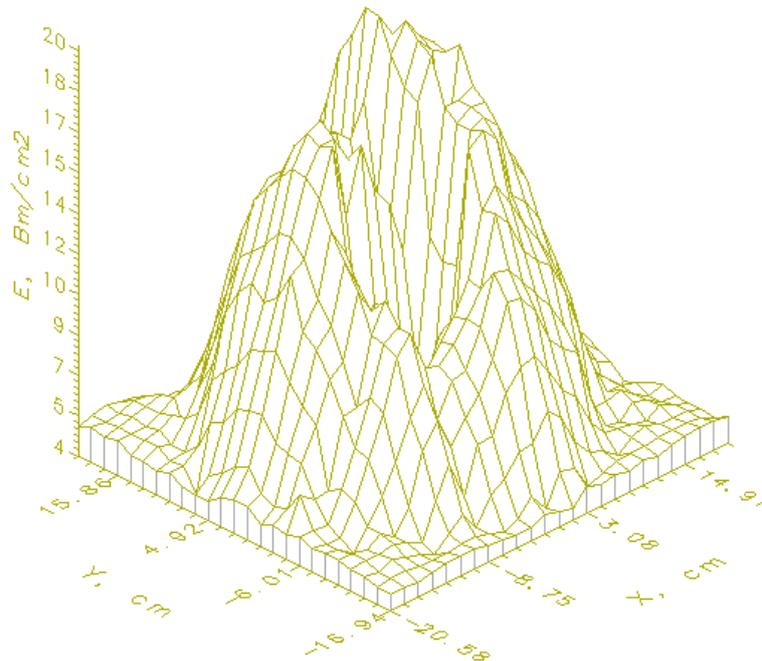


Рис. 6. Распределения энергии от 27-гелиостата до юстировки.

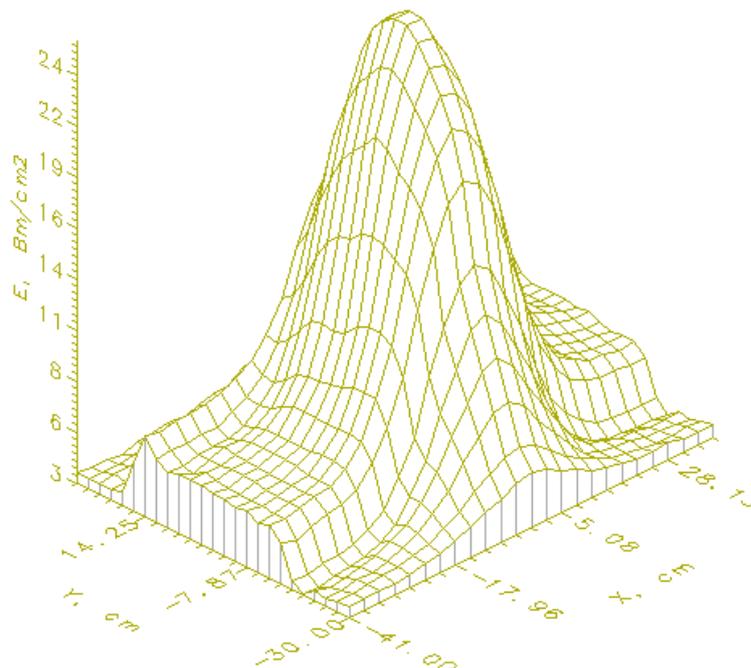


Рис. 7. Распределения энергии от 27-гелиостата после юстировки.

Как видно из рис.4÷5 энергетический эффект от юстировки фаяет гелиостат составляет:

$$E_{\text{эф}} = \frac{25 - 21}{21} = 19\%$$

#### ВЫВОДЫ

Таким образом усовершенствование метода юстировки фаяет гелиостатов позволяет:

-наглядно и объективно проводить процесс юстировки;

-проводить качественную и количественную оценку эффекта от юстировочных работ на ЭВМ;

- создания банка данных о состоянии юстировки фаяет гелиостатов;

-определить фаяеты подлежащих к замене из-за большой поверхностной ошибки.

В целом внедрение новых указанных выше методов на БСП позволяет эффективно контролировать её оптико-энергетические характеристики.

## REFERENCES

1. Zakhidov R.A. Technology and testing of solar energy concentrating systems. Gujarat Energy Development Agency, Vadodara 1996. P. 186.
2. Ю.Л. Бронштейн. Геометрия и юстировка крупных зеркальных систем. М.: Из-во “ДПК ПРЕСС”, 2020 г. 818 с.
3. A.A. Kuchkarov, A. A. Kholmatov, Sh. A. Muminov, A. Abdurakmanov. Formation of Focusing Flat Composite Heliostats and Fresnel Mirror Concentrating Systems. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 10, October 2019. p. 11120-11125.
4. Абдурахманов и др. Авторское свидетельство №1815532. Способ юстировки гелиостатов авторефлексионной маркой. Зар. 11.10.1992.
5. Akbarov R.Y., Paizullakhanov M.S. Characteristic features of the energy modes of a large solar furnace with a capacity of 1000 kW. // Applied Solar Energy. 2018; 54(2): p. 99-109.
6. Kuchkarov A.A., Sobirov Yu.B., Kulakhmedov N.N., Mamatkosimov M.A., Akhadov Zh.Z., and Abdurakhmanov A.A. Adjustment of facets of flat and focusing heliostats, concentrators, and Fresnel mirror concentrating systems. // Applied Solar Energy -USA. 2015. Vol. 51, No 2, pp. 151-155.
7. Абдурахманов А.А. и др. Система технического зрения для оперативного контроля энергетических характеристик Большой Солнечной Печи // Гелиотехника. 1994. №6. С.30-32.
8. Абдурахманов А. и др. Метод измерения и контроля оптико-геометрических характеристик зеркал и стекол // Гелиотехника. 2003. №1. С.72-75.

## НАТУРАЛЬНЫЕ САХАРОЗАМЕНИТЕЛИ. ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1475

*Тигранян Виктория Жирайровна**Магистрант,**Воронежский государственный университет инженерных технологий,*  
*г. Воронеж**Кочарьян Артем Грантович**Магистрант,**Воронежский государственный университет инженерных технологий,*  
*г. Воронеж*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются некоторые сахарозаменители натурального происхождения, как они влияют на организм, их применение. Дается сравнение подсластителей по сравнению с сахарозой, параметры и их характеристики. Какие перспективы применения сахарозаменителей в нашем мире.

## ABSTRACT

This article discusses some of the sweeteners of natural origin, how they affect the body, and their use. Comparison of sweeteners in comparison with sucrose, parameters and their characteristics is given. What are the prospects for the use of sugar substitutes in our world.

**Ключевые слова:** сахар, сахарозаменители, гликемический индекс, калорийность, применение.

**Keywords:** sugar, sweeteners, glycemic index, calorie content, application.

В недавнем прошлом отмечалась нарастающая пандемия ожирения во всех странах населения и этнических групп и из-за агрессивного маркетинга кампании в пищевой промышленности, роль этих искусственных подсластителей превратился из заменителей сахара в заменители здоровья. Из-за экстремальной сладости этих продуктов требуется минимальное количество, чтобы обеспечить подслащивание без добавления калорий (сахара). Таким образом эти вещества продаются в массы как здоровая альтернатива сахару, особенно для диабетиков (например, сукралоза как без сахара) и как альтернатива сахарному подсластителю в таких напитках, как диетическая кола (основной потребитель – здоровый молодой). Хотя эти заявления кажутся многообещающими, они никогда не были подтверждены в ходе интенсивно проводимых испытаний или крупных эпидемиологических исследований. С другой стороны, только хорошо спланированное, перспективное, эпидемиологическое исследование с частой и длительной продолжительностью

наблюдения может ответить на эти вопросы; опасность для здоровья и неблагоприятное воздействие, если таковое имеется, этих веществ. Ежедневное потребление (ADI) на 54% (из-за потребления леденцов и колотый лед). Наконец, в целом плохо работает инфраструктура здравоохранения и представление данных о заболеваниях в развивающемся мире, ставит сложную задачу выяснить долгосрочное влияние этих уникальных соединений и проливают свет на развитие различных заболеваний.

Для снижения сахароёмкости и калорийности, повышения пищевой ценности изделий в кондитерском производстве используют различные многоатомные спирты – полиолы. Несмотря на то, что полиолы имеют сладкий вкус, они не дают скачка уровня сахара в крови и выброса инсулина, а это значит, что могут употребляться даже во время диет [1].

Цель этого статьи - обсудить данные о натуральных альтернативных подсластителях и их влиянии на гомеостаз глюкозы и другие

метаболические параметры за последние пять лет. Мы стремились ответить, оказывают ли обычные природные альтернативные подсластители положительное или отрицательное влияние на контроль уровня глюкозы как на людях, так и на животных, и поддерживают ли данные их широкое использование в качестве инструмента, помогающего снизить распространенность диабета и связанных с ним сопутствующих заболеваний. Недавние исследования показывают, что натуральные альтернативные подсластители могут уменьшить гипергликемию, улучшить липидный обмен и иметь антиоксидантные эффекты, особенно у тех, кто имеет исходный диабет. Диабет и метаболический синдром стали глобальным кризисом здравоохранения, и чрезмерное потребление сахара играет важную роль [2].

Чрезмерное потребление калорийной пищи, содержащей в своем составе большое количество легкоусвояемых углеводов, в сочетании с низкой физической активностью оказывают негативное воздействие на организм человека. Это может

привести к развитию «болезней цивилизации», сопровождающихся нарушениями углеводного и липидного обмена и способствующими, в частности, развитию ожирения и сахарного диабета. Тенденции формирования культуры питания современного человека обоснованы необходимостью создания новых продуктов, содержащих углеводы с низким гликемическим индексом (ГИ) или корректировке существующих рецептов с целью снижения в них рафинированных сахаров, а также повышения биологической и физиологической ценности. Один из вариантов расширения ассортимента подобных продуктов – применение сахарозаменителей и подсластителей, которые либо не содержат калорий, либо состоят из углеводов с низким гликемическим индексом.

Гликемический индекс указывает на гипергликемический потенциал содержащего углеводы продукта и, следовательно, на способность данного продукта вызывать выработку инсулина, количество которого будет пропорционально величине гипергликемии [3-4].

#### Гликемический отклик и реакция на инсулин некоторых сахарозаменителей по сравнению с сахарозой

Сахар или альтернативы	Гликемический отклик, г GGE/100 г	Степень	Инсулиновый отклик, г IGE/100 г
Мальтодекстрин	91	Высокая	90
Мальтоза	105	Высокая	-
Трегалоза	72	Высокая	51
Сахароза	68	Средняя	45
Лактоза	46	Низкая	-
Изомальтоза	37	Очень низкая	25
Глюкоза	100	Высокая	100
Фруктоза	19	Очень низкая	9
Тагатоza	3	Очень низкая	3
Эритрит	0	Очень низкая	2
Ксилит	12	Очень низкая	11
Сорбит	9	Очень низкая	11
Маннит	0	Очень низкая	0
Мальтит	45	Низкая	27
Изомальт	9	Очень низкая	6
Лактит	5	Очень низкая	4

По калорийности, представленные в таблице заменители сахара приблизительно равны калорийности сахарозы, за исключением лактата, изомальта и эритрита. Из первых двух, в результате их биологического окисления в организме, можно получить в 1,6-2 раза меньше калорий по сравнению с сахарозой, последний характеризуется нулевой калорийностью. Степень сладости возрастает в ряду лактит-изомальт-манит, сорбит-эритрит-ксилит, тагатоza-сахароза-фруктоза.

Тагатоza практически не отличается по калорийности и степени сладости от сахарозы. Таким образом, для дальнейших исследований выбираем в качестве заменителя сахара фруктозу и ксилит. В данной работе представлены результаты, полученные при введении в продукт фруктозы.

Фруктоза- моносахарид натурального происхождения с гликемическим индексом- 19 единиц (за 100 единиц принят ГИ сахарозы). При этом фруктоза слаще сахарозы в 1,5-1,7 раз, что

позволит снизить количество входящих в рецептуру простых сахаров и калорийность продукта в целом.

При оптимизации рецептуры вафель количество сахара заменяли эквивалентным по сладости количеством сахарозаменителя. Вычисления производили по формуле:

$$П = \frac{С}{К_{сл}}$$

где П- необходимое количество подсластителя, кг;

С- количество заменяемого сахара, кг;

Ксл- ориентировочный коэффициент сладости подсластителя.

Сахарин может оказывать противовоспалительное действие и полиолы могут вызывать желудочно-кишечные симптомы и проявления в зависимости от дозы и типа соединения. Прием ксилита, эритрита, сукралозы, аспартама, ацесульфама К и сахарина может увеличить секрецию желудочно-кишечных гормонов, регулирующих перистальтику кишечника, а стевия и ее производные могут оказать благоприятное влияние на процентное содержание жира в печени [5].

Фруктоза – это моносахарид, которого много в природе. Это самый сладкий природный углевод. Доступность фруктозы существенно возросла, когда в 1960-х годах стало возможным экономично производить сиропы с высоким содержанием фруктозы из кукурузного крахмала и других крахмалов [6].

Фруктоза – натуральный фруктовый сахар, который содержится во фруктах и ягодах, а также в цветочном нектаре, меде, семенах растений. Этот заменитель сахара слаще сахарозы в 1,7 раза. Преимущества фруктозы: низкая калорийность по сравнению с сахарозой (на 30%). Помимо этого, она не сильно влияет на уровень сахара в крови и разрешена к употреблению диабетикам. К тому же это один из немногих подсластителей, которые обладают консервирующим свойством, и ее применяют в приготовлении джемов и варенья для больных сахарным диабетом [7]. Такие сиропы с высоким содержанием фруктозы сейчас используются для подслащивания безалкогольных напитков, морсов, выпечки, джемов, сиропов и конфет. Самые последние доступные данные показывают, что потребление фруктозы увеличивается во всем мире. В настоящее время фруктоза составляет около 10% от среднего общего потребления энергии в Соединенных Штатах. Исследования как у здоровых, так и у больных диабетом показали, что фруктоза вызывает меньшее повышение уровня глюкозы в плазме и сывороточного инсулина после еды, чем другие обычные углеводы. Замена пищевой фруктозы на другие углеводы приводила к снижению среднего уровня глюкозы в плазме на 13% в исследовании пациентов с диабетом типа 1 и типа 2. Однако есть опасения, что фруктоза может усугубить липемию, особенно у мужчин. В одном исследовании

дневные триглицериды плазмы (оцененные путем определения площади под кривыми ответа) у здоровых мужчин были на 32% больше при диете с высоким содержанием фруктозы, чем во время диеты с высоким содержанием глюкозы. Есть также опасения, что фруктоза может быть фактором, способствующим росту распространенности ожирения во всем мире. Увеличение потребления фруктозы временно связано с увеличением ожирения. Более того, теоретически диетическая фруктоза может увеличить потребление энергии. Фруктоза стимулирует секрецию инсулина в меньшей степени, чем глюкоза и глюкозосодержащие углеводы. Поскольку инсулин увеличивает высвобождение лептина, более низкий уровень циркулирующего инсулина и лептина после приема фруктозы может подавлять аппетит в меньшей степени, чем потребление других углеводов, и приводить к увеличению потребления энергии. Тем не менее, пока нет убедительных экспериментальных доказательств того, что диетическая фруктоза действительно увеличивает потребление энергии. Хотя доказательства того, что фруктоза имеет побочные эффекты, ограничены, добавление фруктозы в рацион в больших количествах может быть нежелательным, особенно для мужчин[4]. Суточная доза не более 30-40г в сутки. Иногда фруктозу обогащают витамином С. Даже при полном переходе на фруктозу остается угроза возникновения ожирения, и прием этого углевода рассматривается как паллиативная мера [8].

Сорбит (Е 420). Этот заменитель сахара есть в абрикосах, яблоках, но больше всего его содержится в рябине. Простой сахар слаще сорбита в 3 раза. Этот природный подсластитель представляет собой многоатомный спирт с приятным сладковатым вкусом. В качестве консерванта его добавляют в соки и безалкогольные напитки. Сегодня применение этого заменителя сахара приветствуется: научный комитет экспертов по пищевым добавкам Европейского сообщества присвоил ему статус пищевого продукта. Сорбит помогает организму снижать расход витаминов, способствует улучшению микрофлоры ЖКТ. Этот заменитель — хорошее желчегонное средство. Пища на основе сорбита долго остается свежей. Если его употреблять в больших количествах, то он может вызывать побочные эффекты – тошноту, расстройство желудка, вздутие живота. Безопасная доза: не более 30-40г в сутки [5]. Поскольку сорбит не является углеводом, его можно использовать в диабетическом питании и при лечении ожирения. Коэффициент сладости 0,6 [6].

Высокая гигроскопичность сорбита, его способность удерживать воду очень ценна в кондитерском производстве для сохранения свежести изделий. Конфеты, помадки, мармелад, к которым добавлено 5 – 15 % сорбита, практически не высыхают. Благодаря свойству задерживать воду сорбит является прекрасным стабилизатором

влажности в продуктах питания при разных климатических условиях в течение длительного времени. Особое значение в этом отношении приобрел жидкий сиропобразный раствор сорбита, который не теряет свойств при варке, улучшая качество и стабилизируя концентрацию фруктовых соков, конфет, варенья. При употреблении сорбита и содержащих его кондитерских изделий следует учитывать содержание в них муки, жиров и других добавок, которые могут повлиять на гликемический профиль и калорийность диеты. Считается, что применение сорбита может быть длительным, однако целесообразно делать месячные перерывы через каждые 3 – 4 месяца после его употребления. Желательно чередовать прием сорбита с другими некалорийными сахарозаменителями [9].

Ксилит (E967). Этот заменитель получают из кочерыжек кукурузы и шелухи семян хлопка. Калорийность и степень сладости равны простому сахару. Правда, в отличие от обычного сахара ксилит положительно влияет на состояние зубов, а потому входит в состав некоторых зубных паст и жвачек. Этот сахарозаменитель медленно проникает в ткани и не влияет на уровень сахара в крови [5]. Суточная доза не более 40-50 г в сутки. Предотвращает развитие кариеса, повышает секрецию желудочного сока, обладает желчегонным и слабительными действиями [6]. Вкус ксилита ощущается большинством людей как приятный, не отличающийся от вкуса сахарозы. При введении в организм он всасывается более медленно, чем глюкоза, составляя 15 – 20 % скорости всасывания последней. Поэтому при употреблении больших доз ксилита он длительное время задерживается в кишечнике, в результате чего в нем накапливается большое количество жидкости, усиливается перистальтика. Ксилит, не являясь чужеродным веществом для организма, обладает низкой токсичностью и хорошей переносимостью. По опубликованным данным, ксилит не оказывает заметного влияния на содержание сахара в крови у здоровых и больных сахарным диабетом. Наибольший подъем уровня глюкозы в крови у здоровых лиц после приема 40 г ксилита внутрь составлял 20 мг %. В экспериментальных исследованиях было доказано, что сорбит и ксилит равноценны в качестве предшественников гликогена в печени здоровых крыс и животных с экспериментальным диабетом. Доказать синтез гликогена в мышцах из ксилита и сорбита не удалось [7].

Тауматин – это смесь белков, обладающих сладким вкусом. При повышении температуры до 75°C и 5 рН происходит денатурация белка и потеря сладости, но остается эффект усиленного аромата [1]. Тауматин имеет срок хранения не менее 36 месяцев при хранении при прохладной температуре. Характеризуется сладостью около 2000 раз. Выше, чем сахароза (по весу) и солодка послевкусие. Поскольку это белок, он подвергается такому же перевариванию в организме человека и обеспечивает 4 ккал / г, но из-за такой сладости его

используют в очень маленьких количества, таким образом, их калорийность в пище незначительна. Согласно JECFA и EFSA тауматин безопасен для использования в качестве подсластителя без указания ADI, который означает, что его можно использовать в соответствии с GMP. Однако в США он не был одобрен в качестве подсластителя, но имеет статус GRAS как усилителя вкуса. Здесь нет данные о мутагенных, аллергенных или тератогенных свойствах тауматина эффекты [8].

Тагатоza – это низкокалорийный подсластитель натурального происхождения со следующими функционально-технологическими свойствами: приближена к вкусовому профилю сахарозы, ее сладость составляет 92% от сладости сахарозы; имеет низкую энергетическую ценность ( ЭЦ = 1,5 ккал/г (6,3 кДж), в то время как у сахарозы ЭЦ = 4,0 ккал/г (16,8 кДж); является усилителем вкуса. Потребление D-тагатоza не вызывает увеличение концентрации глюкозы в крови или уровня инсулина, поэтому ее можно рассматривать как сахарозаменитель для людей, страдающих диабетом I и II типа.

Тагатоza по сравнению с другими сахарами характеризуется следующими эффектами позитивного действия на организм: проявляет пребиотические свойства; поддерживает иммунитет; подавляет развитие онкозаболеваний толстого кишечника и препятствует образованию биопленок; эффективна при лечении анемии и гемофилии; снижает риск возникновения кариеса. Тагатоza является безопасным и эффективным низкокалорийным подсластителем, который может использоваться для широкого ассортимента пищевых продуктов, в т.ч. при производстве здоровой и диетической пищи, конфет, жевательной резинки, пирожных, низкокалорийного мороженого и т.п. [9].

Изомальтулозу получают из натурального природного источника – сахарной свеклы, поэтому присваивает продукту природный сладкий вкус, а также обладает другими важными преимуществами. В отличие от сахарозы, гидролиз изомальтулозы в организме человека протекает с существенно меньшей скоростью, что является важным отличием. Скорость данного процесса для изомальтулозы в 4-5 раз меньше, чем для сахарозы. При потреблении изомальтулозы гликемическая реакция оказывается намного меньшей, чем в случае глюкозы и сахарозы. Продукты с низким значением гликемического индекса приносят более долгое состояние насыщения, сокращают аппетит и снижают возможность переедания. Бактерии, находящиеся в ротовой полости не способны разрушить соединение изомальтулозы, благодаря чему не образуется кислота, разрушающая зубную эмаль. Изомальт является безвредным натуральным сахарозаменителем для организма человека, без постороннего привкуса, запаха. Изомальтулоза не вызывает кариеса зубов, сокращает образование зубного налета и вредных для зубов кислот. Согласно научным исследованиям, уровень инсулина в крови, при

поглощении изомальтулозы, повышается намного медленнее и слабее в сравнении с сахарозой [10].

Из топинамбура в мировой практике получают чистый инулин, используемый для пищевой и фармакологической промышленности, фруктозные сиропы, спирт и другие продукты. Содержащийся в топинамбуре полифруктозан инулин при гидролизе расщепляется на фруктозу и практически не значимое количество глюкозы.

Среди перспективных натуральных подсластителей практический интерес для пищевой промышленности представляет стевियोзид (Е 960). Родиной стевии считается Парагвай. Листья стевии сладкие на вкус, так как в них находятся сладкие низкокалорийные вещества – дитерпеновые гликозиды, тип *ent*-каурены. При употреблении стевियोзида не происходит выброса инсулина в организме, что позволяет существенно снизить дозы инсулина у инсулинозависимых диабетиков. Также стевियोзид препятствует развитию гипогликемических и гипергликемических состояний у больных диабетом. Стевия является хорошим антибактериальным средством. Она гармонизирует все системы организма, обеспечивает тканевое дыхание и т.д. Все вышеперечисленное позволяет пропагандировать стевию и стевियोзид как заменитель сахара в диетическом и медицинском питании. Сладкие вещества стевии состоят из четырех дитерпеновых гликозидов: стевियोзид (5 – 16 %), ребаудиозид А (до 4 %), ребаудиозид С (до 1,4 %), дилкозид А (до 1 %). Кроме того, в листьях стевии обнаружены никотиновая кислота (флавоноиды), аминокислоты, пектины, эфирные масла, а также минеральные элементы, такие как Са, К, Р, Mg, Zn, Fe; органические вещества, включающие Со, Mn; витамины группы А, Е, С, Р (рутин), бета-каротин. Свежий лист стевии чуть слаще сахара, сухой лист – в 30 – 40 раз, экстракт – в 40 – 50 раз, концентрированный экстракт – в 80 – 120 раз. Дитерпеновые гликозиды: стевियोзид – в 210 раз, ребаудиозид А – в 242 раза, ребаудиозид С – в 30 раз, дулкозид – в 30 раз слаще сахара [7].

Помимо функции подслащивания, также был обнаружено, что стевियोзид проявляет антимикробную активность, но необходимы дальнейшие исследования. В клинических исследованиях, в гликозидах стевии выражены антигипергликемические, инсулинотропные, глюкагоностатические и гипотензивные эффекты. Гликозиды стевии используются в качестве сильнодействующих подсластителей в чае, лекарствах, продуктах питания и напитках во многих странах, такие страны, как Япония, Китай, Россия, Корея, Парагвай, Аргентина, Индонезия, Малайзия, Австралия, Новый Зеландия и Южная Америка. По данным JECFA (Совместного эксперта Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН /

Всемирной организации здравоохранения). Комитет по пищевым добавкам) стевииоловые гликозиды являются безопасными для употребления в пищу человеком в качестве немедицинского ингредиента до 4 мг / кг массы тела / день [8].

Эритритол в максимальной степени отвечает понятиям 100% природного и натурального компонента. Это связано с тем, что, во первых, эритритол естественным образом входит в состав многих видов фруктов, овощей и других продуктов: фасолевая паста – 1300 мг/кг; соевый соус – 910 мг/кг; рисовая водка – 1550 мг/кг; виноградное вино – 130–300 мг/л; фруктовые ликеры – 70 мг/л; дыни – 22–50 мг/кг; груши – до 40 мг/ кг; виноград – до 42 мг/кг. Во-вторых, в промышленных масштабах его получают из природного крахмалсодержащего сырья, например, кукурузы, тапиоки и т. п., методами, обычно широко применяемыми в пищевой технологии, такими, как ферментация с использованием природных видов дрожжей, выделяемых с этой целью, например, из свежей пыльцы растений, попадающей в пчелиные соты. Внешне эритритол представляет собой белый кристаллический порошок с чистым сладким вкусом, подобным вкусу сахарозы, со сладостью, равной 60–70 % от ее степени сладости. Благодаря отсутствию в молекуле эритритола функциональных групп с высокой реакционной способностью он обладает значительной термической стабильностью при нагревании до температуры, превышающей 180 °С, что благоприятствует его использованию при производстве многих видов, например, хлебобулочных и кондитерских изделий. Эритритол отличается также высокой химической стойкостью в широком диапазоне pH (от 2 до 12), а также биохимической устойчивостью по отношению к действию многих видов микроорганизмов и грибов. По сравнению с сахарозой и рядом других полиолов эритритол имеет очень низкую гигроскопичность, что облегчает создание условий для осуществления его длительного хранения. Важен вопрос о метаболизме эритритола в организме человека, что, в частности, определяет его энергетическую ценность. В результате многочисленных экспериментальных исследований было установлено, что эритритол в организме практически не усваивается, в связи с чем калорийность эритритола очень низка и составляет от 0 до 0,2 ккал/г (в зависимости от пищевого фона) по сравнению с 4 ккал/г для сахарозы. Физиологические исследования и клинические испытания эритритола позволили сделать важный вывод о том, что его потребление не приводит к сдвигу в плазме крови уровней содержания глюкозы и инсулина. Это открывает возможность включения эритритола в качестве эффективного сахарозаменителя в рацион больных диабетом [12].

## Некоторые свойства заменителей сахара по сравнению с сахарозой

Свойства	Гигроскопичность	Кариесогенность	Степень сладости, относительно сахарозы	Энергетическая ценность, ккал/г(ЕС)
Сахароза	Низкая	Да	1,0	4,0
Фруктоза	Высокая	Нет	1,7	3,7
Тагатоза	Низкая	Нет	0,9	3,9
Эритрит	Низкая	Нет	0,7	0,0
Ксилит	Высокая	Нет	0,9	3,7
Сорбит	Высокая	Нет	0,6	3,5
Маннит	Низкая	Нет	0,6	3,7
Изомальт	Низкая	Нет	0,5	2,4
Лактит	Низкая	Нет	0,4	2,0

## Список литературы:

1. Жаббарова С.К. Технология продовольственных продуктов. Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий // *Universum: технические науки*. 2019. № 2. С. 51-53.
2. Emily Mejia, Michelle Pearlman. Natural Alternative Sweeteners and Diabetes Management. 2019;19(12):142.
3. Bueno-Hernández N, Vázquez-Frías R, Abreu Y Abreu A, Almeda-Valdés P, Barajas-Nava L, Carmona-Sánchez R, Chávez-Sáenz J, Consuelo-Sánchez A, Espinosa-Flores A, Hernández-Rosiles V, Hernández-Vez G, Icaza-Chávez M, Noble-Lugo A, Romo-Romo A, Ruiz-Margaín A, Valdovinos-Díaz M, Zárate-Mondragón F. Review of the scientific evidence and technical opinion on noncaloric sweetener consumption in gastrointestinal diseases. 2019;84(4):492-510.
4. John P Bantle. Is fructose the optimal low glycemic index sweetener? 2006;11:83-95.
5. Егорова И.А., Комарова С.Г. О пользе и вреде сахарозаменителей // *Успехи в химии и химической технологии*. ТОМ XXIX. 2015. № 2. С. 51-53.
6. Громова О.А., Ребров В.Г. Сахарозаменители. Вопросы эффективности безопасности и применения // *Трудный пациент*. 2007. № 12-13. С. 47-49.
7. Канарская З.А., Демина Н.В. Тенденции в производстве сахарозаменителей. С. 145-153.
8. Rocz Panstw Zakl Hig. Review article natural sweeteners in a human diet. Medical University of Gdansk, Department of Food Sciences, Gdansk, Poland. 2015;66(3):195-202.
9. Пашенко Л.П., Колосова Г.В. Натуральный сахарозаменитель в технологии пищевых продуктов // *Вестник ВГУИТ*. 2013. № 3. С. 114-117.
10. Баранов Б.А., Бондаренко Д.С., Шишкина Д.Е. Натуральный сахарозаменитель изомальт, его свойства и особенности, роль в функциональном питании // *Химические науки*. Евразийский научный журнал. С. 352-354.
11. Доценко В.Ф., Дробот В.И. Перспективы использования сахарозаменителей // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1994. № 5-6. С. 10-11.
12. Штерман С.В., Тужилкин В.И., Манеров Ю.В. Эритритол – натуральный сахарозаменитель XXI века // *Пищевая промышленность. Адекватное питание. Функциональные продукты*. 2008. № 8. С. 24-25.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 51-76+574.45

ГРНТИ 27.35.43; 87.03.17

---

## К ПОСТРОЕНИЮ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.91.1474

*Воротынцева Александр Васильевич**Канд. физ.-мат. наук, г. Москва**ФИЦ ИУ РАН, Москва, Вавилова, 40. Россия*

### АННОТАЦИЯ

Исследуется математическая модель оптимизации роста и развития растительного покрова. Для постоянных параметров среды (влажность, температура почвы и растений) выбором ростовых функций и отношения биомасс листьев и корней в явных общих выражениях найдено сбалансированное оптимальное распределение ассимилятов фотосинтеза, максимизирующее в конце 3-х фаз роста и развития растительного покрова его репродуктивную биомассу. Полученные выражения содержательно интерпретированы и их можно рассматривать в качестве основы для адаптивной модели продуктивности растительного покрова и влагопереноса в почве в условиях постоянной или медленно меняющейся среды.

### ABSTRACT

A mathematical model for optimizing the growth and development of plant cover is investigated. For constant environmental parameters (humidity, soil and plant temperature), a balanced optimal distribution of photosynthetic assimilates was found by the choice of growth functions and the ratio of leaf and root biomass in explicit general terms, maximizing its reproductive biomass at the end of 3 phases of growth and development of plant cover. The expressions obtained are meaningfully interpreted and can be considered as the basis for an adaptive model of plant productivity and moisture transfer in soil in a constant or slowly changing environment.

**Ключевые слова:** распределение ассимилятов фотосинтеза, ростовые функции, оптимизация продуктивности агроценоза, физиология растений, агроценоз, моделирование.

**Keywords:** distribution of photosynthetic assimilates, growth functions, productivity optimization of agrocenosis, plant physiology, agrocenosis, simulation

### Введение

Моделирование динамики роста биомасс и развития органов растений в естественной экосистеме почва-растительный покров (ПРП) – одна из базовых задач описания функционирования агроценозов, прогнозирования их урожайности и оценивания загрязнений ПРП. Процессы фотосинтеза и транспирации РП тесно связаны. Распределение ассимилятов влияет на транспирацию РП и, следовательно, на перенос почвенной водой растворенных веществ, т.е. является базовым для описания ПРП. Поэтому важно формализовать эти процессы системно и наиболее просто для практического использования.

Особый интерес представляют исследования модельных механизмов адаптации растительного покрова (РП) с помощью вариационных методов и методов теории оптимального управления. В статье на основе математической модели распределения ассимилятов фотосинтеза РП и потоков тепла и влаги в ПРП исследуется и определяется оптимальное распределение ассимилятов, максимизирующее биомассу репродуктивных органов в конце заданного отрезка времени.

Следуя [6] предполагается, что механизм распределения ассимилятов фотосинтеза описывается ростовыми функциями. Такой подход позволяет исключить описание сложных механизмов регуляции в растениях и создать сравнительно простые правдоподобные модели, пригодные для моделирования экосистемы ПРП, в

частности для мониторинга и прогнозирования продуктивности и загрязнения ПРП, процессов переноса влаги и солей в почве.

Важно отметить, что сложность экосистемы ПРП, а также сложности ее представления исследователю или управляющему приводят к потребности в различных представлениях в зависимости от предпочтений пользователя и имеющихся у него наборов входных данных. При этом главные предпочтения заключаются в простоте, содержательности интерпретации и наглядности представлений.

Таким образом, экосистему ПРП правильно представлять библиотекой согласованных, взаимодействующих и доступных моделей базовых процессов. Одна из простейших базовых моделей ПРП для такой библиотеки выводится здесь.

Полученные выражения можно рассматривать как основу адаптивной модели продуктивности растительного покрова (РП) и водного режима почвы в условиях постоянной или медленно меняющейся среды.

Автор благодарит д. ф.-м. наук, чл.-корр. РАН И.Г. Поспелова и д.ф.-м. наук, академика РАЕН А.М.Тарко, д.т.н. А.Г. Топаж за внимание к работе, а также всех, прямо или косвенно имевших отношение к работе.

**1. Схема переноса влаги, тепла и  $CO_2$  в РП и почве**

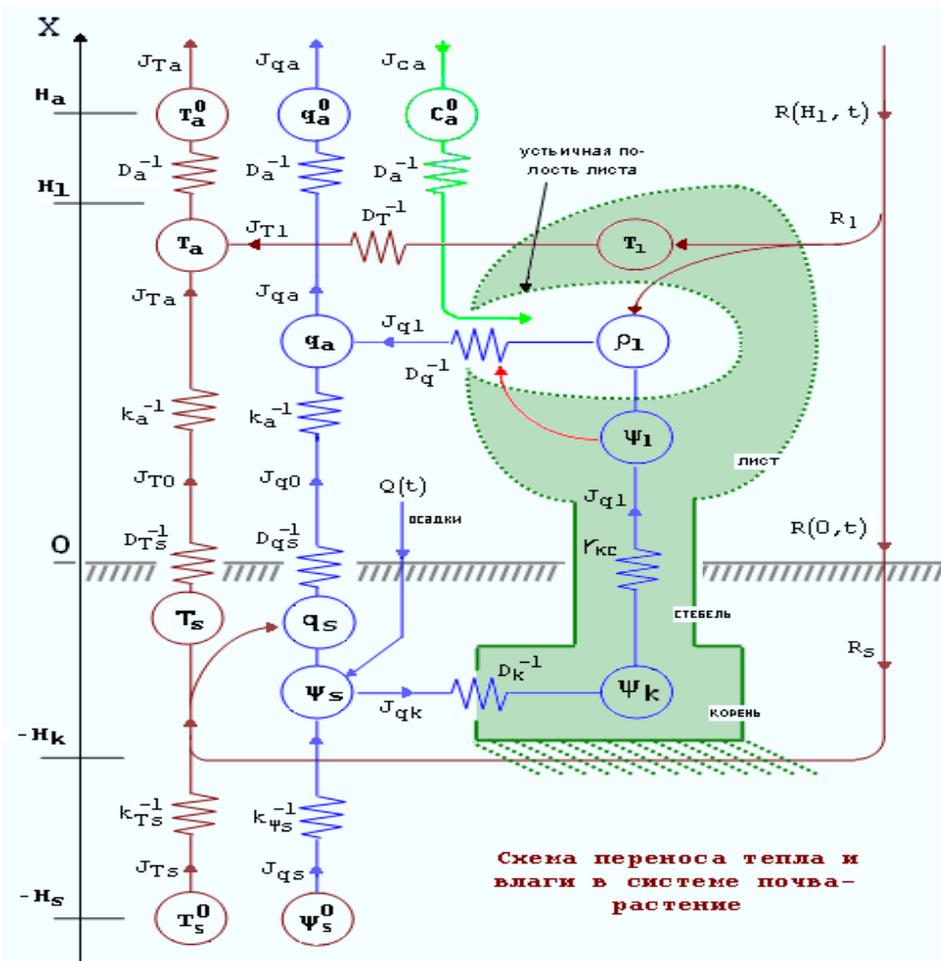


Рисунок 1.1. Схема переноса влаги, тепла и CO<sub>2</sub> в РП и почве.

На рисунке 1.1 представлена схема потоков тепла и влаги в системе почва-растение. Зигзагами изображены сопротивления, которые испытывают потоки тепла и влаги. Например, поток водяного пара из листьев в межлистное пространство, испытывающий сопротивление  $D_a^{-1}$ , равен  $J_{qa} = -D_a^{-1} \frac{\partial q_a}{\partial x}$ , где  $q_a$  и  $q_l$  – концентрации пара внутри и вне листьев.

**2. Системы уравнений переноса тепла, влаги и CO<sub>2</sub> в РП**

Моделирование переноса тепла и влаги в РП является одной из главных задач, поскольку от него

$$\begin{aligned}
 J_{Ta} &= -c_p k_a \frac{\partial T_a}{\partial x}, \\
 c_p \frac{\partial T_a}{\partial t} &= -\frac{\partial J_{Ta}}{\partial x} + f_{Tl}, \\
 f_{Tl} &= c_p D_T S_l (T_l - T_a) p_l, \\
 f_{Tl} + \chi f_{ql} &= \frac{\partial R_{ll}}{\partial x},
 \end{aligned}$$

и 2 системы (2.5)-(2.7) для температуры поверхности  $T_s$  и водного потенциала  $\psi_s < 0$ , почвы,  $-H_s \leq x \leq 0$ :

$$\begin{aligned}
 J_{Ts} &= -c_p k_{Ts} \frac{\partial T_s}{\partial x}, \\
 c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} &= -\frac{\partial J_{Ts}}{\partial x}, \\
 f_{\psi s} &= J_{ql} p_k + D_k S_k (\psi_s - \bar{\psi}_s) p_k,
 \end{aligned}$$

а также подсистему (2.8)-(2.9) для концентрации CO<sub>2</sub> при  $0 \leq x \leq H_l$ :

$$J_{ca} = -k_a \frac{\partial c_a}{\partial x} \quad (2.8)$$

зависит поглощение питательных веществ из почвы, а также поглощение CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза и его преобразование в биомассу органов РП.

В слое  $0 \leq x \leq H_l$  растительного покрова и корнеобитаемом слое почвы  $-H_s \leq x \leq 0$  рассмотрим, следуя [1], [2], [3], [4] и их обозначениям, четыре связанные системы уравнений: 2 системы уравнений (2.1)-(2.4) для температуры воздуха, листьев, концентрации водяного пара в межлистном воздухе, в устьичных полостях листьев:

$$\begin{aligned}
 J_{qa} &= -k_a \frac{\partial q_a}{\partial x}, & q_l & & (2.1) \\
 \frac{\partial q_a}{\partial t} &= -\frac{\partial J_{qa}}{\partial x} + f_{ql}, & & & (2.2) \\
 f_{ql} &= D_q S_l (q_l - q_a) p_l, & & & (2.3) \\
 & & & & (2.4)
 \end{aligned}$$

$$J_{\psi s} = -k_{\psi s} \frac{\partial \psi_s}{\partial x}, \quad (2.5)$$

$$c_{\psi} \frac{\partial \psi_s}{\partial t} = -\frac{\partial J_{\psi s}}{\partial x} - f_{\psi s}, \quad (2.6)$$

$$f_{\psi s} = J_{ql} p_k + D_k S_k (\psi_s - \bar{\psi}_s) p_k, \quad (2.7)$$

$$\partial c_a / \partial t = -\partial J_{ca} / \partial x + f_{cl}, \tag{2.9}$$

$$f_{cl} = D_c S_l (c_l - c_a) p_l, D_c^{-1} = 1 / (r_{st}^{-1} + r_{cut}^{-1}) + r_{mes}, \tag{2.10}$$

с крайними условиями (2.11)-(2.15):

$$J_{Ta} = T_a \bar{D}_a (T_a^0 - T_a), \quad q_a = q_a^0(t), \quad x = H_a; \tag{2.11}$$

$$f_{ca} \equiv D_a (c_a - c_a^0); \quad J_{qa} = D_a (q_a - q_a^0), \quad x = H_l; \tag{2.12}$$

$$J_{Ta} = c_p D_{Ts} (T_s - T_a), \quad J_{qa} = D_{qs} (q_s - q_a), \quad x = 0; \tag{2.13}$$

$$J_{ca} = 0; \quad -J_{\psi_s} + J_{qa} = Q(t), \quad x = 0; \tag{2.14}$$

$$J_{Ta} + \chi J_{qa} - J_{Ts} = R(0, t), \quad \psi_s = \psi_s^0, \quad x = -H_s; \tag{2.15}$$

$$T_s = T_s^0, \tag{2.15}$$

Транспорт воды в растениях и транспирация  $J_{ql}$  регулируется водным потенциалом листьев  $\psi_l$ , устьичным сопротивлением  $r_{st}$  листьев и описывается нелинейными выражениями:

$$J_{ql} = \int_0^{H_l} f_{ql} dx, J_{ql} = D'_k (\bar{\psi}_s - \psi_l), \text{ при } \psi_m < \psi_l < \bar{\psi}_s < 0, \text{ где} \tag{2.16}$$

$$1/D_q = 1/D_T + r_{st} 1/D'_k = r_{kc} + 1/(D_k S_k); \bar{\psi}_s = \int_{-H_k}^0 \psi_s p_k dx;$$

$$r_{st}(\mu_l) = r_{s0}(1 - \delta_l \mu_l)(1 - \mu_l)^{-1}, 0 < \mu_l \equiv \psi_l / \psi_m < 1$$

иначе  $J_{ql} = 0$ , при  $\bar{\psi}_s \leq \psi_m < 0$ .

### 3. Модель транспорта влаги и испарения

Распределение ассимилятов фотосинтеза, определяющее биомассы корней и листьев, тесно связано с транспортом воды в растениях и почве. Поэтому приведем здесь описание соответствующей модели влагопереноса.

В слое почвы  $[-H_s, 0]$  выделим верхний корнеобитаемый слой  $[-H_k, 0]$  с однородной

$$c_\psi(\bar{\psi}_s) H_k \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + J_{qa}(\bar{\mu}_s) - Q(t) - J_{\psi_{shk}} = 0, \quad -H_k \leq x \leq 0; \tag{3.1}$$

$$c_\psi(\bar{\psi}_s) = -\frac{1}{\alpha \bar{\psi}_s}, \bar{\psi}_s = \bar{\mu}_s \psi_m; \tag{3.2}$$

$$c_\psi(\psi_s) \frac{\partial \psi_s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} J_{\psi_s} = 0, J_{\psi_s} = -k_{\psi_s} \partial \psi_s / \partial x; \quad -H_s \leq x \leq H_k \tag{3.2}$$

$$J_{\psi_s} = J_{\psi_{shk}}, \psi_s = \bar{\psi}_s; \quad x = -H_k; \tag{3.3}$$

$$\psi_s = \psi_s^0(t), \quad x = -H_s; \tag{3.4}$$

$$J_{qa}(\bar{\mu}_s) = J_{qa}^+ \frac{1+b\beta(\bar{\mu}_s)}{1+\beta(\bar{\mu}_s)}, J_{ql} = \frac{J_{qa}^+}{1+\beta}, \tag{3.5}$$

при  $0 < \bar{\mu}_s < 1, J_{qa}(\bar{\mu}_s) = bJ_{qa}^+$ , при  $1 < \bar{\mu}_s$ .

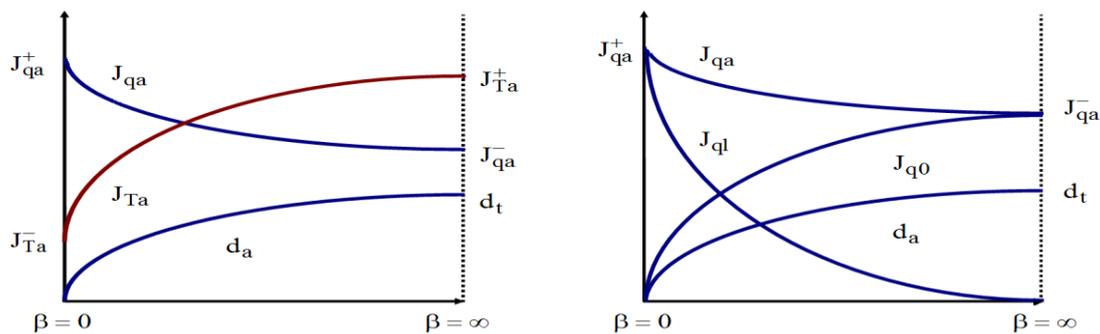


Рисунок 3.1 - Поток тепла  $J_{Ta}$ , влаги  $J_{qa}$  и транспирация  $J_{ql}$  в РП

$$\beta = \frac{(D_a + D_s) r_{stt} (1 - \delta_l \bar{\mu}_s)}{S_l (1 - \bar{\mu}_s)} + A_{kc} \frac{J_{qa}^+(t)}{S_k} \frac{1}{1 - \bar{\mu}_s}. \tag{3.6}$$

Заметим, что уравнение Ричардса - не единственная модель, используемая для описания переноса влаги в почве.

### 4. Распределение ассимилятов фотосинтеза в РП

Интегрируя поток углерода в листья  $f_{cl} =$

$D_c S_l (c_l - c_a) p_l$  на  $0 \leq x \leq H_l$  в (2.10) получим систему (4.1) относительно фотосинтеза  $\Phi_0$  и систему (4.2)-(4.3) распределения долей  $\rho_i(t)$  ассимилятов  $\Phi'$  по биомассам  $m_i$  с учетом дыхания  $\bar{R}'_i(T_l) m_i \Delta t$  поддержания и дыхания  $\bar{R}_i \Delta m_i$  роста :

$$\Phi_0 = \frac{c_a^0 - c_l}{r_1}, \frac{\varepsilon_{\varphi} \sigma(T)}{\Phi_0} = \frac{1}{\alpha I_{\varphi}} + \frac{r_c}{c_l}, \text{ где} \quad (4.1)$$

$$\Phi_0 \approx c_a^0 D_q = \frac{1 - \bar{\mu}_s}{B_1 \lambda + B_2} \frac{\lambda}{r_{s0}} c_a^0;$$

$$\Delta m_i = \tilde{\rho}_i(t) \Phi' \Delta t - \tilde{R}'_i(T_i) m_i \Delta t - \tilde{R}_i \Delta m_i, \Phi' = S_i \tau \Phi_0, \text{ или} \quad (4.2)$$

$$\dot{m}_i = \tilde{\rho}_i(t) M \tilde{F} - R'_i m_i, \tilde{F} = \frac{1}{M} \frac{\Phi'}{1 + \tilde{R}_i}; \quad (4.3)$$

$$R'_i = \tilde{R}'_i(T_i) (1 + \tilde{R}_i), \sum \tilde{\rho}_i(t) = 1, \tilde{\rho}_i(t) \geq 0, i \in \{l, k, R, s\}. \quad (4.4)$$

Из выражений (4.1) – (4.2), составляющих основу прикладных продукционных моделей РП следует, что в модели под биомассой  $m_i$  понимается масса углерода, содержащаяся в  $i$ -м органе растения. При этом полагается, что умножением на известную константу можно пересчитать  $m_i$  в массу  $i$ -го органа, а также, например, в площадь листьев или в всасывающую

$$F = (1 - \tilde{\rho}_s)^{-1} \tilde{F}, \rho_i = (1 - \tilde{\rho}_s) \tilde{\rho}_i, \text{ где } \tilde{\rho}_s = \tilde{\rho}_s(t) \quad (4.5)$$

- заданная экспериментально определяемая функция, удовлетворяющая уравнению (4.3) для  $i=s$ . Перепишем (4.3) только для  $i = \{l, k, R\}$  в

поверхность корней. Так, отношение площади и массы листьев к массе углерода в этих листьях предполагается заданным.

Моделирование роста биомассы  $m_s$  стеблей представляет сложную задачу. Включим в модель биомассу  $m_s$  следующим образом. В (4.3) выполним замену

$$\dot{m}_i = \rho_i(t) M F - R'_i m_i, F = \frac{1 - \tilde{\rho}_s}{M} \frac{\Phi'}{1 + \tilde{R}_i}, \quad (4.6)$$

$$\rho_l + \rho_k + \rho_R = 1, i = \{l, k, R\}.$$

Далее в адаптивную модель будем включать новые уравнения (4.6) вместо уравнений (4.3), напоминая о переходе (4.5) к старым переменным.

новых обозначениях

### 5. Модель роста и развития биомасс РП при дефиците влаги

Получим из (4.3) уравнение для общей биомассы  $M$  корней и листьев:

$$\dot{M} = \dot{m}_l + \dot{m}_k = (1 - \rho_R) M F - (R'_l m_l + R'_k m_k) = \{(1 - \rho_R) F - R'_{lk}\} M.$$

Получим уравнение для отношения  $\lambda$  биомассы  $m_k$  корней к биомассе  $m_l$  листьев:

$$\dot{m}_k = \lambda \dot{m}_l + \lambda \dot{m}_l = \lambda \dot{m}_l + \lambda \{\rho_l M F - R'_l m_l\} = \rho_k M F - R'_k m_k,$$

$$\begin{aligned} \dot{\lambda} m_l &= (\rho_k - \lambda \rho_l) M F - (R'_k \lambda - R'_l \lambda) m_l \\ &= (\rho_k - \lambda \rho_l) (1 + \lambda) m_l F - \lambda (R'_k - R'_l) m_l \end{aligned}$$

Сокращая на  $m_l$  получаем искомое уравнение.

Таким образом, уравнения модели имеют вид:

$$\dot{M} = M \{(1 - \rho_R) F - R'_{lk}\}, \dot{m}_R = \rho_R M F - R'_R m_R, \quad (5.1)$$

$$\dot{\lambda} = (\rho_k - \lambda \rho_l) (1 + \lambda) F - (R'_k - R'_l) \lambda, \quad (5.2)$$

$$\dot{\bar{\mu}}_s = \alpha_w \bar{\mu}_s [J_{qa}(\bar{\mu}_s) - Q(t) - J_{\psi sHK}], \quad (5.3)$$

с ограничениями

$$\phi_M \equiv -M \{F - R'_{lk} - \rho_R F\} = -\frac{d}{dt} M \leq 0, \quad (5.4)$$

$$\phi_R \equiv -\{\rho_R F M - R'_R m_R\} = -M \{\rho_R F - R'_{lk} \lambda_R\} = -\frac{d}{dt} m_R \leq 0, \quad (5.5)$$

$$\phi_{\rho} \equiv -\rho_R \leq 0, \quad (5.6)$$

$$\frac{d}{dt} \lambda = \{(\rho_k - \lambda \rho_l) (1 + \lambda) F - \lambda (R'_k - R'_l)\}, \rho_l + \rho_k + \rho_R = 1, \rho_i \geq 0. \quad (5.7)$$

Здесь интенсивность фотосинтеза  $F$ , коэффициенты дыхания  $R'_i$ , биомассы  $m_i$ ,  $M$ , отношение биомасс  $\lambda$ , водный потенциал  $\bar{\mu}_s$  и испарение  $J_{qa}$  почвы имеют вид:

$$\lambda = \frac{m_k}{m_l}, M = m_l + m_k, m_l = \frac{1}{1 + \lambda} M, m_k = \frac{\lambda}{1 + \lambda} M, \quad (5.8)$$

$$R_{ik} = R'_{lk}(\lambda, p) = \frac{R'_i(p) + R'_k(p) \lambda}{1 + \lambda}, \beta(\bar{\mu}_s) = \frac{c}{M F}, C = \frac{(D'_a + D'_s) r_{s0}}{\beta_l \Phi_1^{-1}}.$$

$$F = F(\lambda, p) \equiv \frac{1}{M} \frac{\Phi'}{1 + \tilde{R}_i}, J_{qa}(\bar{\mu}_s, p) = J_{qa}^+(t) \frac{1 + b\beta(\bar{\mu}_s)}{1 + \beta(\bar{\mu}_s)},$$

**6. Модель сбалансированного оптимального роста биомасс РП**

Рассмотрим задачу нахождения управления  $u = (\lambda, \rho_R)$  системой (5.1) с фазовыми переменными  $x = (M, m_R)$  и с ограничениями (5.4)-(5.7) на заданном отрезке времени  $[0, T]$ , максимизирующего репродуктивную биомассу  $m_R(T)$  при постоянных параметрах  $p$  среды.

$$\dot{\psi}_M = -\frac{\partial}{\partial M} \bar{H}_1, \dot{\psi}_R = -\frac{\partial}{\partial m_R} \bar{H}_1; \tag{6.1}$$

$$\psi_M(T) = 0, \psi_R(T) = -\frac{\partial}{\partial m_R} \mathfrak{J} = 1; \tag{6.2}$$

где

$$H(\lambda, \rho_R, \psi_M, \psi_R, M, m_R, p) = \psi_M \dot{M} + \psi_R \dot{m}_R; \tag{6.3}$$

$$\bar{H}_1 = H - h_M \phi_M - h_\rho \phi_\rho - h_R \phi_R = H(\lambda, \rho_R, \bar{\psi}_M, \bar{\psi}_R, M, m_R, p) + h_i \rho_i; \tag{6.4}$$

$$\bar{\psi}_M = \psi_M + h_M, \bar{\psi}_R = \psi_R + h_R, h_i \geq 0.$$

а также максимизировать

$$H(u^*, \psi^*, x^*) = \max_{u=(\lambda, \rho_R)} H(u, \psi^*, x^*). \tag{6.5}$$

Обозначим через  $\lambda^* = \lambda^*(p)$  решение уравнения

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} [F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)] = 0, \tag{6.6}$$

доставляющее максимум удельной интенсивности нетто-фотосинтеза  $F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)$ . Пусть, как в данной модели, этот максимум единственный. Обозначим через

$$\tau_2 = T - \frac{1}{R_R} \ln \left( 1 + \frac{R_R}{F - R'_{lk}} \right) \tag{6.7}$$

момент переключения оптимального  $\rho_R(t)$ . Заметим, что

$$\tau_2 \approx T - (F - R'_{lk})^{-1}, \text{ при } \varepsilon = R'_R * (F - R'_{lk})^{-1} \approx 0.$$

Обозначим через  $\tau_1 < \tau_2$  наименьший момент времени, когда (5.7) при допустимых  $\rho_i$  переводит начальное значение  $\lambda(0) = \lambda^0$  в значение  $\lambda(\tau_1) = \lambda^*$ . Эти управления легко вычисляются с помощью (5.7).

**Теорема.** Пусть:

А)  $\lambda^* = \lambda^*(p)$  - единственный максимум функции  $F_R(\lambda, p) = F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)$ , причем  $F_R(\lambda^*, p) > 0$ ;

$$\lambda^*(p) = \arg \max_{\lambda} \{F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)\}; \tag{6.8}$$

$$\rho_R(t) = 0, \text{ если } \tau_1 < t \leq \tau_2; \rho_R(t) = (F - R'_{lk})F^{-1}, \text{ если } \tau_2 \leq t \leq T; \tag{6.9}$$

$$\rho_l = (1 + \lambda)^{-1} a_R - A_R, \rho_k = \lambda(1 + \lambda)^{-1} a_R + A_R, \tag{6.10}$$

$$a_R = 1 - \rho_R, A_R = \frac{\lambda}{F} \frac{\partial}{\partial \lambda} F;$$

$$\frac{d}{dt} \ln M = F - R'_{lk}, \text{ если } \tau_1 < t \leq \tau_2; \frac{d}{dt} \ln M = 0, \tau_2 < t \leq T; \tag{6.11}$$

$$m_l = (1 + \lambda)^{-1} M, m_k = \lambda(1 + \lambda)^{-1} M, \tau_1 \leq t \leq T; \tag{6.12}$$

$$m_R(T) = M(T) * (1 + \varepsilon)^{-1}, \text{ где } \varepsilon = R'_R * (F - R'_{lk})^{-1}. \tag{6.13}$$

Доказательство. Получим из (6.3)

$$H = (F - R'_{lk})M\psi_M + \rho_R(\psi_R - \psi_M)MF - R'_R m_R. \tag{6.14}$$

Из (6.2) следует, что на некотором интервале вблизи точки  $t = T$  разность  $\psi_R - \psi_l > 0$ . Поэтому максимум  $H$  по  $\rho_R \geq 0$ , исходя из ограничения (5.1), достигается при  $\rho_R = (F - R'_{lk})F^{-1}$ . Это значение  $\rho_k$  меняется в момент  $t = \tau_2$ , при котором

Начальные условия заданы:  $M(0) = M^0, m_R(0) = 0, \lambda(0) = \lambda^0$ .

Согласно принципу максимума Понтрягина [5] оптимальное управление  $u^* = (\lambda^*, \rho_R^*)$  и оптимальная траектория  $(\psi^*, x^*), \psi^* = (\psi_M^*, \psi_R^*), x^* = (M^*, m_R^*)$ , минимизирующее функционал  $\mathfrak{J}(x, T) = -m_R(T)$  для системы (5.1), (5.4)-(5.7) должны удовлетворять следующей системе уравнений

$$\tag{6.1}$$

$$\tag{6.2}$$

$$\tag{6.3}$$

$$\tag{6.4}$$

$$\tag{6.5}$$

решение

$$\tag{6.6}$$

этого максимума единственны. Обозначим через

$$\tag{6.7}$$

момент переключения оптимального  $\rho_R(t)$ . Заметим, что

$$\tau_2 \approx T - (F - R'_{lk})^{-1}, \text{ при } \varepsilon = R'_R * (F - R'_{lk})^{-1} \approx 0.$$

В) внешняя среда  $p(t) = p$  постоянна, в том числе водный потенциал  $\bar{\mu}_s$ , температура и т.д.

Тогда оптимальные ростовые функции  $\rho_i(t)$  и оптимальные траектории биомасс  $M(t), m_i(t)$  имеют следующий вид, где  $\lambda = \lambda^*(p)$ :

$$\tag{6.8}$$

$$\tag{6.9}$$

$$\tag{6.10}$$

$$\tag{6.11}$$

$$\tag{6.12}$$

$$\tag{6.13}$$

Доказательство. Получим из (6.3)

$$\tag{6.14}$$

разность  $\psi_R - \psi_M$  переходит через 0. При постоянных параметрах  $p$  среды эту разность нетрудно вычислить и получить точное значение (6.7) для  $\tau_2$ . Таким образом при  $\tau_2 < t \leq T$  функция

$H = (F - R'_{lk})\psi_R M - R'_R m_R$  достигает максимума при  $\rho_R$  из (6.9) и  $\lambda = \lambda^*(p)$  из (6.8).

При  $\tau_1 < t \leq \tau_2$  разность  $\psi_R - \psi_M < 0$  и, следовательно,  $\rho_R = 0$ . Аналогично функция

$$\frac{d}{dt} \{e^{R'_R t} m_R\} = M(\tau_2) \{F(\lambda^*, p) - R'_{lk}(\lambda^*, p)\} e^{R'_R t}, \text{ при } \tau_2 < t \leq T.$$

$H = (F - R'_{lk})\psi_M M$  достигает максимума при  $\rho_R$  и  $\lambda = \lambda^*(p)$  из (6.9) и (6.8). Далее, заметим, что

Отсюда получим (6.13). Теперь оставшиеся в (6.8) - (6.13) выражения доказываются простыми вычислениями, [2], [3]. Траектория,

удовлетворяющая (6.8)-(6.13), существует; она - единственная и поэтому оптимальная. Доказательство закончено.

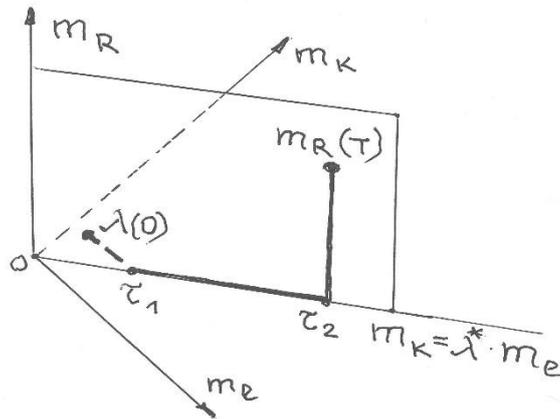


Рисунок 6.1. Оптимальные траектории биомасс  $m_i$ ,  $i \in \{l, k, R\}$ .

Отметим, что в этой теореме снято сильное ограничение - равенство  $R'_l = R'_k$ , что существенно обобщает прежние результаты [2],[3],[4].

$$\frac{\dot{M}}{M} = [(1 - \rho_s)F - R'_{lk}] = \frac{\dot{m}_s}{m_s} = \rho_s \frac{M}{m_s} - R'_s, \quad (6.15)$$

на оптимальной траектории, если дополнительно предположить постоянство  $m_s/M$ .

Оптимальное решение (6.8) - (6.13) выделяет 3 фазы развития РП: 1-я начальная фаза на  $[0, \tau_1]$  скорейшего выхода на магистраль с максимальной удельной интенсивностью нетто-фотосинтеза  $F(\lambda^*, p) - R'_{lk}(\lambda^*, p)$ , 2-я фаза сбалансированного экспоненциального роста  $\frac{d}{dt} \ln M = F(\lambda^*, p) - R'_{lk}(\lambda^*, p)$  биомассы  $M = m_l + m_k$  на этой магистрали  $m_k = \lambda^* m_l$  с постоянным  $\lambda^*$ , при  $t \in [\tau_1, \tau_2]$ , 3-я фаза роста репродуктивной биомассы  $m_k$  при  $t \in [\tau_2, T]$ .

Модель (6.8)-(6.13) хорошо и содержательно интерпретируется. Наблюдение строения растений среди его случайностей ясно различает соотношения, которые невозможно объяснить иначе как поразительно рациональным результатом неисчислимых попыток адаптации к внешним естественным условиям, к условиям полового и искусственного отбора. Формализация процессов в экосистеме почва-растительный покров невозможна без разумного применения оптимизационных подходов, имитирующих эволюционные процессы.

При этом возникает вопрос о том, с помощью какого механизма РП реализует оптимальные управления (6.9)-(6.10), если растение не способно

Условие постоянства параметра  $p$  в  $F_R(\lambda, p)$  предполагает постоянство  $\rho_s$  в (4.6) для  $\tilde{F}(\lambda, p)$ . Система (5.1)-(5.2) допускает это, что вытекает из равенства

напрямую измерять переменные, определяющие эти управления, Такой вопрос остается открытым для дальнейших исследований, например, для исследования возможного механизма регулирования проводимости флоэмы при  $\lambda \neq \lambda^*$ . Обнаружение модели (6.8)-(6.13), а главное ее свойств, позволяют считать модель достаточно содержательно правдоподобной основой и ориентиром для таких исследований.

Полезно заметить, что такой содержательно вполне ожидаемый результат (6.8)-(6.13) является особенным для системы (4.6) с линейными управлениями, для которой максимум гамильтониана  $\max_{\rho \in \Gamma} H(\rho, \psi^*, x^*)$  по  $\rho_i$  достигается в вершинах симплекса  $\Gamma = \{\rho: \sum \rho_i = 1, \rho_i \geq 0, i \in \{l, k, R\}\}$ , т.е. не определяется выражениями (6.10).

#### Заключение

Таким образом, в условиях постоянной среды модельный растительный покров максимизирует продуктивность, если он максимизирует удельную интенсивность  $F_R(\lambda, p) = F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)$  нетто-фотосинтеза до момента времени  $\tau_2 \approx T - (F - R'_{lk})^{-1}$ , а затем расходует все ассимиляты для роста репродуктивной биомассы.

Сравнивая итоговую оптимальную модель (6.8)-(6.13) с моделью (5.1)-(5.3), а тем более с моделью (2.1)-(2.16), можно заметить, что

применение здесь принципа максимизации продуктивности к построению новой модели существенно структурирует и упрощает исходную модель, значительно улучшает качество и устойчивость модели к погрешности измерения ее коэффициентов. Эти качества дают возможность использовать выражения (6.8)-(6.13) в качестве основы для простейшей адаптивной модели растительного покрова, требующей, однако, дальнейших исследований и валидации.

#### Заключение

Таким образом, в условиях постоянной среды модельный растительный покров максимизирует продуктивность, если он максимизирует удельную интенсивность  $F_R(\lambda, p) = F(\lambda, p) - R'_{lk}(\lambda, p)$  нетто-фотосинтеза до момента времени  $\tau_2 \approx T - (F - R'_{lk})^{-1}$ , а затем расходует все ассимиляты для роста репродуктивной биомассы.

Сравнивая итоговую оптимальную модель (6.8)-(6.13) с моделью (5.1)-(5.3), а тем более с моделью (2.1)-(2.16), можно заметить, что применение здесь принципа максимизации продуктивности к построению новой модели существенно структурирует и упрощает исходную модель, значительно улучшает качество и устойчивость модели к погрешности измерения ее коэффициентов. Эти качества дают возможность использовать выражения (6.8)-(6.13) в качестве основы для простейшей адаптивной модели растительного покрова, требующей, однако, дальнейших исследований и валидации.

#### Список литературы:

1. Воротынцев А.В. Исследование моделей переноса тепла и влаги в системе почва-растение // Вестник ТУТ. Душанбе, Изд-во «Бахманруд». 2016. № 2(27). С.7-16. [Vorotyntsev A.V. Research of the model of heat and moisture transfer in a soil-plant system // Vestnik TUT. Dushanbe, Izd-vo «Bahmanrud». 2016;(2):7-16. (In Russ).]

2. Воротынцев А.В. Модель оптимального роста биомасс растительного покрова // Сборник трудов конференции "Моделирование коэволюции

природы и общества: проблемы и опыт. К 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Моисеева". Труды МФТИ. 2017. Т.9. №3(35). С.178-188. [Vorotyntsev A.V. Optimal growth model of plant cover biomass // Proceedings of MIPT. 2017;(9):178-188. (In Russ).]

3. Воротынцев А.В. О сбалансированном оптимальном росте и развитии биомасс растительного покрова // Вестник БГУ. Математика, информатика. 2018. №3. С.72-84. DOI: 10.18101/2304-5728-2018-3-72-84. [Vorotyntsev A.V. On the balanced optimal growth and development of biomass of plant cover // Vestnik BGU. Matematika, Informatika. 2018;(3):72-84. (In Russ). DOI: 10.18101/2304-5728-2018-3-72-84.]

4. Воротынцев А.В. Модель сбалансированного оптимального роста и развития биомасс растительного покрова // Математическое моделирование в экологии / Материалы Шестой Национальной научной конференции с международным участием (Эко-МатМод-2019). 26–29 сентября 2019 года. Пущино. Россия. ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2019. С.43-47. [Vorotyntsev A.V. Model' sbalansirovannogo optimal'nogo rosta i razvitija biomass rastitel'nogo pokrova // Matematicheskoe modelirovanie v jekologii / Materialy Shestoj Nacional'noj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Jeko-MatMod-2019). 26–29 sentjabrja 2019 goda. Pushhino. Rossija. FIC PNCBI RAN, 2019:43-47. (In Russ).]

5. Милютин А.А., Дмитрук А.В., Осмоловский Н.П. Принцип максимума в оптимальном управлении, М.: Изд-во Центра прикладных исследований; 2004. [Miljutin A.A., Dmitruk A.V., Osmolovskij N.P. Princip maksimuma v optimal'nom upravlenii, M.: Izd-vo Centra prikladnyh issledovanij; 2004. (In Russ).]

6. Полуэктов Р.А. Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во С.-Петер. Ун-та; 2006. [Polujektov R.A. Smoljar Je.I., Terleev V.V., Topazh A.G. Modeli produkcionnogo processa sel'skohozjajstvennyh kul'tur. SPb.: Izd-vo S.-Peter. Un-ta; 2006. (In Russ).]

# Евразийский Союз Ученых.

## Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 10 (91)/2021 Том 1

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

**Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

**Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

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

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.