

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ВИДЫ

**Басыгараева Асем Кайратовна**

*магистрант Кызылординского Государственного Университета имени Коркыт Ата*

**Кулмырзаев Нурлан Серикович**

*кандидат экономических наук Кызылординского Государственного Университета имени Коркыт Ата*

## MODERN INFORMATION TECHNOLOGY AND THEIR KINDS

**Basygaraeva Assem Kairatovna**

*master student of Kyzylorda State University Korkyt Ata*

**Kylmirzaev Nurlan Serikovich**

*Candidate of Economic Sciences, of Kyzylorda State University Korkyt Ata*

### *АННОТАЦИЯ*

Универсальным техническим средством обработки любой информации является компьютер. Дальнейшее развитие компьютеров необходимо для информатизации общества.

Переработка и накопление информации ведет к компьютеризации общества. Благодаря интернету мы общаемся друг с другом и получаем любую информацию, также ее распространяем. Внедрение информационных технологии усиливает производительность труда, экономит время.

### *ABSTRACT*

The universal hardware of treatment of any information is a computer. Further development of computers is needed for informatization of society.

Processing and accumulation of information conduces to computerization of society. Due to the internet we intermingle with each other and get any information, also her we distribute. Introduction informative to technology strengthens the labour productivity, saves time.

**Ключевые слова:** информационная технология, язык пользователя, информатизация общества, интернет, обработка данных.

**Keywords:** information technology, user language, information society, internet, data processing.

Modern production of goods and other fields of activity require information service, processing of a large quantity of the information more and more. A universal mean of processing of any information is the computer which plays a role of the amplifier of intellectual possibilities of the person and a society as a whole, and the communication means using computers, serve for communication and an information transfer. Occurrence and development of computers is a necessary component of process of information of a society.

Society information is one of laws of modern social progress. This term all supersedes term widely used until recently «a society computerization» more persistently. At external similarity of these concepts they have essential distinction. At a society computerization the basic attention is given to development and introduction of technical base of the computers providing operative reception of processing results of the information and its accumulation.

At society information the basic attention is given to a series of measures, directed on maintenance of full use of authentic, exhaustive and timely knowledge in all kinds of human activity. Thus, «society information» is wider concept, than «the society computerization», and is directed on the prompt mastering by the information for satisfaction of the requirements. In concept «society information» it is necessary to do accent not so much on means, how many on essence and the purpose of socially-technical progress. Computers are a base technical component of process of information of a society.

From the modern point of view phone use in the first years of its existence looks ridiculously enough. The head dictated the message to the secretary who then sent it from a telephone room. Phone call accepted in a similar room of other company, the text fixed on a paper and delivered to the addressee. A lot of time before phone became such widespread and habitual way of the message that its steel, to use how we do it today

Was required: we call in a proper place, and with the advent of cellular telephones – and to the concrete person.

Today computers, basically, are applied as means of creation and the analysis of the information which then transfer on habitual carriers (for example, a paper). But now, thanks to a wide circulation of computers and Internet creation, for the first time it is possible to communicate by means of the computer with other people through their computers. Necessity of use of the unpacked data for transfer to colleagues is eliminated just as the paper has disappeared from telephone conversations. Today, thanks to Web, it is possible to compare with in the meantime when people have ceased to write down the text of telephone messages: computers (and their communication among themselves by means of the Internet) already so widespread also are habitual that we start to use in their essentially new ways. WWW is the beginning of a way on which computers become a communication facility in reality.

The Internet gives an unprecedented way of the information reception. Everyone, having access to WWW, can receive all information available on it, and also powerful tools of its search. Possibilities for formation, business and mutual understanding growth between people become simply stunning. Moreover, technology Web allows to extend the information everywhere. Simplicity of this way has no analogues in the history. To make the sights, the goods or services known for another, there is no necessity to buy space in the newspaper or magazine more, to pay for time for TV and radio. Web does game rules identical to the government and separate persons, for small and big firms, for manufacturers and consumers, for the charitable and political organizations. World Wide Web (WWW) on the Internet is the most democratic data carrier: With its help any can tell and hear told without intermediate interpretation, distortion and censorship, being guided by certain frameworks of decency. The Internet provides a unique freedom of expression of the person and the information.

Like use of internal phones of the companies for communication of employees among themselves and an external world, Web is applied both to communication in the organization, and between the organizations and their consumers, clients and partners. The same technology Web which gives the chance to small firms to declare itself on the Internet, can be used by the large company for data transmission about a current condition of the project on an internal intranet that will allow its employees to be always more informed and, means, more operative in comparison with small, quick competitors. Application of an intranet in the organization to make the information more accessible to the members, also is a step forward in comparison with the past. Now, instead of storing documents in the confused computer archive, there was a possibility (under the control of protection frames) easily to prospect and the description of documents to refer to them and to make indexes. Thanks to technology Web business, no less than managements, becomes more effective.

#### **Data processing information technology**

The information technology of data processing is intended for the decision of well structured problems on which there is necessary entrance data and algorithms and other standard procedures of their processing are known. This technology is applied at level of operational (performing) activity of the per-

sonnel of low qualification with a view of automation of some routine constantly repeating operations of administrative work. Therefore introduction of an information technology and systems at this level will essentially raise labour productivity of the personnel, will release it from routine operations, probably, even will lead to necessity of reduction of number of workers.

At level of operational activity following problems are solved:

- Data processing about the operations made by firm;
- Creation of periodic control reports on a state of affairs in firm;
- Reception of answers to every possible current inquiries and their registration in the form of paper documents or reports.

As example the daily report on receipts and deliveries of available funds by the bank, formed with a view of the control of balance of available funds, or inquiry to a database on shots which will allow to obtain the data about the requirements shown to candidates on employment of a certain post can serve.

There are some features connected with data processing, distinguishing the given technology from all other:

- Performance of problems necessary for firm on data processing. It is offered to each firm to have and store the law the data about the activity which can be used as means of maintenance and control maintenance in firm. Therefore in any firm necessarily there should be an information system of data processing and the corresponding information technology is developed;
- The decision only well structured problems for which it is possible to develop algorithm;
- Performance of standard procedures of processing. Existing standards define typical procedures of data processing and order their observance by the organizations of all kinds;
- Performance of the basic scope of works in an automatic mode with the minimum participation of the person;
- Use of the detailed data. Records about firm activity have the detailed (detailed) character supposing carrying out of audits. In the course of audit firm activity is checked chronologically from the period beginning by its end and from the end to the beginning;
- Accent on chronology of events;
- The requirement of the minimum help in the decision of problems from outside experts of other levels.

Data storage: many data at level of operational activity is necessary for keeping for the subsequent use or here, or at other level. For their storage databases are created.

Creation of reports (documents): in information technology of data processing it is necessary to create documents for a management and workers of firm, and also for external partners. Thus documents can be created as on demand or in connection with the spent firm operation, and periodically in the end of each month, quarter or year.

#### **Information technology of management**

The purpose of information technology of management is the satisfaction of information requirements of all without an exception of employees of the firm dealing with decision-making. It can be useful at any level of management.

This technology is focused on work in the environment of an information control system and used at the worst structure of solved problems if to compare them with the problems solved by means of information technology of data processing.

Information technology of management is ideally suited for satisfaction of similar information requirements of workers and various functional subsystems (divisions) or levels of management of firm. The information delivered by them contains data on last, present and probable future of firm. This information is a kind of regular or special administrative reports.

For decision-making at level of the administrative control the information should be presented in the aggregated kind so that tendencies of change of the data, the reasons of the arisen deviations and possible decisions were looked through. At this stage following problems of data processing are solved:

- An estimation of a planned condition of object of management;
- An estimation of deviations from a planned condition;
- Revealing of the reasons of deviations;
- The analysis of possible decisions and actions.

The information technology of management is directed on creation of various kinds of reports. Regular reports are created according to the established schedule defining time of their creation, for example the monthly analysis of sales of the company.

Special reports are created by inquiries of managers or when in the company there was something not planned. And those and other kinds of reports can have the form of summarizing, comparative and extreme reports.

In summarizing reports the data is united in separate groups, sorted and presented in the form of intermediate and adjusted totals on separate fields.

Comparative reports contain the data received from various sources or classified to various signs and used for comparison.

Extreme reports contain the data of exclusive (extreme) character.

Use of reports for management support appears especially effective at realization of so-called management by exception. Management by exception assumes that the main maintenance of the data received by the manager deviations of a condition of economic activities of firm from some established standards (for example, from its planned condition) should be. At use in firm of principles of management by exception following demands are made to created reports:

- The report should be created only when the deviation has occurred;
- Data in the report should be sorted by value of a critical indicator for the given deviation;
- It is desirable to show all deviations together that the manager could catch communication existing between them;
- In the report it is necessary to show, a quantitative deviation from norm.

The basic components: the entrance information arrives from systems of operational level. The target information is formed in the form of administrative reports in a kind convenient for decision-making. Contents of a database by means of the corresponding software will be transformed to the periodic and special reports arriving to experts, participating in decision-making in the organizations. The database used for

reception of the specified information, should consist of two elements:

- 1) The data accumulated on the basis of an estimation of operations, spent by firm;
- 2) Plans, standards, budgets and other standard documents defining the planned condition of object of management (firm division).

Information technology of expert systems

Progress among computer information systems is noted in the field of working out of expert systems. Expert systems give the chance to the manager or the expert to receive consultation of experts on any problems about which these systems save up knowledge.

The decision of special problems demands special knowledge. However not each company presumes to hold in the staff of experts on all problems connected with its work or even to invite their each time when the problem has arisen. The main idea of use of technology of expert systems consists in receiving from the expert of its knowledge and, having loaded them into memory of the computer, to use every time when in it there will be a necessity. It does all possible to use technology of expert systems as advising systems.

Similarity of the information technology used in expert systems and systems of support of decision-making consists that both of them provide high level of support of decision-making. However there are three essential distinctions.

The first is connected by that the decision of a problem within the limits of systems of support of decision-making reflects level of its understanding the user and its possibilities to receive and comprehend the decision. The technology of expert systems, on the contrary, suggests the user to make the decision surpassing its possibilities.

The second difference of the specified technologies is expressed in ability of expert systems to explain the reasoning in the course of decision reception. These explanatories appear more important for the user, than the decision very often.

The third difference is connected with use of a new component of information technology — knowledge.

The basic components of the information technology used in expert system, are: the interface of the user, the knowledge base, the interpreter, the module of creation of system.

The knowledge base contains the facts describing problem area, and also logic interrelation of these facts. The central place in the knowledge base belongs to rules. The rule defines that it is necessary to do in the given concrete situation, and consists of two parts: conditions which can be carried out or not, and actions which should be made if the condition is carried out.

All rules used in expert system form system of rules which even for rather simple system can contain some thousand rules.

The interpreter is the part of expert system making in a certain order processing of knowledge (thinking), being in the knowledge base. The technology of work of the interpreter is reduced to consecutive consideration of set of rules (a rule behind a rule). If the condition containing in a rule, is observed, carried out certain action, and the variant of the decision of its problem is given to the user.

Besides, in many expert systems additional blocks are entered: a database, the calculation block, the block of input and updating of the data. The calculation block is necessary in the

situations connected with acceptance of administrative decisions. Thus the important role is played by a database where planned, physical, settlement, accounting and other constant or operative indicators contain. The block of input and updating of the data is used for operative and timely reflexion of current changes in a database.

The module of creation of system - serves for creation of a set (hierarchy) of rules. There are two approaches which can be taken as a principle the module of creation of system: use of algorithmic languages of programming and use of covers of expert systems.

The cover of expert systems represents the ready program environment which can be adapted for the decision of a certain problem by creation of the corresponding knowledge base. In most cases use of covers allows to create expert systems faster and is easier in comparison with programming.

### THE LITERATURE

1. The Automated information technology in economy: the Textbook / Under the editorship of G.A.Titorenko. – М: ЮНИТИ, 1998.
2. A management Information technology: Учебн. The grant for high schools / Under the editorship of the prof. G.A.Titorenko. – М: ЮНИТИ – it is given, 2003.
3. Makarova N. V, Matveeva L. A, Brojdo V. L. Computer science: the Textbook. – М: the Finance and statistics, 1997.
4. Nejl of J. Rubenking. Effective search on the Internet// PC Magazine. – 2001. – №6.
5. Robert I. Modern an information technology in formation. – М: School-press, 1994.

## ПОГРЕШНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКИХ СРЕД В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВКАХ ЖИДКОСТИ

**Борзенков Павел Сергеевич**

аспирант кафедры вычислительной техники  
Юго-Западного Государственного Университета (г. Курск)

## INACCURACY OF LIQUID DOSING IN LIQUID ADJUSTING FLOWMETER COMPLEXES

**Borzenkov Pavel**

Postgraduate Student, Department of Computer Science  
Southwest State University (Kursk)

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены типовые источники погрешностей в испытательных расходомерных установках жидкости, предложены меры для улучшения метрологических характеристик расходомерных установок.

### ABSTRACT

Typical inaccuracy sources of liquid adjusting reference flowmeter complexes were considered in article. Arrangements for enhancing of metrological characteristics of flowmeter complexes were suggested here.

**Ключевые слова:** расход жидкости, испытательная расходомерная установка, дозирование, погрешность.

**Keywords:** liquid consumption, adjusting flowmeter complex, dosing, inaccuracy

Многие технологические процессы в различных отраслях промышленности связаны с транспортированием вещества по трубопроводам. Непременным условием эффективного ведения таких процессов является наличие достоверной информации от измерительных приборов о параметрах среды и в первую очередь о массовом или объёмном расходе вещества. «Какими бы ни были эти приборы, для них обязательной является первичная поверка при производстве и периодическая во время эксплуатации, если приборы используются в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора» [4, с. 21]. «Точность и достоверность показаний измерительных приборов определяют при испытаниях на специаль-

ных поверочных установках, которые в случае измерения расхода вещества называют испытательными расходомерными установками» [2, с. 59].

На данный момент оборудование для измерения расхода жидких и газообразных сред развивается очень быстро, но «темпы развития расходомерических испытательных установок сильно уступают темпам развития и производства первичных преобразователей расхода» [3, с. 42]. С одной стороны это говорит о достижении высокого уровня качества и точности при производстве бытовых и промышленных расходомеров и счетчиков, а с другой грозит тем, что в скором времени дальнейший прогресс в области расходомерии будет ограничен возможностями ис-



пытательных установок. Поэтому необходима разработка новых типов испытательных расходомерных установок (ИРУ). Перед началом разработки необходимо определить основные источники погрешности и необходимые меры для их максимального ослабления.

Измерение расхода вещества в гидравлических системах служит в первую очередь для контроля и управления технологическими процессами, а при измерении количества вещества осуществляют товарный учет. В первом случае необходимо знать, как реагирует градуировочная характеристика измерительного устройства на изменение измеряемых параметров (расхода, вязкости измеряемой жидкости, давления в гидромагистрале) во времени. Во втором случае необходимо регистрировать общее количество подвергнутого измерению вещества за какое-то время.

Расход определяется количеством вещества, дифференцированным по времени, и имеет размерность  $m^3/c$ , количество – это расход вещества, интегрированного по времени, его размерность –  $m^3$ . Итак, потребителю в любом случае необходимо знать дифференциальную или интегральную зависимость показаний измерительного преобразователя от времени, что является его градуировочной характеристикой, определяющей метрологические возможности преобразователя.

Очень часто на практике при эксплуатации расходоизмерительных устройств важно знать не просто расход и не вообще количество измеренного вещества, а строго определенное количество вещества, поступившего к потребителю с заданной точностью, т. е. осуществить процесс дозирования вещества (выдать заданную дозу).

Таким образом, во всех случаях применения и эксплуатации расходоизмерительных устройств необходимо иметь зависимость градуировочной характеристики от различных факторов: времени, расхода, вязкости и т. д.

Эти зависимости можно получить на испытательных стендах различной структурной схемы. Реальные гидравлические дозирующие системы, с помощью которых производится измерение количества жидкого вещества по своему принципу действия, да и по схемному построению похожи на ИРУ. И при оценке метрологических свойств расходоизмерительных устройств и при эксплуатации необходимо учитывать реальные возмущающие дестабилизирующие факторы, которые приводят к появлению погрешности измерения расходоизмерительного устройства.

Качественно испытательные стенды для градуировки средств измерения количества жидкой среды представляют собой аналог дозирующей системы. И в том и в другом случае действуют одни и те же факторы, приводящие к появлению погрешности дозирования.

Различие состоит в том, что метрологические характеристики (воспроизводимость, погрешность замера и выдачи дозы и т. д.) испытательных стендов гораздо выше, чем у дозирующих систем. Однако получаемая при градуировке на стенде характеристика измерительного устройства не реализуется на практике ввиду существенного влияния на нее условий эксплуатации, и точность дозирования жидкости определяется совокупностью метрологических параметров измерительных устройств, испытательных стендов и дозирующих систем. «Все дело в том,

что испытательные стенды, а следовательно, и дозирующие системы, обладая собственными метрологическими характеристиками, оказывают существенное влияние на градуировочную характеристику испытываемого или эксплуатируемого измерительного устройства. Устранить это воздействие можно только путем анализа дестабилизирующих факторов и исключением их при работе стенда или дозирующей системы» [1, с. 101].

Определение дестабилизирующих факторов, в наибольшей степени оказывающих влияние на точность дозирования жидкости, невозможно без разработки математической модели, связывающей дестабилизирующий фактор и определяемую им составляющую погрешности дозирования. Наличие такой модели позволит не только учесть влияние условий эксплуатации и градуировки измерительного средства, конструктивных особенностей дозирующей системы или испытательного стенда, технологии проведения испытаний или дозирования и т. д. на точность дозирования, но и решить обратную задачу – создать дозирующую систему или испытательный стенд с заранее определенными или заданными метрологическими характеристиками. Для этой цели необходимо наличие методики расчета выходной или суммарной погрешности дозирования, позволяющей объединить и учесть влияние разнородных дестабилизирующих факторов на единую выходную величину – точность дозирования жидкости.

Погрешность определения объема или массы дозы жидкости, фиксируемой в испытательном стенде или отпущенной потребителю, представляет собой совокупность ряда разнородных составляющих. Рассмотрим источники их появления.

Можно выделить следующие виды погрешностей, определяющих как точность дозирования жидких сред, так и точность градуировки датчиков расхода и количества в испытательных стендах:

1. погрешности определения объема дозы жидкой среды;
2. погрешности определения массы дозы жидкой среды;
3. погрешности определения плотности жидкой среды;
4. погрешности определения временного интервала операции градуировки счетчика или дозирования с его помощью;
5. погрешности образцовых расходомеров, примененных в испытательном стенде.

Появление указанных видов погрешностей обусловлено воздействием совокупности разнородных дестабилизирующих факторов на процесс измерения количества жидкой среды.

Анализ циклов работы дозирующих систем позволяет выделить три основных этапа при формировании дозы и выдаче ее потребителю. На первом этапе подготавливаются исходные данные для проведения операции дозирования, т. е. определяют размер дозы и производят настройку измерительного устройства на заданный объем или массу (вводят значение, эквивалентное величине дозы, в задатчик дозы). Вторым этапом характеризуется заполнением емкости потребителя дозой жидкости, а третий, наиболее кратковременный, – отсечкой расхода жидкости по

сигналу с измерительного устройства. Все три этапа работы дозирующей системы сопровождаются появлением составляющих погрешности дозирования. Погрешности определения времени и погрешности первичных датчиков расхода или количества представляют собой величины, не зависящие от конструкции и условий функционирования дозирующей системы или испытательного стенда. Метрологическое качество самой системы характеризуют в основном погрешности определения плотности жидкости, объема и массы дозы.

Погрешности определения плотности жидкости возникают на первом этапе работы дозирующей системы и обусловлены необходимостью пересчета дозы из объемных единиц в массовые. Для выполнения этой операции необходимо знать массу единицы объема жидкости (или плотность). Определяют плотность чаще всего с помощью таблиц, графиков или аналитических зависимостей при известной температуре. Можно считать, что погрешность определения плотности обусловлена:

- несоответствием действительной температуры и давления жидкости значениям, принятым при определении плотности;
- отсутствием учета или неточностью определения содержания свободного газа в жидкости;
- неточностью табличных, графических данных или аналитических зависимостей.

Погрешности дозирования, приводящие к отличию дозы, зафиксированной измерительным устройством дозирующей системы, от дозы, оказавшейся в результате ее функционирования в емкости потребителя, обусловлены действием следующих факторов, возникающих на втором этапе работы дозирующей системы:

- нелинейностью характеристики расходомера и изменением расхода жидкой среды в процессе выдачи дозы;
- неправильной установкой измерительного устройства, заключающейся, например, в невертикальности оси объемного мерника и негоризонтальности основания массового мерника;
- наличием пустых участков трубопровода, заполняемых жидкостью при выдаче дозы;
- изменением объема трубопроводов дозирующей системы по мере выдачи дозы вследствие изменения температуры и давления;
- испарением жидкости и выбросом части дозы в виде пара в составе парогазовой смеси, дренируемой через дренажно-предохранительный клапан;
- испарением жидкости и переходом части дозы в газовое пространство емкости объемного мерника в процессе выдачи жидкости потребителю;
- налипанием жидкости на стенки мерной емкости при понижении уровня в процессе выдачи дозы;
- деформацией свободной поверхности жидкости в емкости объемного мерника;
- деформацией трубопроводов, связывающих емкость массового мерника с магистралями дозирующей системы;
- непостоянством «паразитной» массы газа в емкости массового мерника.

Третий этап работы дозирующей системы, в процессе которого можно выделить дестабилизирующие факторы, наиболее скоротечный, – отсечка расхода по сигналу с измерительного устройства. На этом этапе погрешность дозирования вызывается задержкой момента прекращения подачи жидкости потребителю относительно момента времени, соответствующего набору дозы. Такая задержка вызвана инерционностью срабатывания систем электропневмоавтоматики дозирующей системы или испытательного стенда и инерционностью отсечного клапана.

Таким образом, повышение точности дозирования жидких сред невозможно без улучшения метрологических характеристик дозирующих систем или испытательных стендов, для чего необходимо провести следующие мероприятия:

1. для каждой конкретной дозирующей системы или испытательного стенда должны быть определены характерные дестабилизирующие факторы, зависящие от параметров системы, условий эксплуатации и технологии операций;
2. каждый дестабилизирующий фактор должен быть обеспечен математической моделью, позволяющей достаточно просто определять соответствующую составляющую погрешности дозирования при тех или иных возможных изменениях дестабилизирующего фактора, что достигается монограммированием основных расчетных зависимостей;
3. в каждой дозирующей системе или испытательном стенде необходимо выделять наибольшие составляющие погрешности дозирования с тем, чтобы иметь возможность направленным воздействием на ограниченное число дестабилизирующих факторов обеспечить максимальное снижение суммарного значения погрешности дозирования;
4. дозирующая система или испытательный стенд должны быть обеспечены методикой расчета суммарного значения погрешности дозирования, поскольку закон суммирования зачастую будет определять и число доминирующих дестабилизирующих факторов.

Решение указанных задач позволит оценить погрешность дозирования жидких сред при изменении условий функционирования дозирующих систем (смена расхода, изменение температуры жидкости и окружающей среды, смена рода дозируемой жидкости, изменение параметров потребителя и т. д.), обеспечит снижение влияния на точность дозирования условий эксплуатации измерительного устройства и тем самым улучшит метрологические характеристики дозирующих систем.

#### Список литературы:

1. Бобровников Г.Н., Новожилов Б.М., Сарафанов В.Г. Бесконтактные расходомеры. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
2. Борзенков П.С. Устройства создания и стабилизации расхода в испытательной расходомерной установке газа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика, медицинское приборостроение. – 2015. – № 1(14)– с. 58-65.

3. Дрейзин В.Э., Борзенков П.С. Испытательный расходомерный комплекс для расходомеров-счетчиков газа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика, медицинское приборостроение. – 2015. – № 1(14)– с. 42-50.
4. Каргопольцев В.П., Косолапов А.В. Автоматизированные поверочные установки: какими они должны быть // Датчики и системы. – 2005. – № 5. с. 21-22.

## О ПЕРСПЕКТИВАХ СВАРКИ СВЕРХПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Якушин Борис Фёдорович**

*д. т. н., профессор Московского Государственного Технического Университета им. Н. Э. Баумана*

**Бакуло Алексей Викторович**

*аспирант Московского Государственного Технического Университета им. Н. Э. Баумана*

**Булеков Валерий Фёдорович**

*аспирант Московского Государственного Технического Университета им. Н. Э. Баумана*

### АННОТАЦИЯ

Крупногабаритные легкие конструкции из алюминиевых сплавов сваривают из нетермоупрочняемых сплавов типа AlMg6 или из сплавов типа 1201, подвергнутых закалке и старению. При сварке таких сплавов в зоне высокого нагрева происходит рекристаллизация, приводящая к разупрочнению. Термоупрочнению сварных конструкций в печах препятствуют большие габариты.

При создании летательных аппаратов нового поколения перспективно применять сплавы, термообработанные на заводе-изготовителе на максимальную прочность и обеспечивать ее сохранение при сварке путем минимизации погонной энергии.

Цель настоящего исследования – апробация технологий сварки образцов и макетных конструкций из термоупрочненных жаропрочных сплавов типа 1201 и 1151.

### ABSTRACT

Large light structures made of welded aluminum alloys like AlMg6 type alloys or alloys like hardened and aged 1201. When these alloys welding in the high heating zone take place recrystallization, which lead to softening. heat-strengthening welded constructions in furnaces prevent large dimensions.

Creating of a new generation of aircraft is promising to apply alloys, heat-treated at the factory for maximum strength and ensure its preservation by minimizing the welding heat input.

The purpose of this research – testing of welding technologies of sample and the sample constructions of heat-strengthened heat resistant alloys such as 1201 and 1151.

**Ключевые слова:** закалка, пластичность, предел текучести, зонное старение, трещиностойкость, погонная энергия, импульсно-дуговая сварка, лазерная сварка, свариваемость, макетные конструкции, горячая прокатка шва.

**Keywords:** hardening, ductility, yield strength, zonal aging, fracture, heat input, pulse-arc welding, laser welding, weldability, design prototyping, hot rolling of weld.

### Методика исследования

Из термоупрочненных сплавов 1201 и 1151 [1] толщиной 3 мм сваривали технологические пробы [2] (рис. 1) и макетные конструкции сосудов давления (см. рис. 2), позволяющие определить склонность к трещинам при свар-

ке и испытать прочность сварных соединений. Свойства сплавов в исходном состоянии показаны в таблице 1, где в числителе даны свойства в отожженном состоянии, а в знаменателе – после закалки и искусственного старения [3].

Таблица 1  
Механические свойства сплавов 1201 и 1151

Сплав	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{b,250}$ , МПа	$\sigma_{b,450}$ , МПа	$\delta_{10}$ , %	$\alpha$ , град
1201	$\leq 215$ 400-410	$\leq 110$ 314	– 215	–	12 6	–
1151	$\leq 215$ 400-420	– 280-300	– 330	– 45-50	12 12	– 48

Применяли аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом (АРДС), импульсно-дуговую сварку плавящимся электродом (ИДСП) с присадочной проволокой св. 1201 и св. 1177 для сплавов 1201 и 1151 соответственно после химического травления образцов и проволоки, а также лазерную сварку (ЛС). В качестве технологической пробы сваривали круговую пробу в жестком закреплении по ГОСТ 26389-84 с диаметром шва 60-100 мм при варьировании скорости сварки в пределах 10-120 м/ч с полным проплавлением образца по толщине и с перекрытием шва при замыкании круговой траектории.

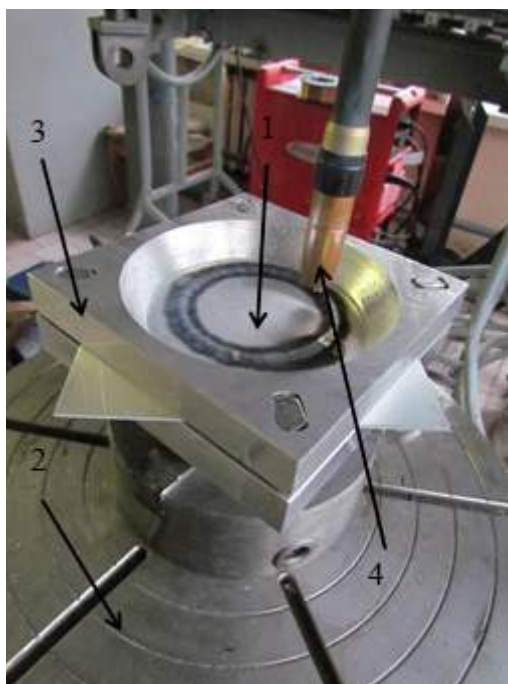


Рис. 1. Сварка технологической пробы

- 1 – образец
- 2 – вращатель
- 3 – оснастка
- 4 – сварочная горелка

Выявляли скорость сварки и соответствующую погонную энергию дуги, вызывающую горячие трещины и ме-

сто их зарождения, а в режимах сварки, не вызывающих трещины, применяли машинные методы испытания путем растяжения образцов, свариваемых встык в процессе кристаллизации металла шва в испытательной машине ЛТП 1-6М [4]. После испытания идентифицировали вид разрушений металлографическим методом.

Оценку прочности сварных соединений производили при повышенных температурах до 450°C имитируя сварочный цикл. Для имитации термического цикла сварки нагрев производился электроконтактным способом на скорости 20 град/с.

В качестве макетных конструкций сваривали сосуд Ø590 мм длиной 1000 мм с продольными швами, выполненными на съемной подкладке и кольцевыми швами на остающейся подкладке.



Рис. 2. Макетная конструкция сосуда давления толщиной 3 мм

- 1 – внешняя оболочка
- 2 – тоннель

#### Результаты исследований

Результаты оценки свариваемости сплавов, полученные на круговой пробе с жестким закреплением по контуру, представлены на рис. 3.





Рис. 3. Влияние погонной энергии и диаметра кругового шва на склонность к образованию горячих трещин в жестком закреплении для сплава 1151

Сплав 1151 склонен к горячим трещинам по ОШЗ (околошовной зоне) в диапазоне скорости сварки 60-120 м/ч, а сплав 1201 – в более узком диапазоне. Все горячие трещины образовались в местах замыкания кругового шва, где металл подвергался двукратному дуговому нагреву, несмотря на плавное снижение тока механизмом заварки кратера. Первая причина трещин в ОШЗ – концентрация деформаций в зоне перехода усиления шва к основному материалу. Вторая причина – высокие временные и остаточные напряжения, пропорциональные пределу текучести [4]. Третья – оплавление упрочняющей интерметаллидной

фазы S ( $Al_2CuMg$ ) на границах зерен ( $T_{пл} = 507^\circ C$ ) и диффузионное взаимодействие расплава с твердым раствором, приводящее к образованию более легкоплавкой эвтектики при двукратном дуговом нагреве. Для предотвращения горячих трещин стремились к снижению остаточных напряжений и погонной энергии. Для снижения остаточных напряжений применили импульсно-дуговую сварку с горячей прокаткой шва [5], а для уменьшения погонной энергии – лазерную сварку [6].

Результаты испытаний механических свойств сварных соединений приведены в таблице 2.

Таблица 2  
Механические свойства сварных соединений

Сплав	Присадочная проволока	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{b\text{ шва}} / \sigma_{b\text{ ом}}$	$\sigma_{b\ 450^\circ}$ , МПа	$\alpha$ , град
АРДС					
1151T1	Св. 1177	300-320	0,7...0,8	35	18
ИДСП					
1151T1	Св. 1177	300-330	0,7...0,8	35	24
Лазерная сварка					
1151T1	–	360-380	0,8...0,9	22	–

Дальнейшее повышение коэффициента прочности возможно при применении сварки без расплавления кромок путем трения с перемешиванием. Предварительные исследования, проведенное на плоских образцах длиной

200 мм, показали, что при температуре выше  $300...350^\circ C$  сплав 1151 переходит в высокопластичное состояние (таблица 3), что позволяет производить данную сварку.

Таблица 3  
Механические свойства сплава 1151 при повышенных температурах

Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	Относительное сужение образца, %
250	155...165	0,75	11,2
300	45...50	1,5	18,7
350	20...22	1,67	26,86

Завершающие испытания включали проверку прочности и герметичности макетной конструкции под внутренним давлением. Испытания показали, что соединения с продольным и поперечным швом выдержали требуемые напряжения без потери герметичности. Прочность сварного соединения при разрушении – 330 Мпа, коэффициент прочности по отношению к термоупрочненному основному металлу 1151 составил 80%, что удовлетворяет требованиям к сварным соединениям.

#### Выводы

1. Выявлены перспективы повышения прочности при одновременном снижении веса конструкций из алюминиевых сплавов после их термоупрочнения перед сваркой и сохранения исходной структуры при сварке путем минимизации погонной энергии.
2. Наибольший коэффициент прочности наблюдается при лазерной сварке и достигает значения 0,9.
3. Пластичность при ИДСП выше, чем при АРДС.
4. Термоупрочненные сплавы при высокоскоростном нагреве интенсивно разупрочняются, что в перспективе позволяет производить сварку трением с перемешиванием.
5. Выявлены возможности увеличения скорости сварки при одновременном уменьшении склонности к образованию горячих трещин в образцах круговой пробы в жестком закреплении.
6. Выявлены преимущества ИДСП по отношению к АРДС по скорости сварки, погонной энергии и изменению структуры шва.

#### Список литературы:

1. Фридляндер И.Н. Создание, исследование и применение алюминиевых сплавов. Избранные труды. М.: Изд-во Наука, 2013 г.
2. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости конструкционных сталей и сплавов. Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 г.
3. Авиационные материалы. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Справочник. Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.:ВИАМ, 2008, 263 с.
4. Теория сварочных процессов/А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.Н. Неровного – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.– 752 стр.
5. Кондаков Г.Ф. Повышение работоспособности сварных тонколистовых конструкций. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 332 с.
6. Шахов С.В. Технологические и металлургические особенности лазерной сварки современных авиационных алюминиевых сплавов. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2007 г.
7. Зайцев В.И., Дружинин А.Т., Якушин Б.Ф., Семин Д.П. О преимуществах импульсно-дуговой MIG-сварки высокопрочных алюминиевых сплавов/Сварка и диагностика. 2010. №2. С 4-39.

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ СИСТЕМОЙ ПРИВОДОВ

**Веселов Олег Вениаминович**

д.т.н., профессор Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г.Владимир

## THE ALGORITHM OF CONTROL OF ASSOCIATED DRIVE SYSTEM

**Veselov Oleg Veniaminovich**

Ph. D., associate Professor of the Vladimir state University named after A. G. and N. G. Stoletovs, Vladimir

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается вопрос построения алгоритма управления обеспечивающего движение электроприводов по траектории, обеспечивая точность и стабильность режима движения. Это достигается формированием управляющего воздействия с контролем положения и скорости при последовательном включении электроприводов в зависимости от координат положения.

**Ключевые слова:** алгоритм, управление, привода, траектория.

### ABSTRACT

Discusses the building of the control algorithm for the propulsion of the actuator is along the trajectory, ensuring the accuracy and stability of motion. This is achieved by forming a control action with position and velocity in the series configuration of the actuator depending on the position.

**Keywords :** algorithm, control, drive, path.

Пусть требуется обеспечить движение по контуру, уравнение которого задано и имеет вид  $S(x, y)=0$ .

Контур  $S$  от точки  $(x_0, y_0)$  до точки  $(x_1, y_1)$  воспроизведем с помощью двух координатной системой с приводами ПХ, ПУ которые полагаются разомкнутыми по положению (рис.1.). Сигналы на их входы  $U_x$  и  $U_y$  задают лишь требу-

емое направление и скорость движения соответственно по координатам  $x$  и  $y$ . В качестве функции управления выберем

$$g(x, y) = -S \frac{\partial S / \partial x}{\partial S / \partial y} g(x, y) = -S \frac{\partial S / \partial x}{\partial S / \partial y}.$$

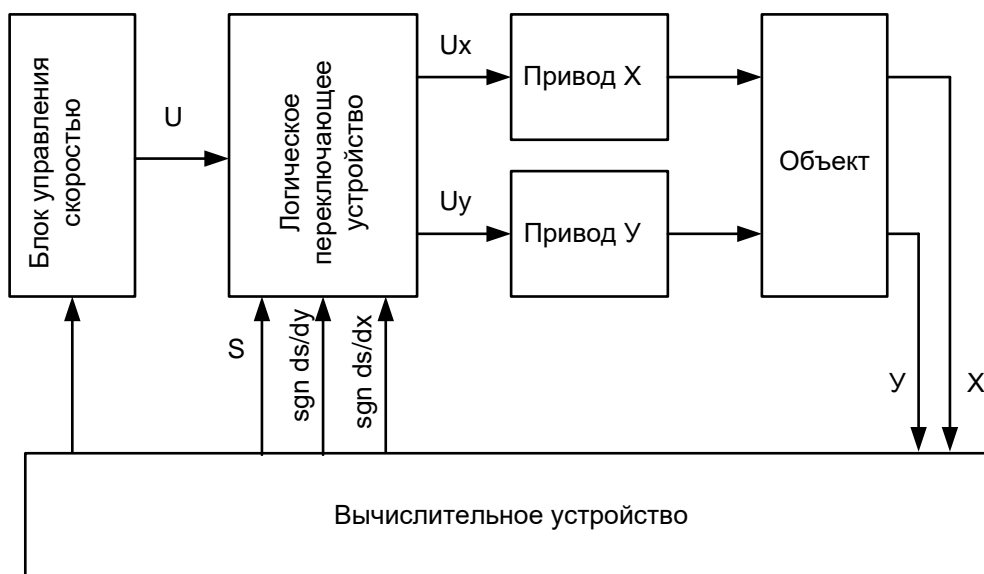


Рис.1. Структурная схема системы управления

Движение точки  $(x, y)$  совершается по контуру  $S$  и при этом привода ПХ, ПУ должны включаются и отключаются с бесконечно большой частотой. Такой режим работы системы, когда на контуре  $S$  служащим линией переключения приводов ПХ и ПУ происходит включение и отключение приводов ПХ ПУ с бесконечно большой частотой, является скользящим.

Рассмотрим кривую типа ромб, по которой выполняется движение:

$$S(x, y) = \frac{x}{a \operatorname{sgn} x} + \frac{y}{b \operatorname{sgn} y} - 1 = 0$$

$$S(x, y) = \frac{x}{a \operatorname{sgn} x} + \frac{y}{b \operatorname{sgn} y} - 1 = 0$$

двухкоординатной системой с приводами ПХ и ПУ передаточные функции, которых имеют вид

$$W_x(p) = W_y(p) = \frac{k}{p(Tp+1)}$$

$$W_x(p) = W_y(p) = \frac{k}{p(Tp+1)}$$

Уравнения, описывающие поведение такой системы, можно представить следующим образом:

$$\dot{x}_1 = x_2, \dot{x}_1 = x_2,$$

$$\dot{x}_2 = ax_2 + bU_x \dot{x}_2 = ax_2 + bU_x$$

$$\dot{y}_1 = y_2, \dot{y}_1 = y_2,$$

$$\dot{y}_2 = ay_2 + bU_y \dot{y}_2 = ay_2 + bU_y,$$

а сигналы управление по скорости представим в виде

$$U_x = \begin{cases} +U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dy} > 0 & u - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} < 0 \\ -U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dy} < 0 & u - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} < 0 \\ 0 \operatorname{npu} - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} > 0 \end{cases}$$

$$U_x = \begin{cases} +U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dy} > 0 & u - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} < 0 \\ -U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dy} < 0 & u - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} < 0 \\ 0 \operatorname{npu} - S \frac{\partial S}{\partial x} / \frac{\partial S}{\partial y} > 0 \end{cases}$$

$$U_y = \begin{cases} +U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dx} > 0 & u - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0 \\ -U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dx} < 0 & u - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0 \\ 0 \operatorname{npu} - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0, \end{cases}$$

$$U_y = \begin{cases} +U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dx} > 0 & u - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0 \\ -U_0 \operatorname{npu} - \frac{dS}{dx} < 0 & u - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0 \\ 0 \operatorname{npu} - S \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial S}{\partial y}} > 0, \end{cases}$$

где  $x_1 = x, x_1 = x, y_1 = y, y_1 = y, a = -\frac{1}{T},$

$$a = -\frac{1}{T}, b = -\frac{k}{T}, b = -\frac{k}{T}.$$

Уравнения переключения при движении по стороне ромба  $S (S=0)$  имеют вид

$$\dot{x} = -\frac{\partial S}{\partial y} = -\frac{1}{b} \operatorname{sgn} y,$$

$$\dot{y} = \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{1}{a} \operatorname{sgn} x,$$

а условия попадания изображающей точки на контур в этом случае

$$\operatorname{sgn} \dot{x} = -\operatorname{sgn} \frac{\partial S}{\partial y} = -\operatorname{sgn} y$$

$$\operatorname{sgn} \dot{x} = -\operatorname{sgn} \frac{\partial S}{\partial y} = -\operatorname{sgn} y \tag{1}$$

$$\operatorname{sgn} \dot{y} = \frac{\partial S}{\partial x} = \operatorname{sgn} x, \operatorname{sgn} \dot{y} = \frac{\partial S}{\partial x} = \operatorname{sgn} x \tag{2}$$

Для проверки выполнения этих соотношений обратимся предварительно к системе



$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= z_2, \dot{z}_1 = z_2, \\ \dot{z}_2 &= \alpha z_2 + \beta U, \dot{z}_2 = \alpha z_2 + \beta U, \\ U &= kU_0, U = kU_0, \quad \alpha = -\frac{1}{T}, \alpha = -\frac{1}{T}, \\ \beta &= -\frac{k}{T}\beta = -\frac{k}{T}, U = const. \end{aligned}$$

Общее решение такой системы при начальных условиях  $Z_{10}, Z_{20}$

$$\begin{aligned} z_1 &= z_{10} + T(z_{20} - U) - T(z_{20} - U)e^{-\frac{t}{T}} + Ut \\ z_1 &= z_{10} + T(z_{20} - U) - T(z_{20} - U)e^{-\frac{t}{T}} + Ut \\ z_2 &= (z_{20} - U)e^{-\frac{t}{T}} + U \\ z_2 &= (z_{20} - U)e^{-\frac{t}{T}} + U \end{aligned}$$

Из этих выражений следует, что при  $|z_{20}| < |U|$   $|z_{20}| < |U|$  знак  $z_2 = \dot{z}_1 z_2 = \dot{z}_1$  будет определяться знаком величины  $U$ . Если начальное значение скорости  $|z_{20}| \parallel |z_{20}|$  выходной координаты привода не превышает установившейся скорости  $|z_2(\infty)| = |U|$   $|z_2(\infty)| = |U|$ , то неравенство  $|z_{20}| < |U|$   $|z_{20}| < |U|$  всегда выполнимо.

Таким образом, для квадранта I уравнение стороны ромба

$$S(x, y) = \frac{x_1}{a} + \frac{y_1}{b} - 1 = 0.$$

Пусть начальное положение точки соответствует точке  $A_1$  для которой  $S(A_1) < 0$ . (рис. 2).

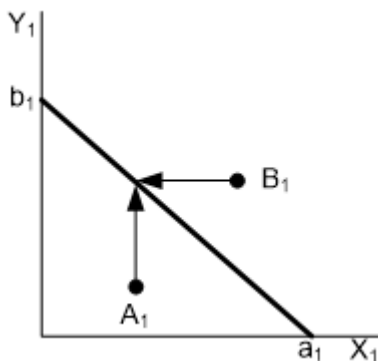


Рис.2. Фрагмент стороны ромба

Так как для квадранта I  $\frac{\partial S}{\partial x_1} \frac{\partial S}{\partial x_1} = \frac{1}{a} > 0 \frac{1}{a} > 0$ ,

$$\frac{\partial S}{\partial y_1} \frac{\partial S}{\partial y_1} = \frac{1}{b} > 0 \frac{1}{b} > 0,$$

а точка  $A_1$  принадлежит области, для которой

$$-S \frac{\partial x}{\partial S} = -\frac{S}{ab} > 0 \quad -S \frac{\partial y}{\partial S} = -\frac{S}{ab} > 0,$$

то в соответствии с принятым алгоритмом управления точка  $A_1$  принадлежит области включения привода ПУ с управляющим воздействием  $U_y = +U_0$   $U_y = +U_0$  то  $sgn\dot{y} = sgnU_y = +1$   $sgn\dot{y} = sgnU_y = +1$ .

Следовательно, условие для области включения привода ПУ имеет место. Точка  $(x_1, y_1)$  начав свое движение из точки  $B_1$  будет двигаться по прямой параллельной оси ординат по направлению к стороне ромба (рис. 2).

Пусть начальное положение точки  $(x_1, y_1)$  соответствует точке  $B_1$  (рис.2), для которой  $S(B_1) < 0$ . Поскольку для

$$\text{точки } B_1 - S \frac{\partial x}{\partial S} = -\frac{S}{ab} < 0 \quad -S \frac{\partial x}{\partial S} = -\frac{S}{ab} < 0$$

то точка  $B_1$  принадлежит области включения привода ПУ с управляющим воздействием  $U_x = -U_0$ . Следовательно, для этой области  $sgn\dot{x} = sgnU_x = -1$   $sgn\dot{x} = sgnU_x = -1$  и условие (1) также будет иметь место.

Точка  $(x_1, y_1)$  начав свое движение из точки  $B_1$ , будет двигаться по прямой, параллельной оси абсцисс по направлению к стороне ромба S (рис. 2).

Рассуждая аналогично можно убедиться в выполнении соотношений (1), (2) и для квадрантов 2, 3 и 4.

На основании приведенных рассуждений создана модель системы управления в среде Matlab (рис.3).

Для вычисления значений функции  $s=f(x,y)$  и частных производных  $s_x$  и  $s_y$  построен вычислитель (Рис.4).

Для работы вычислителя задаются следующие параметры:

- t – вид кривой (окружность, ромб или прямой);
- k – направление движения: +1 – по часовой стрелке; -1 – противоположенное направление.

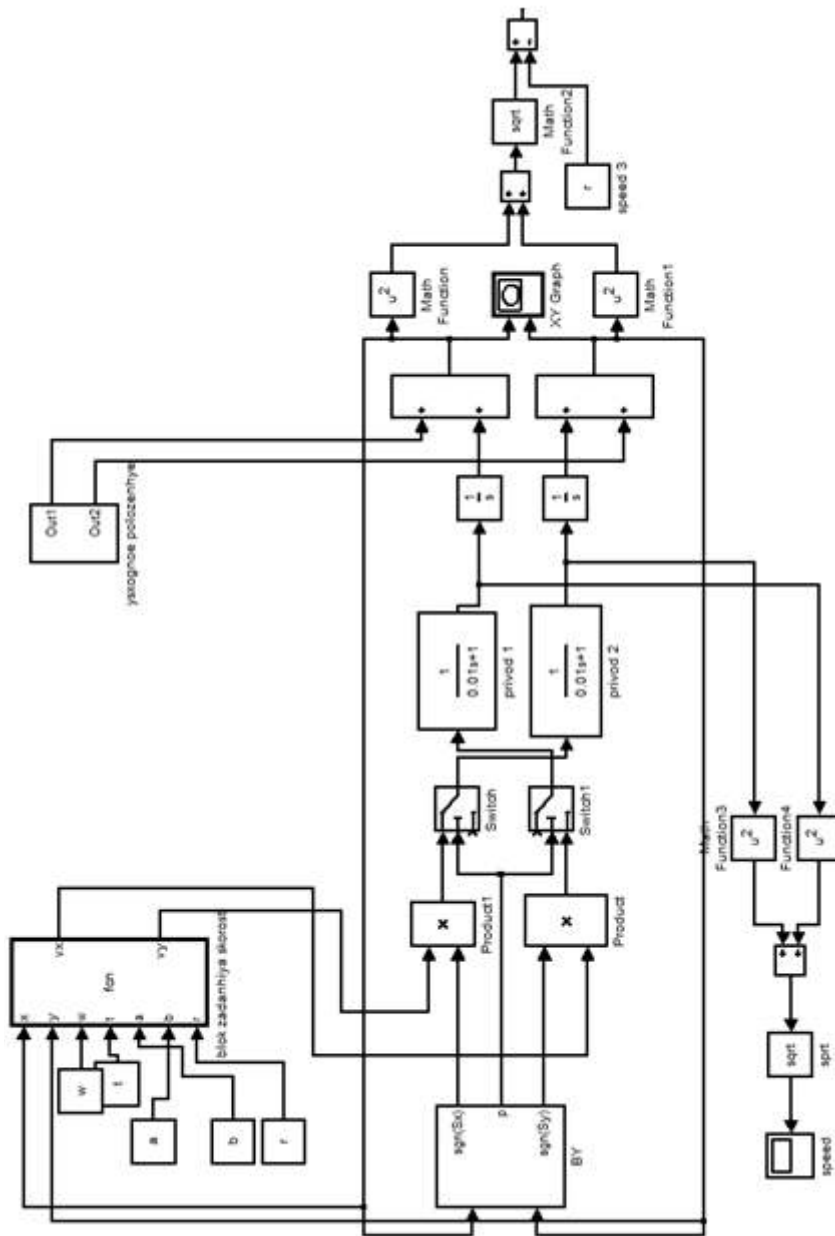
Для окружности x и y – координаты точек кривой; r – радиус окружности;

Для ромба: a, b – половина длины диагоналей ромба по x и по y;

Для прямой -  $a, b$  – параметры прямой;  
 $x_k, y_k$  – конечное положение точки для всех кривых;  
 $sx, sy$  – производные по  $x$  и по  $y$ ;

Каждая кривая имеют свое математическое описание и поэтому для вычисления искомых значений используются различные алгоритмы.

Рис.3. Модель системы управления



Блок задания скорости содержит алгоритмы расчета скорости для каждого вида кривой, чтобы обеспечить движение

по кривой с минимальным отклонением от заданной траектории и в программе задаются следующие переменные :  $w$  – коэффициент скорости;  $t$  – вид кривой;  $r$  – радиус

окружности;  $a, b$  – параметры ромба или прямой;  $v_x, v_y$  – выходные скорости.

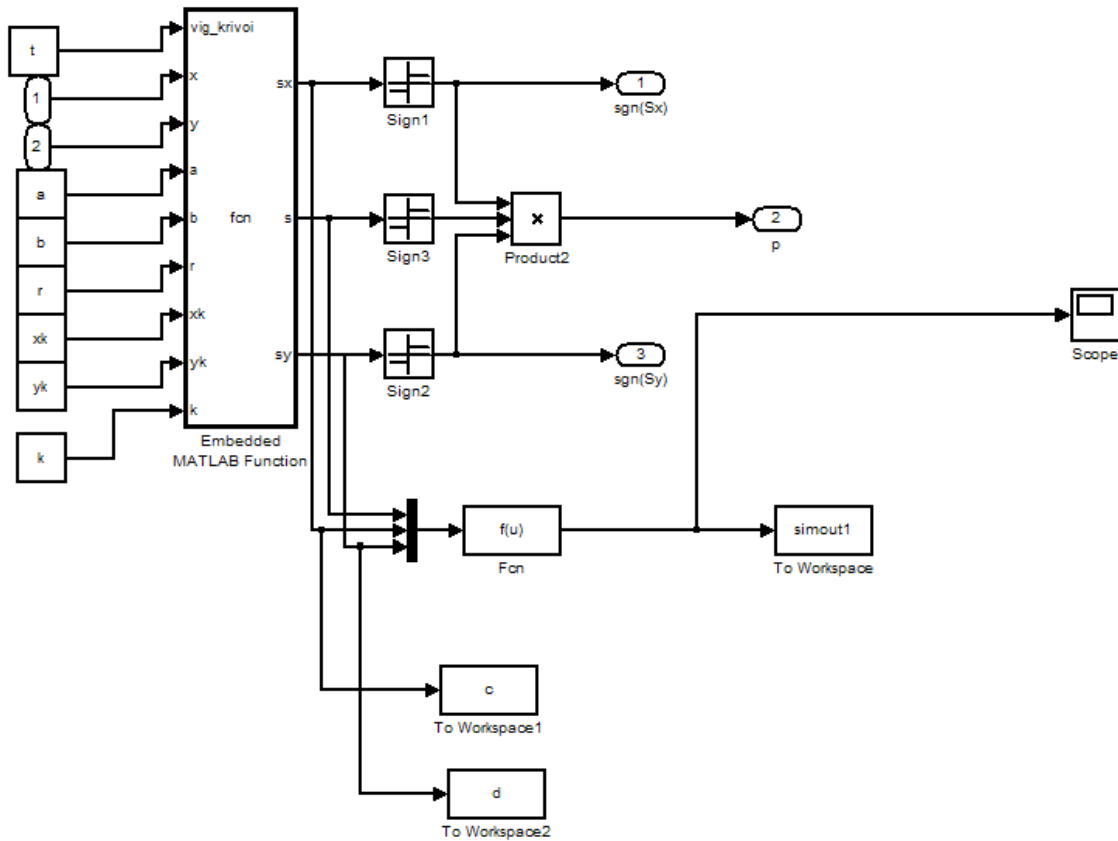


Рис. 4. Вычислительное устройство

ЛУ выполняет переключение электроприводов в зависимости от знаков функций  $s$ , и производных по  $x$  -  $sx$  и по  $y$  -  $sy$ .

Алгоритм работы ЛУ приведен ниже

$$u_x(t) = \begin{cases} \pm u_0 n_{pu} - sx > 0 \text{ и } s * sx * sy > 0, \\ \mp u_0 n_{pu} - sy < 0 \text{ и } s * sx * sy > 0, \\ 0 \text{ нпу } s * sx * sy < 0, \end{cases}$$

$$u_y(t) = \begin{cases} \pm u_0 n_{pu} sx > 0 \text{ и } s * sx * sy < 0, \\ \mp u_0 n_{pu} sy < 0 \text{ и } s * sx * sy < 0, \\ 0 \text{ нпу } s * sx * sy > 0. \end{cases}$$

Для реализации ЛУ должны использовать логические элементы, входящие в библиотеку программного обеспечения.

В соответствии со знаками  $s$ ,  $sx$ ,  $sy$  ЛУ переключает движение между двумя электроприводами и обеспечивает движение по кривой.

Перед началом работы модели все данные должны записывать в рабочую область. Результат работы представлен на рис.5.

Для компенсации ошибки движения по кривой можно использовать блок задания скорости в модели, изменяя ее в функции воспроизводимой кривой.

Для реализации управления с учетом негативных факторов технологического процесса предусмотрен дополнительный вход в регуляторе скорости, если используется

компенсационная схема или можно использовать сигнал задающего воздействия, к которому подмешивается сигнал коррекции.

Можно рассматривать и более сложную схему с параметрической настройкой регулятора или вводить дополнительный канал регулирования, но это достаточно сложно и вряд ли целесообразно. Еще одним решением можно считать включение, в структуру привода, дополнительного регулятора сохраняя подчиненную структуру регулирования.

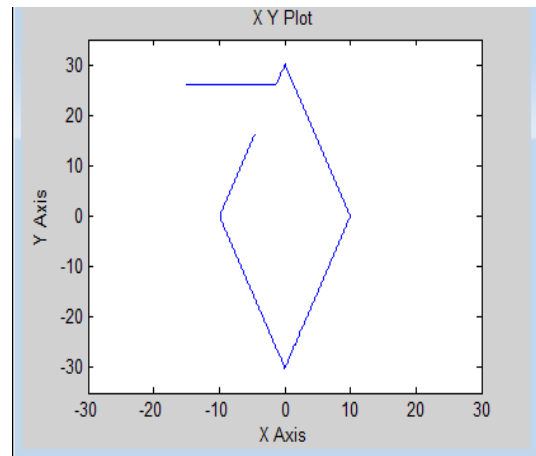


Рис.5. Пример обработки траектории.

## РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ВОЛОКОННО–ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЕФОРМАЦИИ

**Виркунин Андрей Олегович**

Аспирант 1 курс, СибГУТИ, Новосибирск

### DISTRIBUTED FIBER OPTIC SENSORS STRAIN

**Virkunin Andrey Olegovich**

Postgraduate course 1 SibSUTI, Novosibirsk

#### АННОТАЦИЯ

В данной статье описаны преимущества и уникальные свойства распределённых волоконно–оптических датчиков в целом и датчиков деформации в частности, а также рассмотрены области их применения.

Детально рассмотрены способы реализации распределённых волоконно–оптических датчиков деформации, основанные на различных оптических явлениях. Указаны преимущества и недостатки каждого из них.

Отдельно рассмотрены методы обработки получаемой от датчиков информации, основанные на принципах интеллектуальных нейронных сетей.

#### ABSTRACT

This article discusses the advantages and unique features of the distributed optical fiber sensors in general and in particular of strain gauges, as well as their applications are considered.

Considered in detail how to implement a distributed fiber optic strain sensors based on different optical phenomena. These advantages and disadvantages of each.

Separately, the methods of processing information received from the sensors based on the principles of intelligent neural networks.

**Ключевые слова:** датчики деформации; рассеяние Мандельштама-Брюллиена; нейронные сети.

**Keywords:** strain gauges; Brillouin scattering; neural networks.

#### Введение

Современный мир немалым образом зависит от автоматизированных систем мониторинга, которые применяются в различных отраслях промышленности, строительства, техники, при добыче полезных ископаемых и т.д. Одним из важнейших параметров для мониторинга является определение и измерение деформации. Измерение данного параметра позволяет проводить раннюю диагностику целостности и может предотвратить разрушение объекта. В некоторых случаях, это может спасти человеческие жизни.

В данной статье описаны преимущества волоконно–оптических датчиков перед традиционными электронными и показан их широчайший диапазон применения. Приведены различные схемы и принципы работы волоконно–оптических датчиков.

#### Преимущества волоконно–оптических датчиков деформации (ВОД)

Стоит отметить две тенденции в настоящее время. Во-первых, бурное развитие смежных технологий: волоконно–оптической передачи информации, приема и обработки информации, микропроцессорной техники. Всё это способствует развитию оптоволоконной измерительной техники и удешевлению технологии изготовления. Во-вторых, промышленность и регулирующие органы предъявляют все более жесткие требования к условиям эксплуатации, а именно, требования на помехозащищенность, безопасность измерений, точность и пр. Именно этим критериям удовлетворяют оптоволоконные датчики.

Отметим общие достоинства оптических волокон:

- широкополосность (до нескольких десятков терагерц);
- малые потери (минимальные 0,154 дБ/км);
- малый диаметр (не более 125 мкм);
- малая масса (приблизительно 30 г/км);
- эластичность (минимальный радиус изгиба 2 мм);
- механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 кг);
- отсутствие взаимной интерференции (перекрестных помех типа известных в телефонии .переходных разговоров.);
- безиндукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а следовательно, и отрицательные явления, связанные с грозовыми разрядами, близостью к линии электропередачи, импульсами тока в силовой сети);
- взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры);
- высокая электроизоляционная прочность (например, волокно длиной 20 см выдерживает напряжение до 10 000 В);
- высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде. [2, с. 65]

Использование оптических принципов измерений, на которых основаны волоконно–оптические датчики (ВОД), так же является наиболее полным и перспективным техническим решением для экстремальных условий эксплуатации. Использование кварцевого стекла в качестве ма-



териала для ВОД и измерительных линий связи является эффективным решением как по механическим свойствам,

так и по свойствам радиационной стойкости оптических кварцевых волокон (рисунок 1).

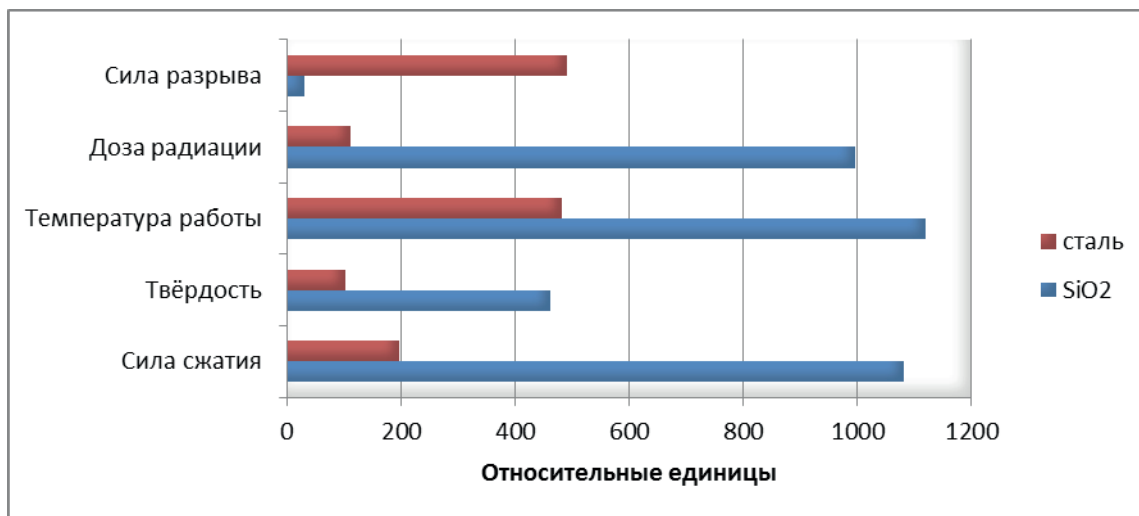


Рисунок 1. Сравнение свойств нержавеющей стали 08X18N10 и кварцевого стекла ГОСТ 15130 И.

Сравнение точностных характеристик и диапазонов измерения электронных датчиков (ЭД) и волоконно–оптических датчиков (ВОД) для экстремальных условий приведено в таблице 1. [1, с. 36]

Таблица 1  
Сравнение точностных характеристик и диапазонов измерения ЭД и ВОД.

Параметр	Порог чувствительности		Диапазон измерения	
	ЭД	ВОД	ЭД	ВОД
Деформация, млн <sup>-1</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-14</sup>	±5000	±15000
Давление, Па	7*10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	2*10 <sup>8</sup>	6*10 <sup>8</sup>

**Области применения ВОДД**

Благодаря своим уникальным характеристикам, оптоволоконные распределённые датчики деформации нашли свое применение во многих областях.

Системы мониторинга, основанные на данной технологии, благодаря своей масштабируемости, экономически

эффективны при использовании на крупномасштабных объектах. Волоконные датчики также являются самым надёжным решением при работе в агрессивных средах, где они находятся в экстремальных условиях, а так же там, где необходима высокая точность измерений.

Таблица 2

## Отрасли применения распределённых волоконно-оптических датчиков деформации

Отрасль	Применение ВОД
Горнодобывающая отрасль	<p>пожарное извещение в шахтах  мониторинг напряженно-деформированного состояния шахтных стволов и горных выработок  распределенный мониторинг конвейерных лент</p>
Нефтяная отрасль	<p>мониторинг скважин  измерение напряженно-деформированного состояния нефтепроводов</p>
Газовая отрасль	<p>оценка ресурса нагнетателя  мониторинг состояния фундаментов и элементов несущих конструкций узлов и агрегатов компрессорных станций  измерение напряженно-деформированного состояния газопроводов  комплексный мониторинг компрессорных станций</p>
Гидроэнергетика	<p>мониторинг состояния деривационного тоннеля и шахты вертикального водосброса  распределенный мониторинг бассейна суточного регулирования  контроль деформации, вибрации, наклона и перемещения для гидро- и турбогенераторов  комплексный мониторинг гидроагрегатов  контроль нагрузки и деформации в критических узлах конструкций – мосты, тоннели, дамбы</p>
Электроэнергетика	<p>распределенный мониторинг силового кабеля  распределенный мониторинг грозотроса  мониторинг вибрации генераторов</p>
Строительство и ЖКХ	<p>мониторинг элементов конструкции зданий (фундамент, несущие конструкции, балки и перекрытия)  мониторинг ключевых параметров несущих конструкций спортивных объектов (стадионы, арены)  мониторинг мостов, эстакад  мониторинг состояния теплотрас</p>
Авиация и космос	<p>внедрение чувствительных элементов в композиционные материалы (мониторинг деформации и температуры)  мониторинг для измерения предельных нагрузок на конструктивные части летательных аппаратов (крылья, фюзеляж)  бортовая система мониторинга</p>
Транспорт	<p>мониторинг участков высокоскоростной железнодорожной линии  контроль состояния рельс под воздействием трафика или быстро идущего состава  контроль структурного состояния: ж/д путей, монорельсовых дорог, метро, подвижного состава, ж/д туннелей, ж/д мостов</p>
Охрана	<p>охрана периметра от несанкционированного проникновения  охрана промышленных и складских помещений</p>

### Способы реализации ВОДД

Система распределённых волоконно-оптических датчиков может быть реализована несколькими способами. Первый способ — связать несколько дискретных датчиков в сеть или массив с выходами от каждого датчика, мультиплексируемыми с разделением по времени (TDM — time division multiplexing), или частоте (FDM — frequency division multiplexing)

Второй способ заключается в использовании присущей волоконно-оптическим системам возможности создания распределённых сенсоров.

Один из вариантов — использование рефлектометрии, рассеяния Мандельштама-Брюллиена. В оптическое волокно подается свет лазера с высокой выходной мощно-

стью и коротким импульсом излучения, и затем измеряются параметры обратного рассеяния Мандельштама-Брюллиена, а также френелевского отражения, от неоднородностей, изгибов, стыков и торцов волокна. По временной задержке между моментом излучения импульса и моментом прихода сигнала обратного рассеяния определяется местоположение неоднородности, по интенсивности излучения обратного рассеяния определяются потери в конкретной точке, а так же величину сдвига и характер деформации объекта. Такое сканирование при помощи большого числа импульсов, а так же обработка и усреднение, позволяют получить картину распределения потерь в линии и их изменение в реальном времени под внешним воздействием (Рисунок 2).

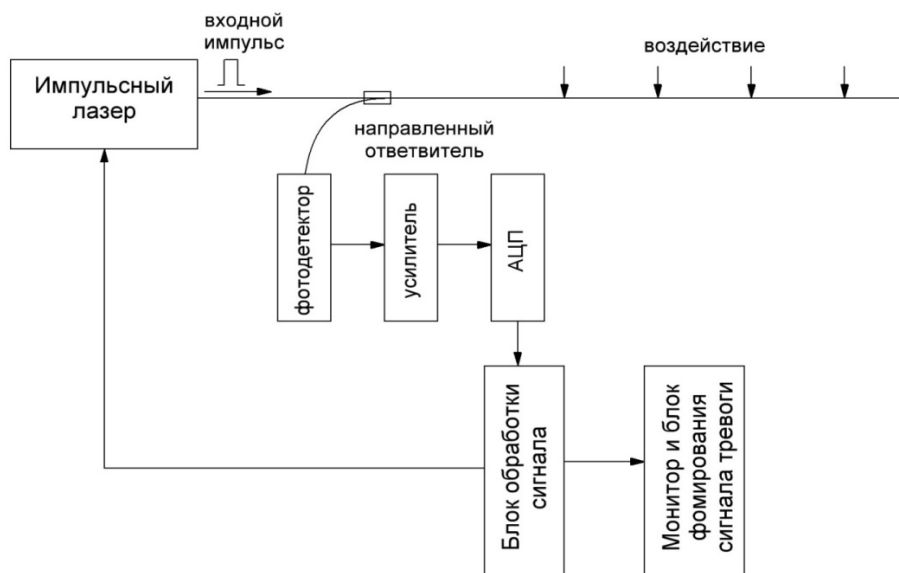


Рисунок 2. Распределенный рефлектометрический сенсор

Второй вариант — использование интерферометрических датчиков на Брэгговских решетках. Отражательные Брэгговские решетки в сердцевине одномодового оптического волокна могут быть созданы ультрафиолетовым излучением эксимерного лазера путем облучения через соответствующую маску либо голографическим способом (воздействием двух интерферирующих лучей). Отрезок оптического волокна между двумя решетками представля-

ет собой интерферометр Фабри-Перо, отражение (и пропускание) которого зависят от оптической разности фаз отраженного от первой и второй решетки оптического сигнала. Под воздействием деформации, меняется разность фаз, а, следовательно, и отражение.

Схема волоконно-оптического распределенного датчика с решетками на одну длину волны приведена на рисунке 3.

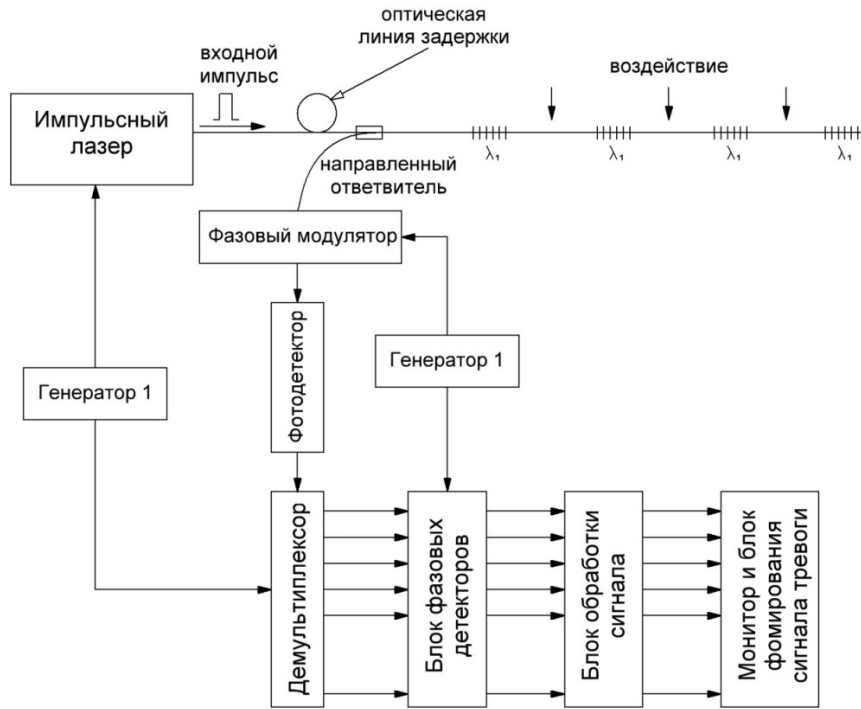


Рисунок 3. Схема волоконно-оптического распределенного датчика с решетками на одну длину волны и временным демультиплексированием

В качестве источника излучения используется одномодовый полупроводниковый лазер, работающий в импульсном режиме. Импульсы от каждой системы решеток приходят с различной временной задержкой. Для разделения сигналов от каждого участка используется временное мультиплексирование. Для демодуляции сигнала используется синхронное детектирование, для этого в схему введен фазовый модулятор. Оптическая линия задержки формирует серию импульсов, сдвинутых по времени, каждый из которых интерферирует с импульсом, отраженным от соответствующего участка волокна.

**Обработка полученной от ВОДД информации**

Для отделения значимых сигналов от шумов и помех, целесообразно использовать анализатор сигналов, основанный на принципе нейронной сети. [3, с. 4] Применение нейронной сети обеспечивает высокую надежность обнаружения при низком уровне ложных срабатываний. Типовая схема блока обработки сигналов приведена на рисунке 4.

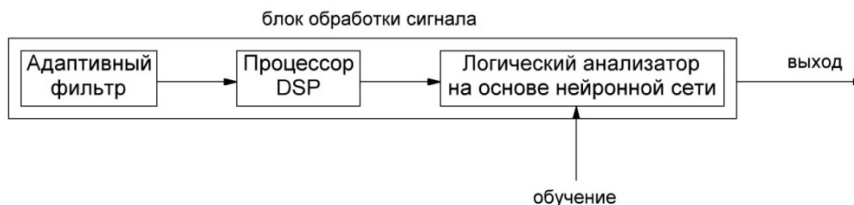


Рисунок 4. Схема блока обработки сигналов

В применении к задачам распознавания сигналов, используются нейронные сети. Нейронная сеть или нейромодель — это вычислительная система, алгоритм решения задач в которой представлен в виде сети пороговых элементов с динамически перестраиваемыми коэффициентами и алгоритмами настройки, независимыми от размерности сети, пороговых элементов и их входного пространства.

Алгоритм обучения нейронной сети (так называемый алгоритм обратного распространения) заключается в том, что выход последнего слоя нейронов сравнивается с образцом обучения, и из разницы между желаемым и действительным делается вывод о том, каковы должны быть связи нейронов последнего слоя с предыдущим. Затем подобная операция производится с нейронами предпоследнего слоя. В итоге по нейросети от выхода к входу бежит волна изме-



нения весов связей. Нейронная сеть, в общем виде, обладает двумя замечательными свойствами: способностью к обучению на некотором множестве примеров и стабильно распознавать (прогнозировать) новые ситуации с высокой степенью точности, причем в условиях сильных внешних помех, таких как появление противоречивых или неполных значений. Обучение системы сводится к работе алгоритма подбора весовых коэффициентов, который действует без непосредственного участия оператора.

Сигнал на вход нейросетевого анализатора подается в виде спектрального вектора, который формируется процессором DSP (digital signal processing), принцип действия которого основан на алгоритмах быстрого преобразования Фурье. На входе процессора расположен адаптивный фильтр, который оптимизирует работу устройства.

Всё это позволяет минимизировать количество ложных срабатываний и значительно улучшить стабильность системы.

### Вывод

Развитие науки и техники вынуждает нас использовать точные (прецизионные) системы мониторинга и ранней диагностики разрушения объекта. Исходя из данной статьи, можно сделать вывод о том, что волоконно-оптические датчики имеют неоспоримые преимущества по сравнению с электронными. Точно так же и оптическое волокно превосходит металлические проводники практически по всем параметрам.

Благодаря своим уникальным свойствам, распределённые волоконно-оптические датчики деформации могут

быть использованы во многих сферах деятельности человека. В том числе и там, где электронные датчики используются быть не могут в принципе (легко воспламеняемые среды, места высокого радиационного фона и т.д.).

Из всех типов распределённых волоконно-оптических датчиков деформации, представленных в данной статье, более предпочтительным является датчик с использованием рефлектометрии, детектировании обратного рассеяния Мандельштама-Брюллиена. Данные датчики позволяют локализовать повреждение объекта более точно по сравнению с подобными датчиками на основе Брэгговских решёток. Кроме того они более просты в изготовлении.

### Список литературы.

1. Буймистряк Г. Волоконно-оптические датчики для экстремальных условий // Control engineering Россия – 2013 – №3(45). – С. 34 – 40.
2. Томышев К. А., Баган В. А., Астапенко В. А. Распределённые волоконно-оптические датчики давления для применения в нефтегазовой промышленности // Труды МФТИ – 2012. – Том 4. – №2. – С. 64 – 72.
3. Иванченко П., Красовский В. Распределённые волоконно-оптические системы для охраны периметра: перспективные технологии. – 2007. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://guarda.ru/infra\_red/22/]

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

**Сидельников Сергей Борисович**

д-р техн. наук, профессор СФУ, г. Красноярск  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Довженко Николай Николаевич**

д-р техн. наук, профессор СФУ, г. Красноярск  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Беспалов Вадим Михайлович**

канд. техн. наук, ст. преподаватель СФУ, г. Красноярск  
E-mail: vmbespalov@mail.ru

**Кирко Владимир Игоревич**

д-р физ.-мат. наук, профессор СФУ, г. Красноярск  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Леонов Виктор Васильевич**

д-р хим. наук, профессор СФУ, г. Красноярск  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Ворошилов Денис Сергеевич**

канд. техн. наук, доцент СФУ, г. Красноярск  
E-mail: sibdrug@mail.ru

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF OBTAINING WIRE ELECTROTECHNICAL PURPOSE FROM ALUMINIUM ALLOYS WITH TRANSITION METALS

**Sidelnikov Sergey**

Doctor of technical sciences, professor of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Dovjhenko Nikolai**

Doctor of technical sciences, professor of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Bespalov Vadim**

Candidate of technical science, seniorlecturer of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: vmbespalov@mail.ru

**Kirko Vladimir**

Doctor of physical and mathematical sciences, professor of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Leonov Viktor.**

Doctor of chemical sciences, professor of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: sbs270359@yandex.ru

**Voroshilov Denis**

Candidate of technical science, associate professor of SFU, Krasnoyarsk  
E-mail: sibdrug@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований механических и электрических свойств деформированных полуфабрикатов из низколегированных сплавов системы Al-Zr, полученных с помощью методов совмещенной прокатки-прессования, совмещенного литья и прокатки-прессования.

**ABSTRACT**

Article represents research results of mechanical and electrical properties of deformed semi-finished products from low alloyed alloys of Al-Zr system, obtained with using methods of combined rolling-extruding, combined casting and rolling-extruding.

**Ключевые слова:** алюминий, проволока, механические свойства, электросопротивление, литье, прокатка, прессование.

**Keywords:** aluminium, wire, mechanical properties, electrical resistivity, casting, rolling, extrusion.

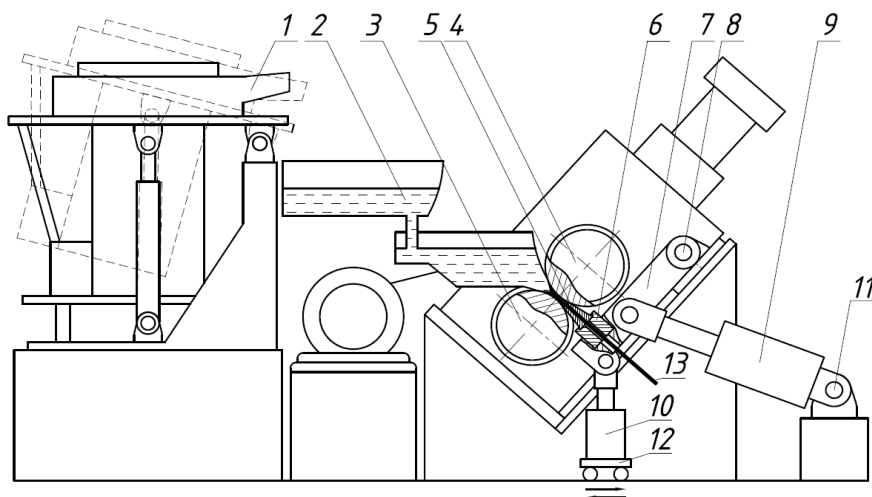
В последнее время большое использование для электротехнической промышленности находят термически стабильные провода из алюминиевых сплавов, сохраняющие прочность при длительных нагревах до температуры 200 °С. Заготовкой для изготовления проволоки для проводов, рабочая температура эксплуатации которых не превышает 90 °С, в настоящее время является катанка из технического алюминия марок А5Е, А7Е. При этом выпускаемые провода имеют низкую прочность и термостойкость. Недостаточная прочность алюминиевой проволоки, изготовленной из такой катанки, даже при нормальной температуре эксплуатации под воздействием длительной нагрузки может привести к ее разрушению, при этом, чем больше температура, тем ниже ее стойкость. Вместе с тем за рубежом для изготовления термостойких проводов успешно применяют проволоку из сплавов системы Al-Zr, которая имеет высокие прочностные свойства при длительно действующих температурах нагрева до 200-230 °С. В связи с этим существует потребность в поиске новых сплавов алюминия, проволока из которых обладает повышенной

механической прочностью и термической устойчивостью, и технологий их обработки.

В связи с этим целью данной работы является разработка новых инновационных технологий для производства проволоки электротехнического назначения из новых сплавов алюминия с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Для реализации этой цели был применен метод совмещенного литья и прокатки-прессования (СЛиПП) [6], разработанный в институте цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета.

В соответствии с этим методом энергоемкий и многопереходный процесс литья-прокатки для получения катанки с использованием литейно-прокатных агрегатов (ЛПА), введенных в эксплуатацию в 70-х годах прошлого столетия и не предназначенных для обработки сплавов алюминия с повышенной прочностью, предлагается заменить на процесс СЛиПП, который реализуется на установке, показанной на рис. 1 [7].



**Рисунок 1. Общий вид устройства СЛиПП по патенту РФ №128529:**

1 - печь-миксер; 2 - литниковая система; 3 - валок с ручьем; 4 - валок с выступом; 5 - матрица; 6 - матрицедержатель; 7 - кронштейн; 8, 11, 12 - шарниры; 9 - гидроцилиндр; 10 - вертикальный гидроцилиндр

Это позволит существенно снизить трудо- и энергоемкость производства катанки и повысить выход годного, так как для получения катанки используется один агрегат кристаллизации-деформации металла. Расплав при этом заливается в водоохлаждаемые валки, металл кристаллизуется в них, подвергается прокатке и прессованию и вы-

давливается через прессовый инструмент (матрицу) в виде катанки заданных размеров и формы. Данная технология в настоящее время проходит апробацию на одном из металлургических заводов компании «РУСАЛ» [2].

Применение такой технологии не гарантирует получение проволоки с заданными эксплуатационными харак-

теристиками, поэтому целью данной работы является не только получение деформированных полуфабрикатов, но и исследование механических, электрических свойств и термической устойчивости проволоки из сплавов системы Al-Zr при длительных температурных испытаниях. Для реализации этой цели были выбраны 10 экспериментальных сплавов, имеющих химический состав согласно техническим решениям [5, 4], из которых методом СЛиПП была получена катанка диаметром 9 мм, а затем волочением изготовлена проволока диаметром 2 мм. Полученную проволоку подвергали длительным температурным испытаниям, при этом образцы длиной 120 мм выдерживали 400 часов в печи при температуре 180 °С, что имитирует 50-летнюю работу линии электропередач и соответствует международным стандартам IEC 62004-07 [3] и ASTM B94-05 [1].

Исследования механических свойств литых заготовок, катанки и проволоки проводили на испытательной маши-

не LFM400 (Швейцария) усилием 400 кН методом статических испытаний на растяжение. При этом фиксировали временное сопротивление разрыву ( $\sigma_B$ , МПа), относительное удлинение после разрыва ( $\delta$ , %) в зависимости от времени выдержки.

Анализ полученных результатов исследований показал, что после горячей обработки металла методом СЛиПП и получения катанки диаметром 9 мм значения  $\sigma_B$  составили 120-160 МПа. После холодного волочения и получения проволоки диаметром 2 мм прочностные характеристики увеличились до 175-250 МПа. После проведения температурных испытаний значения  $\sigma_B$  лежат в интервале 160-210 МПа, таким образом снижение прочности в среднем составило 14 % (рис. 2). Значения относительного удлинения также изменялись незначительно и составили 1,5-2,5 % в зависимости от химического состава сплавов.

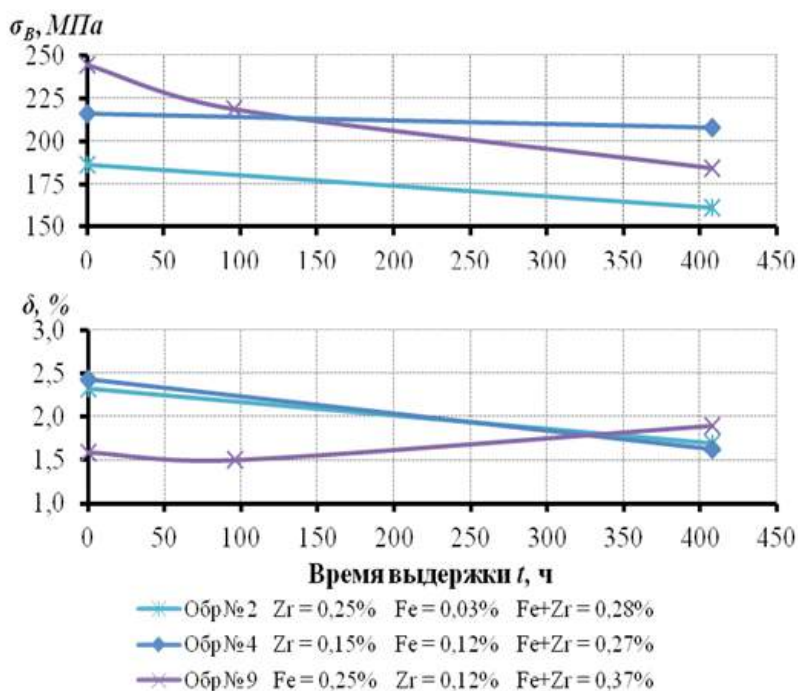


Рисунок 2. Графики зависимости механических свойств исследуемых образцов проволоки из сплавов системы Al-Zr от времени выдержки

Для определения удельного электросопротивления использовался зондовый метод, при этом с помощью мультиметра APPA 109N измеряли падение напряжения на образцах при фиксированном значении силы тока  $I$ , создаваемой источником питания. Затем по известным формулам рассчитывали удельное электросопротивление:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \frac{\hat{i} \cdot \hat{i} \cdot \hat{i}^2}{i} \quad (1)$$

$R = U/I$  – сопротивление проволоки, Ом;  
 $S$  – площадь поперечного сечения металла, мм<sup>2</sup>;

$l$  – расстояние между контактами, закрепленными на образце, м;

$U$  – падение напряжения на образце, В;

$I$  – сила тока, А.

Средние значения удельного электросопротивления образцов проволоки составляли 0,0281-0,0320 Ом·мм<sup>2</sup>/м. После длительных испытаний значения удельного электросопротивления изменились незначительно (в среднем на 5%) и составили 0,0280-0,0317 Ом·мм<sup>2</sup>/м в зависимости от химического состава сплава (рис.3).



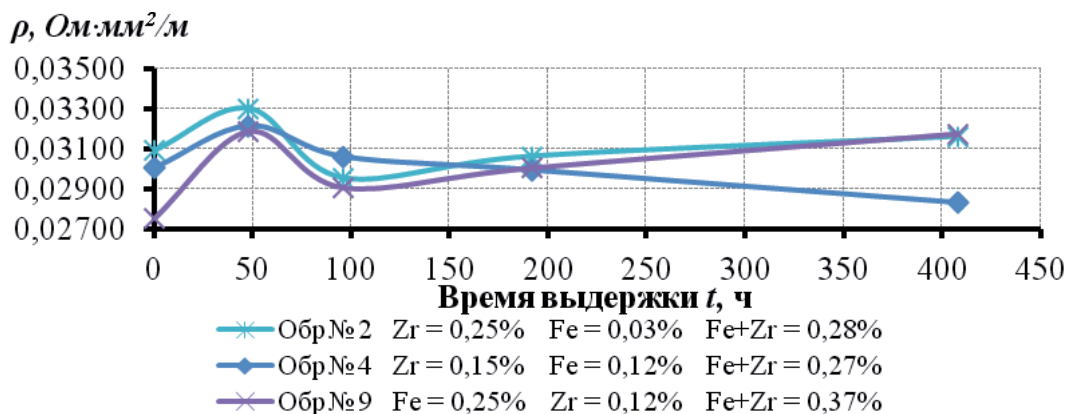


Рисунок 3. Графики зависимости удельного электросопротивления образцов проволоки от времени выдержки для сплавов системы Al-Zr

Результаты замеров изменения удельного электросопротивления при нагреве проволоки представлены на рис. 4, а значения температурного коэффициента сопротивления  $\alpha$  проволоки из исследуемых сплавов – в табл. 1.

Таблица 1  
Температурный коэффициент сопротивления проволоки  $\alpha$

Номер образца	$\rho_{40^\circ}$ Ом·мм²/м	$\rho_{110^\circ}$ Ом·мм²/м	$\alpha_p$ 1/°C	$\rho_{150^\circ}$ Ом·мм²/м	$\rho_{280^\circ}$ Ом·мм²/м	$\alpha_p$ 1/°C
2	0,03412	0,03873	0,00358	0,04390	0,05780	0,00397
4	0,03213	0,03860	0,00325	0,04296	0,05644	0,00378
9	0,03201	0,03875	0,00342	0,04200	0,05652	0,00442

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что проволока из новых сплавов временной системы Al-Zr, полученная с применением технологии совмещенного литья и прокатки-прессования, имеет сопротивление разрыву до 250 МПа при сравнительно низких значениях удельного электросопротивления. После длительных температурных испытаний (свыше 400 часов) было выявлено, что снижение прочностных характеристик образцов проволоки составило в среднем 14 %, а значения удельного электросопротивления изменились в среднем на 5 %. Эти показатели дают возможность рекомендовать новые составы исследуемых сплавов и технологии их обработки для получения термически стабильных проводов с рабочей температурой до 200 °С.

#### Список литературы:

1. ASTM B94-05. Standard Specification for Heat Resistant Aluminium-Zirconium Alloys Wire for Electrical Purposes. Copyright American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA. 2005. – 4 p.
2. Development and research of new aluminium alloys with transition and rare-earth metals and equipment for production of wire for electrotechnical applications by methods of combined processing / I. Matveeva, N. Dovzhenko, S. Sidelnikov, L. Trifonenkov, V. Baranov, E. Lopatina // TMS Light Metals Issue Light Metals 2013 - At the TMS 2013 Annual Meeting and Exhibition. – 2013. – PP. 443–447.
3. IEC 62004-07. Thermal-resistant aluminum alloys wire for overhead line conductor. Copyright International Commission, Geneva, Switzerland. 2007. – 13 p.
4. Алюминиевый сплав. Патент РФ № 2544331, кл. C22C 21/00, опубл. 20.03.2015, бюл. № 8.
5. Алюминиевый сплав. Патент РФ № 2458151, кл. C21C 1/02, опубл. 10.08.2012, бюл. № 22.
6. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. М.: МАКС Пресс, 2005.
7. Установка для непрерывного литья, прокатки и прессования цветных металлов и сплавов. Патент РФ № 128529, кл. B22D 11/06, опубл. 27.05.2013, бюл. № 15.

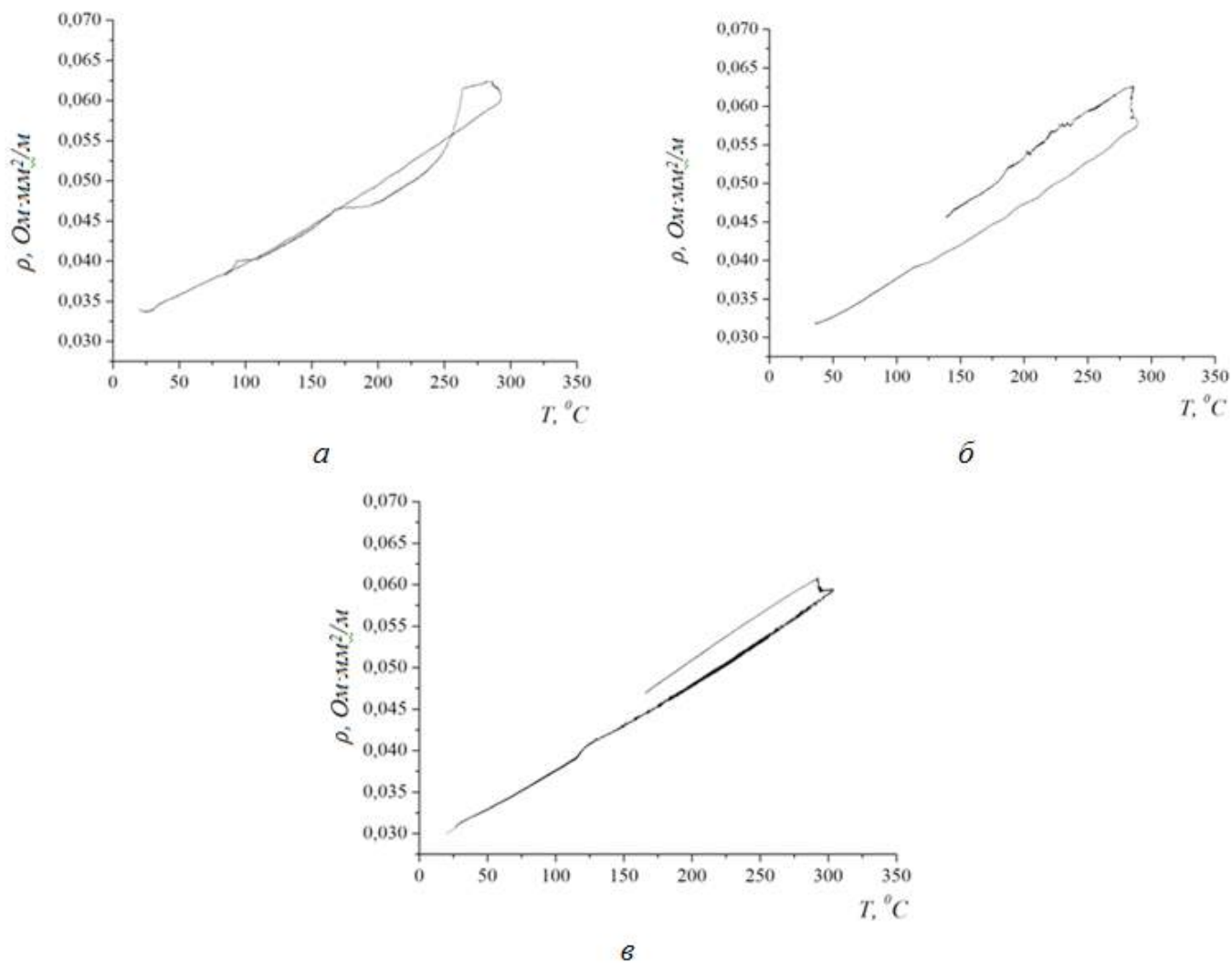


Рисунок 4. Изменение удельного электросопротивления при повышении температуры для образцов проволоки №2 (*a*), №4 (*б*) и № 9 (*в*)

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ИСТОЧНИК ТВОРЧЕСТВА И УСЛОВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Данилова Светлана Анатольевна**  
канд. техн. наук, доцент Юго-Западного  
Государственного Университета, г. Курск

## RESEARCH ACTIVITY AS A SOURCE OF CREATIVITY AND A CONDITION FOR THE FORMATION OF COMPETENCIES OF FUTURE SPECIALISTS OF LIGHT INDUSTRY

**Danilova Svetlana**  
candidate. tech. Sciences, Professor South-Western  
State University, Kursk

### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследовательских и проектных работ, являющихся самым главным видом образовательной деятельности, выполняемых в рамках формирования профессиональных компетенций выпускников вузов, готовящих специалистов для легкой промышленности.

### ABSTRACT

The results of research and design work being the main form of educational activity performed in the framework of formation of professional competences of graduates that train specialists for light industry.

**Ключевые слова:** образовательный процесс, профессиональные компетенции, исследовательская работа, творчество.

**Keywords:** educational process, professional competence, research work, creative work.

Современные запросы к предметам одежды, обуви, аксессуарам как к утилитарным объектам потребления и как к продуктам дизайна базируются на личностных аспектах потребителя.

Изделия должны быть полезными и высокоэффективными по совокупности функциональных свойств и чувственно-привлекательными, благоприятно воздействующими на психику человека, вызывающими положительные эмоции, предоставляющими возможность сотворчества с их создателем – автором (дизайнером) при эксплуатации.

Поэтому сегодня можно утверждать, что дизайн изделия легкой промышленности решает проблемы его комфорта, гармоничного слияния человека с окружающей средой, создания новых форм предметов одежды и других изделий легкой промышленности.

В контексте данного видения сущности и значимости деятельности специалистов в сфере производства и дизайна изделий легкой промышленности особенно актуальной остается проблема эффективного формирования профессиональных компетенций у выпускников профильных вузов.

Поэтому, пожалуй, самым главным видом образовательной деятельности, регламентируемым федеральным образовательным стандартом высшего образования, как первой, так и второй ступени образования, является творческая и научно-исследовательская.

Исследовательская работа в рамках образовательного процесса подготовки специалиста для легкой промышленности, как показывает практический опыт, имеет комплексный характер и направлена на изучение: возможных методов модификации и оптимизации исходных свойств сырья и материалов, используемых для выполнения проектируемых предметов изделий легкой промышленности [1, 18-20], процессов последовательного облагораживания и физико-механического преобразования материалов многослойных систем - пакетов изделий легкой промышленности [2-9, 22]; систем проектирования; источников творчества; поиск путей архитектурных связей художественных образов, составление художественного и символического языка искусства предмета одежды, обуви и других изделий (костюма) [10-17, 21]; выявление и структурирование особенностей композиционного формообразования, характерных для исторического и современного костюма [21].

Для достижения высокой эффективности исследовательской деятельности обучаемых, которую необходимо обеспечить в рамках образовательного процесса, сегодня происходит трансформирование самого образовательного процесса в новый тип образования - инновационный, в котором системообразующую и интегрирующую роль, при формировании профессиональных компетенций обучаемых, призвана сыграть их творческая деятельность.

Сегодня накоплен колоссальный опыт, доказывающий, что только в творчестве возможно развитие и практическое применение обучаемым потенциальных способностей и собственного опыта. Только в условиях творческой реализации возможно осознание обучаемым собственной индивидуальной потребности и индивидуальных возможностей к генерации инновационных, оригинальных решений объектов проектирования (творчества).

Тем самым, в процессе творческой деятельности, осуществляемой в рамках решения исследовательских задач, возможно формирование уверенности обучаемого в личной реальной полезности и значимости для социума его созидательного труда, уверенности в его профессиональной компетентности, что является фактором, определяющим профессиональную мотивированность обучаемого.

К тому же творческий труд носит воспитательный характер, поскольку способен определять и формировать жизненный уклад, систему субъективных ценностей, ближайшие и даже самые отдаленные перспективы индивида, определять эффективность перманентного процесса самообучения человеческой и профессиональной личности. Таким образом, творчество можно и нужно рассматривать как основную составляющую любого мастерства (профессиональной компетентности).

Опыт образовательной деятельности преподавательского состава кафедры дизайна и технологии изделий легкой промышленности Юго-Западного государственного университета свидетельствует о том, что инновационный подход к формированию профессиональных компетенций обучаемых должен иметь системный характер. Это обусловлено тем, что только в результате систематической и целенаправленной работы у обучаемого постепенно формируется готовность к постоянной творческой самореализации, разовьется воображение, мышление, появится положительная мотивационная направленность на поиск нового, нестандартного, оригинального, активизируется его творческий потенциал.

В будущем в информационном обществе, адаптированные для такой среды, индивиды смогут лучше конкурировать на рынке труда среди профессионалов, приносить больше пользы для общества и, как следствие смогут быть более востребованными и успешными цельными личностями. Такое положение вещей объясняется тем, что в информационном обществе большая часть людей будет вынуждена заниматься исследовательской деятельностью.

Основным содержанием такой деятельности является творчество, а само творчество станет позиционироваться как важнейший механизм адаптации, как доминантная профессиональная характеристика личности, как необходимое качество, позволяющее человеку реализовываться в быстро меняющихся социальных условиях и ориентироваться во все более расширяющемся информационном поле.

В настоящее время студентами, обучающимися по направлению подготовки бакалавриата и магистратуры «Конструирование изделий легкой промышленности», ведутся активные исследования и достигнуты существенные результаты в направлениях: нанотехнологические аспекты модификации свойств текстильных материалов для изделий легкой промышленности; проектирование многофунк-

циональных трансформируемых предметов одежды с оптимальными свойствами; дизайн-проектирование изделий легкой промышленности в дискурсе об имиджкломинге; проектирование технических средств для оценки свойств материалов для изделий легкой промышленности.

На разработки, выполненные в рамках реализации выше указанных направлений научно-исследовательской деятельности, в настоящее время получены сорок пять патентов на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, поданы две заявки на получение охранных документов.

В патентоспособных технических решениях объектов интеллектуальной собственности, предложенных студентами в соавторстве с преподавателями кафедры дизайна и технологии изделий легкой промышленности, часть которых представлена в списке литературы к данной статье [8-17, 22], ставка делается на: трансформации исходных простых форм предметов одежды в иные, придающие дополнительные функции, или простых форм в сложные для расширения ассортимента современных изделий легкой промышленности; создание творческих композиций, основанных на принципах восприятия, модификации и стайлинга объектов окружающего мира; создание уникальных с точки зрения специфичности функций приспособлений – устройств предметов одежды, определяющих их максимальную утилитарность; создание интеллектуальной оболочки вокруг тела человека (пакета одежды), оптимизирующей санацию пододежного пространства в том числе посредством модификации свойств текстильных полотен наночастицами драгоценных металлов; на создание специализированных технических средств для оценки качественных характеристик свойств материалов, применяемых для выполнения пакетов одежды.

#### Список литературы:

1. Данилова С.А. Разработка технологии эмульсирования химического жгута на штапелирующих машинах: автореф. дис. канд. техн. наук. М., МГУДТ, 1998.
2. Данилова С.А. Исследование и проектирование трансформируемой одежды с оптимальными свойствами // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. 2012. №2. Ч.1.- С.225-230.
3. Данилова С.А. Реализация системного подхода к обучению патентному делу бакалавров и магистров в области легкой промышленности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 2 (53). С. 181-187.
4. Данилова С.А. К вопросу о развитии навыков, формирующих профессиональные компетенции специалиста в области проектирования охраноспособных объектов промышленной собственности. // Современные концепции научных исследований. Материалы XIII Международной научно-практической конференции Евразийского союза ученых. 2015. №4. Ч.3.С.149-152.
5. Данилова С.А., Кизилова Е.В. Произведения дизайнера одежды как объект интеллектуальной собственности. // Современные концепции научных

- исследований. Материалы IX Международной научно-практической конференции Евразийского союза ученых. 2014. №9. Ч.1.С.30-32.
6. Данилова С.А. Опыт реализации имиджологического подхода к художественному проектированию одежды. // Современные концепции научных исследований. Материалы XIV Международной научно-практической конференции Евразийского союза ученых. 2015. №5.Ч.3. С.40-42.
  7. Данилова С.А.К вопросу об опыте реализации импрессионного подхода к проектированию одежды. // Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени. Материалы X Международной научно-практической конференции Национальной ассоциации ученых. 2015. №5(10).Ч.2. С.34-36.
  8. Данилова С.А., Резина М.П. Трансформируемый комплект с многофункциональными элементами. Патент на полезную модель №105133, Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup>A41D15/00, №2010153490/12, заявл. 27.12.2010, опублик. 10.06.11, Бюл. № 16.
  9. Данилова С.А., Кирилович В.И., Иноземцева Е.В. Трансформируемый многофункциональный жилет. Патент на полезную модель №147639. Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup>A41D15/00, №2010151347/12, заявл. 23.05.2014, опублик. 10.11.14, Бюл. № 31.
  10. Данилова С.А., Кирилович В.И. Комплект трансформируемой одежды с аксессуаром. Патент на промышленный образец №86511, Рос. Федерация, МКПО<sup>9</sup> 02-02, №2012500834, заявл. 20.03.2012, опублик. 16.10.13.
  11. Данилова С.А., Шихова А.Ю. Многофункциональное нарядное молодежное платье с аксессуаром. Патент на промышленный образец №87115, Рос. Федерация, МКПО<sup>9</sup> 02-02, №2012502893, заявл. 15.08.2012, опублик. 16.12.13.
  12. Данилова С.А., Быковская Г.Б. Комплект трансформируемой одежды с аксессуаром (2 варианта). Патент на промышленный образец №87114, Рос. Федерация, МКПО<sup>9</sup> 02-02, №2012502342, заявл. 11.07.2012, опублик. 16.12.13.
  13. Данилова С.А., Кирилович В.И., Кизилова Е.В., Иноземцева Е.В. Куртка-трансформер с капюшоном. Патент на полезную модель №152338. Рос. Федерация, МПК A41D15/00, 2014117132, заявл. 29.04.2014, опублик. 20.05.2015. Бюл. №14.
  14. Данилова С.А., Растегаева А.А., Будникова О.В., Козлитина Н.В., Белоусова И.Л. Маскарадный костюм «Леди Винтаж». Патент на промышленный образец №91682, Рос. Федерация, МКПО<sup>10</sup> 02-02, №2013503317, заявл. 27.08.2013, опублик. 16.02.2015.
  15. Данилова С.А., Ёылмаз Г.Б., Конотопцева Н.Ю. Комплект детской одежды. Патент на промышленный образец №91725, Рос. Федерация, МКПО<sup>10</sup> 02-02, №2013504808, заявл. 16.12.2013, опублик. 16.02.15.
  16. Данилова С.А., Червякова Ю.С. Молодежный женский плащ. Патент на промышленный образец №92707, Рос. Федерация, МКПО<sup>10</sup> 02-02, №2013502727, заявл. 15.07.2013, опублик. 16.04.2015.
  17. Данилова С.А., Кретова Т.А. Школьный форменный сарафан с баской. Патент на промышленный образец №93105, Рос. Федерация, МКПО<sup>10</sup> 02-02, №2014500512, заявл. 11.02.2014, опублик. 16.05.2015.
  18. Emelyanov V., Dobrovolskaya T., Danilova S., Emelyanov V., Butov R., Orlov E. Identification of Silver Nanoparticles on Polyester Fiber on Raman Spectrograms of the in the Conditions of Information Uncertainty. Open Journal of Metal. 2013. №3.С.29-33.
  19. Emelyanov V., Dobrovolskaya T., Danilova S., Emelyanov V., Butov R., Orlov E. The Control of Gold Nanoparticles on Polyester Fibers by Raman Spectrograms in Conditions of Information Uncertainty with Detection Accuracy. Journal of NANO-and ELECTRONIC PHYSICS. 2013. vol.5. №4. Part I.
  20. Emelyanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Avilova I.A., Danilova S.A., Emelyanov V.V., Butov K.V., Orlov E.J., Eskov A.S., Eskova N.Y. Evaluation of Silver and Gold Nanoparticles on Polyester Fibers by Fluorescent Polarization Raman Spectra. Journal of NANO-and ELECTRONIC PHYSICS. 2014. vol.6. №3.
  21. Коробцева Н.А. Формирование индивидуального имиджа и проектирование одежды: актуальные проблемы и направления исследований. /Имиджология-2005: феноменология, теория, практика. Материалы Третьего международного симпозиума. – М.: РИЦ АИМ, 2005. – с.323-325 [www.academimim.org](http://www.academimim.org), <http://imageology.ru/>
  22. Ноздрачева Т.М., Селихова И.А. Жилет, формирующий осанку. Патент на полезную модель №147647. Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup>A41D15/00, №2014125944, заявл. 26.06.2014, опублик. 10.11.14, Бюл. № 31.



## ВЛИЯНИЕ ЛОПАТОЧНОЙ ВИБРАЦИИ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

**Брюханов Сергей Алесеевич**

начальник лаборатории ОДТОВД ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Филянкин Сергей Владимирович**

главный специалист ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Шумкин Алексей Анатольевич**

ведущий инженер ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Жариков Василий Васильевич**

ведущий инженер ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

## INFLUENCE OF BLADE VIBRATION ON THE VALIDITY OF THE QUALITY PREDICTION OF PUMP EQUIPMENT AND FANS

**Bryuhanov Sergei**

Head of laboratory LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Filyankin Sergei**

Chief Specialist LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Shumkin Alex**

Lead Engineer LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Zharikov Vasily**

Lead Engineer LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

### АННОТАЦИЯ

Влияние лопаточной вибрации на достоверность результатов качества прогнозирования насосно-компрессорного оборудования и вентиляторов.

### ABSTRACT

Influence of blade vibration on the validity of the quality prediction of pump equipment and fans.

**Ключевые слова:** Вибрация. Насосы. Компрессора. Вентиляторы. Лопаточная часть.

**Keywords:** Vibration. Pumps. Compressors. Fans. Blade section.

Данный тип специфической вибрации возникает из-за особенностей механической конструкции насосов и вентиляторов. Несмотря на кажущуюся непрерывность потока перекачиваемой жидкости или газа, практически всегда имеет место некоторая дискретность, обусловленная элементарными объемами внутренних камер насосов и вентиляторов. Наиболее часто величина такого элементарного объема определяется возможностями одной лопатки рабочего колеса. По этой причине такая вибрация и называется лопаточной.

Лопаточная вибрация, регистрируемая на опорных подшипниках насоса или вентилятора, есть итог взаимодействия лопаток вращающегося ротора с неподвижным направляющим аппаратом. После «выгрузки» лопаткой рабочего колеса элементарного объема рабочей жидкости или газа, возникает определенный динамический импульс в конструкции насоса или вентилятора.

Можно несколько иначе определить причину возникновения лопаточной вибрации во вращающемся оборудовании - это вибрация, наводимая в насосах, вентиляторах и компрессорах в процессе прохождения рабочих лопаток колеса насоса мимо какого-либо препятствия в проточной части или элемента конструкции. Чаще всего таким элементом конструкции является лопатка неподвижного направляющего аппарата, или же конструктивная граница самого «выкидного» канала насоса.

Эти два объяснения причин возникновения лопаточной вибрации в насосах и вентиляторах не противоречат друг другу, хотя внешне значительно различаются. По этой причине читатель может выбрать ту, которая ему больше нравится, и в большей степени соответствует его пониманию причин возникновения лопаточной вибрации.

Лопаточная, или иногда ее еще называют лопастная, частота  $f_{л}$  является синхронной гармоникой оборотной частоты вращения ротора (рабочего колеса), и определяется



конструктивными параметрами оборудования. Численно частота лопаточной гармоники рассчитывается как произведение количества лопаток на рабочем колесе насоса или вентилятора на оборотную частоту вращения ротора.

Гармоники лопаточной частоты в спектре вибросигнала всегда нормально присутствуют во всех работающих насосах, вентиляторах, компрессорах и т. д. Причина понятна – это заложено в принцип действия перекачивающих механизмов.[2]



Рис. 3.2.7.1. Спектр вибрации насоса с 6 лопатками при повышенных лопаточных вибрациях.

При небольшой собственной амплитуде гармоники вибрации с лопаточной частотой, их наличие является конструктивным свойством оборудования, и не служат однозначным признаком наличия проблем в насосе или в вентиляторе. Особого внимания они начинают заслуживать при определенных дефектах состояния и эксплуатации, когда амплитуда гармоники лопаточной частоты начинает возрастать.

В этом случае специалисту по вибрационной диагностике необходимо принимать решение по двум очень важным вопросам - является ли выявленное увеличение амплитуды лопаточной гармоники признаком возникновения в оборудовании дефекта, и можно ли такое оборудование эксплуатировать дальше или уже необходимо принимать экстренные меры по выводу оборудования из эксплуатации.

На рисунке 3.2.7.1., для примера, показан спектр от вибросигнала с подшипника насоса в вертикальном направлении, в котором амплитуда гармоники лопаточной частоты, и ее «окружение», указывают на наличие в насосе достаточно серьезного дефекта в его проточной части.

Наибольшее значение для процесса диагностики наличия дефекта, и определения уровня его развития, на приведенном на рисунке спектре вибросигнала имеют:

- Существенное увеличение амплитуды лопаточной гармоники относительно амплитуды оборотной гармоники частоты вращения насоса. Следует еще раз заметить, что конкретных количественных рекомендаций по этому вопросу нет. Основной причиной этого служит большое удаление вибродатчика, установленного на опорном подшипнике, от

рабочей зоны насоса, где и возникают лопаточные вибрации.

- Появление в спектре вибрационного сигнала, наряду с первой гармоникой лопаточной частоты, второй гармоники лопаточной частоты, и, может быть, и третьей гармоники. Такая картина чем-то напоминает признаки механического ослабления, при котором количество гармоник может быть большим. Именно это и происходит при проблемах в проточной части, и хотя бы немного увеличенном зазоре в опорных подшипниках. Также имеет место достаточно много гармоник, но чаще всего зарегистрировать их мы не можем, т. к. велико затухание высокочастотных гармоник внутри проточной части насоса.
- При наиболее сложных и развитых дефектах лопаточного аппарата имеет место возникновение боковых гармоник вокруг гармоники лопаточной частоты, сдвинутых на шаг по частоте, равный оборотной частоте ротора [3].

Большая амплитуда лопаточной вибрации и особенно появление ее боковых гармоник может возникнуть в насосах в том случае, когда в насосе или в проточной части имеются какие-либо конструктивные и эксплуатационные несимметрии. Простейшим примером такой несимметрии является случай, когда интервал по окружности рабочего колеса между лопастями рабочего колеса при его изготовлении оказывается выполненным не одинаковым. При вращении такого рабочего колеса насоса на спектре вблизи гармоники лопаточной частоты возникают боковые гармоники. Аналогично меняется картина вибрационных процессов в проточной части насоса при «выкрашивании» части лопатки, или ее рабочей поверхности по тем, или иным причинам.

Причина возникновения боковых гармоник вблизи основной частоты лопаточной гармоники, и производных от нее гармоник, достаточно проста, и уже обсуждалась выше, но для других типов вращающегося оборудования. При прохождении дефектной зоны рабочего колеса мимо «характерного элемента» в проточной части насоса, частота вращения ротора насоса будет иметь в своем составе небольшой скачок. Сначала ротор может немного «замедлиться», а затем он должен обязательно немного «ускориться» для восстановления первоначальной скорости вращения.

В зависимости от типа дефекта в рабочем колесе динамическая картина процессов может быть и обратной. Возможен вариант, когда ротор насоса сначала «ускорится», а затем «замедлится». Эти небольшие изменения скорости приведут к появлению в спектре вибросигнала одной или нескольких пар боковых гармоник, которые будут располагаться слева и справа от лопаточной частоты[3].

Шаг смещения боковых гармоник от основной лопаточной частоты идеально изготовленного ротора численно равен оборотной частоте вращения ротора. При неодинаковом шаге лопаток по окружности, или наличии иной несимметрии, например неодинаковом окружном шаге входных перегородок на входе в «улитку», шаг боковых гармоник слева и справа от лопаточной частоты может немного различаться, и определяться типом и величиной имеющейся в роторе несимметрии. На рисунке 3.2.7.1 хорошо

виден такой неравномерный шаг. Несимметрия рабочего колеса насоса на приведенном спектре значительна, т. к. у лопаточной частоты уже появилась даже вторая боковая гармоника.[2]

Вопрос о величине аварийного уровня лопаточной вибрации необходимо решать для каждого типа насоса отдельно, т. к. в каждой конструкции затухание вибросигнала на пути от колеса до точки установки вибродатчика различается. Этот уровень зависит так же от типа перекачиваемой жидкости и даже от режима работы насоса. Более правильно, с методической точки зрения, сравнивать амплитуду лопаточных гармоник не с оборотной гармоникой частоты вращения ротора, а с амплитудами боковых гармоник лопаточной частоты. Еще более точно сравнивать эту амплитуду с амплитудой, которая было измерена ранее, и на полностью исправном насосе.

Для первого сравнения можно опираться на соотношение - если боковые гармоники превышают, по амплитуде, 10 % от величины лопаточной гармоники, то в данном агрегате высока вероятность наличия того или иного дефекта в проточной части. Специалист по диагностике должен серьезно подойти к исследованию гидравлических (аэродинамических) проблем в данном агрегате.

Высокая амплитуда лопаточной частоты и боковые гармоники могут быть сгенерированы в насосе или компрессоре при значительном износе рабочего колеса и проточной части, при значительном ослаблении сварных и клепаных конструкций. Такая же картина в спектре вибросигнала может возникнуть в насосе и при трещине в лопатке, при неодинаковом угле атаки лопаток. Еще типичной причиной появления большой лопаточной частоты может быть резкий изгиб выходной трубы, препятствующий нормальному течению жидкости, т. е. высокое гидравлическое сопротивление напорного трубопровода.

Достаточно часто гармоника лопаточной частоты может увеличиться и в том случае, когда ротор насоса или вентилятора расположен внутри проточной части эксцен-

трично. Спектральная картина всех описанных дефектов примерно одинакова и соответствует картине, приведенной на рис. 3.2.7.1.

Целый класс проблем гидравлики составляют резонансы в проточной части, приводящие иногда к очень большим вибрациям в насосах. Эти вопросы, а также вибрации насосов, работающих в «анормальных» режимах, за пределами расчетных характеристик, в данном методическом руководстве не рассматриваются из-за его краткости и ограниченного объема.

#### **Вывод:**

Благодаря использованию на стадиях проектирования и изготовления новых конструктивных и технологических решений - гидравлически совершенные профили деталей проточной части, повышение чистоты рабочих лопаток и рабочих колес, отводов, обеспечение режима работы насоса в оптимальной зоне напорной характеристики, снижение уровня пульсаций давления, вызванных взаимодействием потока рабочего колеса с лопатками направляющего аппарата, применение жестких роторов и более качественная их балансировка существенно снижает «лопаточную» вибрацию.

1. ГОСТ 53564-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга: Москва, 2009. основополагающий стандарт - 20 с.
2. Русов В.А. «Спектральная вибродиагностика» Москва, 1996. – 89 с.
3. В.И. Рачков; С.М. Кутепов, В.В. Мыльииков, М.З. Латфуллин, Э.А. Левин «Методика диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса центробежных компрессоров и насосов» М2-96 1996. – 37 с.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРИБАВКИ НА КОРРОЗИЮ ДЛЯ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ПРИМЕРЕ АСТРАХАНСКОГО ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

**Шумкин Алексей Анатольевич**

ведущий инженер ОМГитТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Филянкин Сергей Владимирович**

главный специалист ОМГитТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Брюханов Сергей Алесеевич**

начальник лаборатории ОДТОВД ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Крисанов Артем Евгеньевич**

заместитель начальника ОМГитТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

## STATISTICAL ANALYSIS OF CORROSION RATE OF STEEL IN DIFFERENT ENVIRONMENTS AND RECOMMENDATIONS FOR CHOOSING THE CORROSION INCREMENT FOR THE STRENGTH CALCULATION OF PIPING ON THE EXAMPLE OF THE ASTRAKHAN GAS PROCESSING PLANT

**Shumkin Alex**

Lead Engineer LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Filyankin Sergei**

Chief Specialist LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Bryuhanov Sergei**

Head of laboratory LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

**Krisanov Artyom**

Deputy Chief LLC "GAZMASHPROEKT", Moscow

### АННОТАЦИЯ

Проведен анализ статистических данных по коррозионному утонению стенок труб технологических трубопроводов, выданы рекомендации по выбору прибавки на коррозию для различных сред.

### ABSTRACT

The analysis of statistical data on the corrosion of the pipe wall thinning process pipelines, issued guidelines for the selection of corrosion allowance for different media.

**Ключевые слова:** Скорость коррозии. Астраханское месторождение. Прибавка на коррозию. Расчет на прочность.

**Keywords:** The corrosion rate. Astrakhan deposit. Corrosion allowance. Calculation of strength.

### Введение

Природный газ Астраханского газоконденсатного месторождения имеет уникальный состав:

- 55% - углеводороды (50 % - метан  $\text{CH}_4$ , 50 % - смесь пропана  $\text{C}_3\text{H}_8$ , изомеров бутана  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  и пентана  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ );
- 23 % - сероводород  $\text{H}_2\text{S}$ ;
- 20 % - углекислота  $\text{CO}_2$ ;
- ~ 2 % - азот  $\text{N}_2$  [1].

Основная специфика работы скважин месторождения и газоперерабатывающего завода связана с коррозионным

воздействием кислых компонентов добываемого газа. Помимо наиболее опасных коррозионного растрескивания под напряжением (СКРН) и водородно-индуцированного растрескивания (ВИР), последствия которых подробно описаны в работе [2], такие компоненты также вносят свой вклад и в обычную общую и местную коррозию.

Целью данной работы являлось сбор статистических данных по утонению стенок труб технологических трубопроводов из стали 20 в различных средах и выдача рекомендаций по выбору прибавки на коррозию для расчета на прочность.

### Исходные данные

Срок эксплуатации трубопроводов – 22 года (с 1987 г.).  
Материал – сталь 20. Рабочее давление – от 0,1 до 5,5 МПа, температура среды - от 20 до 93 °С. Для анализа были выбраны исключительно трубопроводы, поврежденные от внутренней коррозии.

В качестве компонента, используемого для отделения (абсорбции) от природного газа кислых компонентов на АГПЗ применяется раствор диэтанолamina ( $\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$  (ДЭА).

В качестве основных сред, воздействие которых анализируется в данной работе, выбраны: регенерированный раствор ДЭА, пластовый газ, примерный состав которо-

го указан в первом абзаце, и углеводородный конденсат - смесь жидких углеводородов, образующаяся из природного газа в результате снижения пластового давления. Для каждой среды были проанализированы результаты ультразвуковой толщинометрии не менее 20 технологических трубопроводов.

### Результаты работы

По результатам диагностических работ, проведенных в рамках ЭПБ технологических трубопроводов различных установок Астраханского газоперерабатывающего завода (далее - АГПЗ) в 2014 – 2015 гг. накоплена обширная статистическая база. Результаты анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1  
Результаты анализа коррозионного воздействия среды

	Рабочая среда		
	Регенерированный р-р ДЭА	Пластовый газ (кислый газ)	Углеводородный конденсат
Среднее утонение за 22 г.	1,39	3,56	1,49
Средняя скорость коррозии, мм/год	0,06	0,16	0,07
Скорость коррозии с учетом коэффициента усиления коррозии, мм/год	0,19	0,49	0,20
Для продления срока безопасной эксплуатации на 4 года, мм	0,76	1,94	0,81
Для продления срока безопасной эксплуатации на 8 лет, мм	1,52	3,88	1,63

Для нивелирования разброса скоростей коррозии был выбран коэффициент усиления коррозии  $K_{у.к.} = 3$ .

Раствор ДЭА, вещества, обладающего сильными основными свойствами, образует на поверхности сплава труднорастворимые соединения, препятствующие протеканию процесса коррозии.

Углеводородный конденсат, жидкость сложного состава тяжелых углеводородов не обладает достаточным количеством кислорода для интенсивной коррозии.

Пластовый газ, содержащий в своем составе в среднем 20 %  $\text{CO}_2$  и 23 %  $\text{H}_2\text{S}$ , проявляет наиболее высокую коррозионную активность.

### Вывод

Проведенный анализ результатов позволяет рекомендовать прибавки на коррозию для основных сред, используемых на АГПЗ (Таблица 2).

Таблица 2  
Рекомендованные прибавки на коррозию

	Прибавка на коррозию для рабочей среды, мм		
	Регенерированный р-р ДЭА	Пластовый газ	Углеводородный конденсат
Для продления срока безопасной эксплуатации на 4 года	1	2	1
Для продления срока безопасной эксплуатации на 8 лет	1,5	4	2

**Список литературы:**

1. Кондратьев А.Н., Молодых Г.Н., Размышляев А.А. (ВНИГНИ) - Особенности формирования Астраханского газоконденсатного месторождения, с. 1. УДК 553.981.2.061.15(470.46).
2. Митрофанов А.В. Методы управления состоянием технологического оборудования по критериям вероятности и риска отказа. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 380 с.

## ЭКСПЕРТНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

**Жариков Василий Васильевич**

ведущий инженер ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Крисанов Артем Евгеньевич**

заместитель начальника ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Меринов Сергей Владиславович**

главный специалист ООРПД ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

**Шумкин Алексей Анатольевич**

ведущий инженер ОМГиТТ ООО «ГАЗМАШПРОЕКТ», г. Москва

## EXPERT DIAGNOSTIC INSPECTION AND SERVICE LIFE OF INDUSTRIAL PIPELINES COMPRESSOR STATION

**Zharikov Vasily**

Lead Engineer LLC «GAZMASHPROEKT», Moscow

**Krisanov Artyom**

Deputy Chief LLC «GAZMASHPROEKT», Moscow

**Merinov Sergei**

Chief Specialist LLC «GAZMASHPROEKT», Moscow

**Shumkin Alex**

Lead Engineer LLC «GAZMASHPROEKT», Moscow

### АННОТАЦИЯ

Проведение экспертно-диагностического обследования технологических трубопроводов компрессорной станции и продление срока безопасной эксплуатации.

### ABSTRACT

Conducting expert-diagnostic examination of technological pipelines compressor stations and the extension of safe operation.

**Ключевые слова:** Экспертно-диагностическое обследование. Компрессорная станция. Технологические трубопроводы. Неразрушающий контроль. Срок службы.

**Keywords:** Expert-diagnostic examination. Compressor station. Technological pipelines. Unbreakable control. Lifetime.

В данной статье рассматривается проведение экспертно-диагностического обследования на примере работ на одном из цехов компрессорной станции Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск» (далее компрессорная станция) в 2012 году.

Целью проведения экспертно-диагностического обследования (далее ЭДО) является продление срока безопасной эксплуатации технологических трубопроводов на основе анализа параметров технического состояния и оценки со-

ответствия трубопроводов предъявляемым к ним требованиям нормативно-технической документации в области промышленной безопасности.

Работы по ЭДО проводятся в случаях, когда:

- выработан установленный проектом расчетный срок службы;
- выработан разрешенный (назначенный нормативным документом) к дальнейшей эксплуатации срок сверх установленного срока службы;



- выявлено неудовлетворительное техническое состояние технологических трубопроводов основного назначения (далее — трубопроводы) компрессорной станции согласно требованиям нормативных документов;
- выявлено наличие повреждений технологических коммуникаций компрессорного цеха, в том числе стресс-коррозионных, деформаций, повышенных вибраций и т.д., или на прилегающих к нему трубопроводах линейной части магистрального газопровода на расстоянии до 20 км включительно;
- эксплуатирующая организация инициирует производство указанного вида работ.

Конструктивными элементами технологических трубопроводов (ТТ) (далее элементами трубопроводов) являются прямолинейные участки труб, отводы, тройники, переходники, трубные узлы и иные технологические изделия, объединенные в единую систему в границах обследуемого участка и предназначенные для обеспечения транспорта газа по данному участку трубопровода на основе заданной проектом технологической схемы. ЭДО ТТ выполняется с целью определения технического состояния ТТ путем проверки результатов поэлементного диагностического обследования конструктивных элементов ТТ, а также сварных соединений.

Состав этапов работ при ЭДО ТТ представлен в таблице 1.

Таблица 1  
Состав этапов работ при ЭДО ТТ

№ п/п	Наименование этапов
1 этап	Геодезическое обследование и оценка напряженно-деформированного состояния
2 этап	Неразрушающий контроль основного металла труб, СДТ, сварных соединений.
3 этап	Определение химического состава, физико-механических свойств основного металла деталей
4 этап	Прочностные расчеты элементов трубопровода
5 этап	Определение методов ремонта элементов трубопровода
6 этап	Контроль выполненных ремонтных работ
7 этап	Геодезическое обследование и оценка напряженно-деформированного состояния после сварки и укладки ТТ
8 этап	Гидравлические испытания
9 этап	Оформление отчетной документации ЭДО

Техническое состояние технологических трубопроводов определяется по результатам диагностического обследования его элементов путем проверки соответствия полученных значений контролируемых параметров требованиям нормативно-технической документации.

При проведении ЭДО элементов трубопроводов используются следующие методы неразрушающего контроля:

- визуально-измерительный контроль (ВИК);
- вихретоковый контроль (ВК);

- магнитопорошковый контроль (МПК) с возможностью замены на капиллярный контроль (ПК);
- ультразвуковая толщинометрия (УЗТ);
- замеры твердости (Т);
- ультразвуковой контроль (УЗК);
- радиографический контроль (РК).

При последовательном обследовании элементов трубопроводов методами НК в случае выявления недопустимых дефектов, определяющих техническое состояние элемента как негодное, дальнейшее обследование данного



участка прекращается и оформляются результаты контроля. Техническое состояние трубопровода оценивается как исправное, если техническое состояние его элементов соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Результаты НК, на основании которых проводят отбраковку дефектных труб и выбор технологии ремонта дефектного участка, должны содержать информацию о размерах дефектов (длина, ширина и глубина) с учетом погрешности измерений, их расположении на трубе и конфигурации (см. рисунок 1).

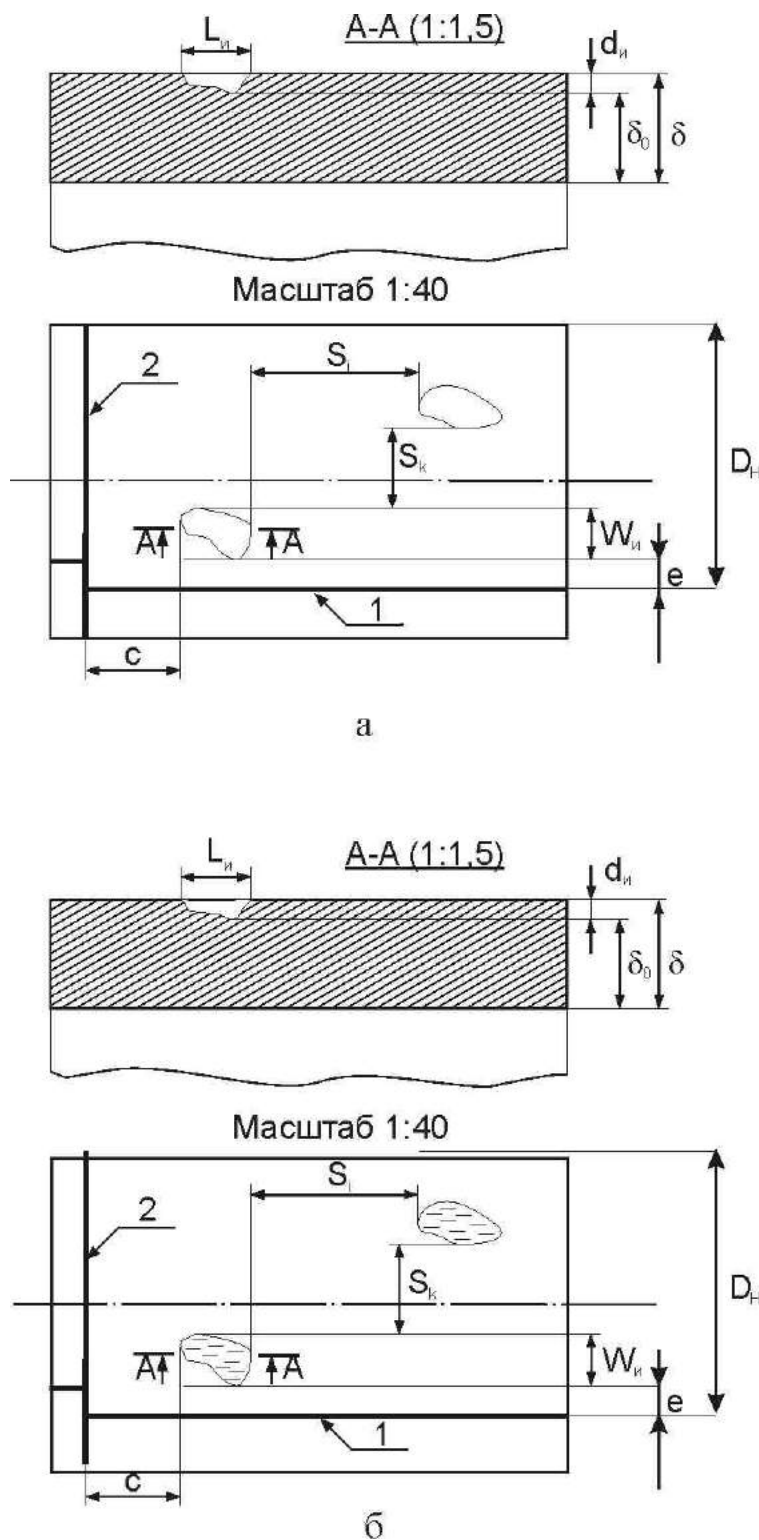


Рисунок 1. Фрагменты труб с дефектами

Типовыми дефектами на данной компрессорной станции были язвенная коррозия и механические дефекты.

Выбор технологии ремонта дефектных участков осуществляют по условиям ремонтпригодности труб в зависимости от:

- типа и размеров дефектов;
- суммарного объема дефектов;
- расположения дефектов относительно сварных соединений и других дефектов;
- категории трубопровода и его конструктивных параметров;
- характеристик труб;
- параметров средств ремонта;
- других данных, необходимых для выполнения расчетов.

Выбор технологии ремонта начинают с проверки условий взаимодействия дефектов. По результатам проверки для каждого дефектного участка формируют перечень одиночных дефектов и дефектов, трактуемых как одиночные, в соответствии с которым намечают ремонтные зоны с учетом расположения дефектов.

Перед выбором технологии ремонта также проверяют условие, по которому из-за трудоемкости шлифовальных работ допускается замена трубы. Если условие выполняется, то допускается замена трубы.

Для ремонта проверяют условия ремонтпригодности трубы, в котором в качестве основного критерия рассматривают допустимые значения размеров дефекта. Условия ремонтпригодности удовлетворяются, если расчетные значения размеров дефекта не превышают допустимых размеров. За расчетные значения размеров дефекта принимают измеренные размеры, увеличенные на погрешность измерения, а при применении контролируемой шлифовки – увеличенные еще на изменения размеров дефекта при зашлифовке.

Расчет значения размеров дефекта выполняют по следующей формуле

$$d_{\delta} \leq \delta - \delta_{\delta} + [\varepsilon_{\phi}] \cdot \delta_{\delta} \quad (1)$$

- $d_{\delta}$  – расчетная глубина зашлифованной зоны, мм;
- $\delta$  – измеренная толщина стенки трубы (вне зашлифованной зоны), мм;
- $\delta_{\delta}$  – расчетная толщина стенки трубы, мм;
- $[\varepsilon_{\phi}]$  – допускаемая относительная глубина зашлифованной зоны.

По результатам предыдущих этапов ЭДО проводится прочностная оценка (статистическая и циклическая) элементов с дефектами.

Если по результатам расчета на статическую прочность дефект недопустим, то принимается решение о замене элемента. Если дефект допустим – проводится оценка срока безопасной эксплуатации элемента с дефектом в соответствии с реализуемым механизмом накопления повреждений и развития дефекта (расчет на циклическую прочность).

Расчет на циклическую прочность проводится для труб, СДГ и кольцевых сварных соединений, в которых не были

выявлены дефекты и повреждения. Расчеты проводятся исходя из фактического технического состояния элементов трубопроводов, с учетом действующих статических и динамических нагрузок.

Если по результатам расчетов на прочность срок безопасной эксплуатации элемента менее 15 лет, то принимается решение о его замене.

Признаются годными элементы трубопровода с отремонтированными дефектными участками, расчетный срок безопасной эксплуатации которых превышает 15 лет.

По результатам НК, выбора ремонтпригодности, прочностных расчетов комиссии предоставляют ведомость дефектов, заключения НК, протокол результатов расчета. На основании которых принимается решение о ремонте трубопровода, в том числе с заменой элементов, изменении условий и режимов эксплуатации или выполнении расчетного обоснования дефектных элементов.

При ЭДО технологических трубопроводов Компрессорной станции получены следующие результаты:

1. Обследовано: 63 элемента трубопровода.
2. Элементы трубопровода, отданные в ремонт контролируемой шлифовкой: 12 штук.
3. Элементы трубопровода, рекомендованные к вырезке: 51 штук. Из них 10 штук вырезано из-за неудовлетворения условия по продлению срока безопасной эксплуатации на 15 лет, 41 штука вырезана по условию отбраковки по объему вышлифованного металла.

На всех элементах трубопровода, прошедших ремонт контролируемой шлифовкой выполнен контроль НК ремонтных работ.

Сваренный и уложенный в проектное положение трубопровод прошел гидравлические испытания.

По результатам этапов работ, указанных в таблице 1 подготовлено заключение экспертизы промышленной безопасности с продлением срока службы трубопровода на 15 лет.

#### Список литературы:

1. СТО Газпром 2-2.3-328-2009. Оценка технического состояния и срока безопасной эксплуатации технологических трубопроводов компрессорных станций: Москва, 2009. – 54 с.
2. Программа работ по экспертно-диагностическому обследованию Компрессорной станции Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск»: Москва, 2012. – 25 с.
3. Экспертиза промышленной безопасности Компрессорной станции Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск»: Москва, 2012. – 34 с.
4. Технический отчет по результатам диагностического обследования Компрессорной станции Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск»: Москва, 2012. – 101 с.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА

**Зырянова Элина Сергеевна**

аспирант Сибирского Государственного Университета Телекоммуникаций и Информатики

## NONLINEAR EFFECTS OF LIGHT SCATTERING

**Zyryanova Aleena**

postgraduate of Siberian State University of Telecommunications and Information sciences

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены понятия линейных и нелинейных явлений, приведена их классификация. Произведен обзор нелинейных явлений рассеяния света, таких, как рассеяние Бриллюэна и Рамана.

### ABSTRACT

In paper conceptions of linear and nonlinear effects are reviewed, its classification is showed. The review of nonlinear effects such Brillouin and Raman scattering is made.

**Ключевые слова:** Нелинейные эффекты, рассеяние Бриллюэна, рассеяние Рамана.

**Keywords:** Nonlinear effects, Brillouin scattering, Raman scattering.

С появлением оптических усилителей нелинейные явления в оптических волокнах стали одним из основных факторов, ограничивающих длину ретрансляционного участка волоконных линий передачи и их пропускную способность.

При малых мощностях взаимодействие света со средой пропорционально первой степени от мощности света, т.е. представляет собой линейный эффект. Хорошим примером линейного эффекта является поглощение света в волокне: количество поглощенной мощности прямо пропорционально мощности распространяющегося в волокне. Нелинейные же эффекты пропорциональны более высоким степеням от мощности света, и их вклад быстро увеличивается с ростом мощности, что показано на рисунке 1 [1].



Рисунок 1 – Зависимость мощности на выходе световода от мощности на его входе

Нелинейные эффекты могут быть разбиты на две основные группы: нелинейности, связанные с эффектами

рассеяния (это рассеяния Бриллюэна и Рамана) и эффектами типа эффекта Керра. В данной статье будет рассмотрена первая группа нелинейностей.

### Вынужденное обратное рассеяние Бриллюэна – Манделъштама (SBS)

При вынужденном обратном рассеянии Бриллюэна-Манделъштама сигнал лазера создает периодические области с переменным показателем преломления, т.е. дифракционную решетку, которая расходится от оптического пучка подобно акустической волне. Отражения, вызванные этой виртуальной решеткой, усиливаются (складываются) и обнаруживаются в форме обратного рассеянного света с доплеровским понижением частоты (сдвигом в область длинных волн). Данное явление может приводить к значительному повышению уровня шумов и нестабильности распространения оптического сигнала, так как большая часть его мощности рассеивается назад.

Например, для оптического сигнала с длиной волны 1525 нм в волокне, соответствующем Рек. ITU-T G.653, рассеиваемый обратно сигнал понижает свою частоту примерно на 10,7 ГГц (+0,085 нм) при полосе пропускания около 60 МГц. Для волокон Рек. ITU-T G.652 рассеиваемый обратно сигнал в том же волновом диапазоне снижает частоту на 11 ГГц (+0,088 нм) при полосе пропускания около 30 МГц. На практике явление SBS начинают учитывать, если мощность монохроматического пучка света в волокне превышает 6 дБм.

Эффект вынужденного обратного рассеяния Бриллюэна – Манделъштама показан на рисунке 2. [2]

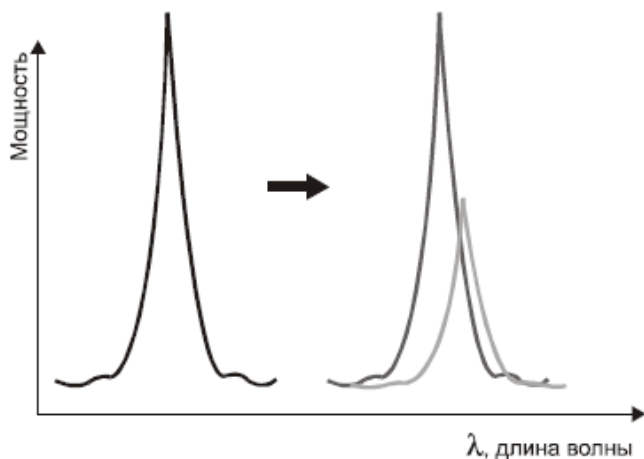


Рисунок 1.4 - Эффект вынужденного обратного рассеяния Бриллюэна – Манделъштама.

Среди всех нелинейностей вынужденное рассеяние Бриллюэна (SBS) имеет наименьшую пороговую мощность. Порог SBS может изменяться в зависимости от типа волокна и даже среди отдельных волокон. Как правило, он имеет порядок 5-10 мВт для узкополосных источников света с внешней модуляцией. Для лазеров с непосредственной модуляцией эта мощность может быть порядка 20-30 мВт.

Для волокон типа G.653 порог SBS несколько меньше, чем для систем с волокном типа G.652. Это происходит благодаря меньшей эффективной площади волокон типа G.653. Порог SBS чувствителен к спектральной ширине источника излучения и уровню излучаемой мощности. Однако он не зависит от числа каналов WDM.

Для подавления обратного рассеяния Бриллюэна-Манделъштама в существующих системах был разработан ряд методик. Наиболее популярная заключается в быстром (~50 КГц) размывании длины волны несущей частоты в диапазоне порядка 1 ГГц, что намного больше полосы пропускания рассеянного назад сигнала (30-60 МГц) [3].

#### Вынужденное комбинационное рассеяние Рамана (SRS)

При спонтанном комбинационном рассеянии во многих средах небольшая часть (обычно ~10-6) мощности излучения накачки преобразуется в излучение с более низкой частотой, причем величина частотного сдвига определяется колебательными модами среды. Этот процесс называется также эффектом Рамана [4].

Коэффициент комбинационного рассеяния (Рамана) намного меньше (сечение комбинационного рассеяния 10-12 см<sup>2</sup>/Вт), чем в явлении обратного рассеяния Бриллюэна - Манделъштама. При этом частота сигнала понижается намного больше. Для волн из диапазона 1550 нм она понижается от 10 до 15 ТГц, что соответствует увеличению длины волны на 100 нм. Рассеиваемый сигнал имеет намного большую ширину полосы пропускания (около 7 ТГц или 55 нм). В системах WDM данное явление служит механизмом переноса энергии от коротковолновых каналов к длинноволновым.

Вынужденное комбинационное рассеяние Рамана показано на рисунке 1.5 [2].

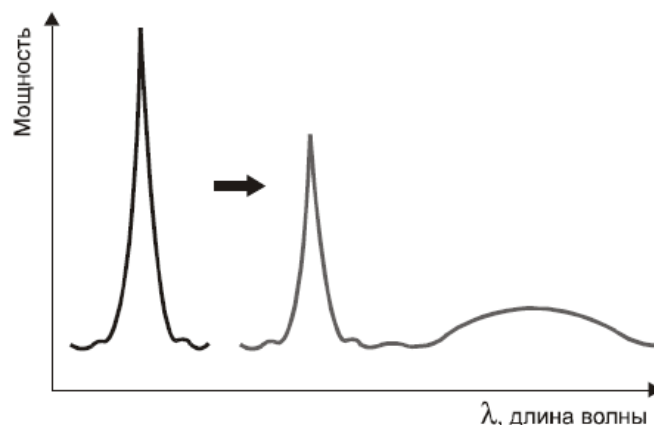


Рисунок 1.5 - Вынужденное комбинационное рассеяние Рамана

Однако явление SRS может так же использоваться для усиления оптического сигнала, на основе чего разработан рамановский усилитель. В последнее время такие усилители становятся все более привлекательной технологией для использования на высокоскоростных протяженных ВОСП.

По сравнению с широко используемыми эрбиевыми усилителями, рамановские усилители обладают рядом преимуществ. Они могут обеспечивать достаточно широкую рабочую полосу усиления, особенно при использовании многоканальной схемы накачки. Расположение окна усиления определяется длинами волн накачки и при соответствующем выборе параметров накачки может быть смещено в требуемый диапазон длин волн. Также, коэффициент шума рамановского усилителя может быть значительно ниже предельного значения 3 дБ для эрбиевого усилителя [5].

#### Список литературы:

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи: учебное пособие. М.: ЛЕСАРпт, 2003. - 288с.
2. Жирар, А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM / Пер. с англ. под ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. // М.: EXFO, 2001 -252с.
3. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова // М.: Техносфера, 2003 – 590с.
4. Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика / Пер. с англ. – М.:Мир, 1996. – 323с.
5. Сайтов И.А., Мясин Н.И., Мясин К.И. Максимизация длины линейного тракта ВОСП с мультиплексированием по длине волны и линейными оптическими усилителями // Рязань.: Вестник РГРТУ, 2008. - № 4.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕКТИНА В ТЕХНОЛОГИИ КИСЕЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТА НА МОЛОЧНОЙ ОСНОВЕ

**Мамаев А. В.**

*ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Продукты питания животного происхождения»*

**Келдибекова Д. А.**

*ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет», магистр 1 года обучения*

## USE OF PECTIN IN THE TECHNOLOGY OF KISSEL MILK BASED CONCENTRATE

**Мамаев А. В.**

*FSBEI HE «Orel State Agrarian University»,  
doctor of biological sciences, professor, head of the Department "Food of animal origin"*

**Keldibekova D. A.**

*FSBEI HE «Orel State Agrarian University»,  
1st year student of magistracy*

### АННОТАЦИЯ

Создание напитков на основе молочного сырья, обогащенного функциональными компонентами, является одним из путей решения проблемы сбалансированного питания. Пектин, как природный структуро- и гелеобразователь, активно применяется в пищевой промышленности в технологиях различных продуктов питания. Кроме того пектин считается многофункциональным биологически активным веществом.

### ABSTRACT

Creating drinks on the basis of raw milk enriched functional components is one way to address the problem of balanced nutrition. Pectin, as a natural structure- and gelling agent, actively used in the food industry in the technologies of different foods. Besides pectin considered multifunctional biologically active substance.

**Ключевые слова:** пектин, сухая молочная сыворотка, кисельный концентрат.

**Key words:** pectin, dry milk whey, kisel concentrate

За последние несколько лет в мире четко обозначились тенденции роста популярности здорового питания. Потребители все чаще останавливают свой выбор на продукции, основными характеристиками которой являются не только красивый внешний вид, но и качество, натуральность, полезность. На настоящем этапе развития нутрициологии, в условиях необходимого импортозамещения, возникла острая потребность в новой стратегии питания, в разработке современных пищевых композиций. В современных условиях они должны быть функциональными [1, с 56].

Функциональные продукты питания – это продукты питания, повышающие сопротивляемость человеческого организма к заболеваниям, способные улучшать многие физиологические процессы в организме человека, позволяя ему долгое время сохранять способность к активному образу жизни [5, с 37].

В этой связи не менее актуальной становится проблема повышения эффективности современного производства продуктов питания животного происхождения, одним из важнейших направлений которого является создание малоотходных и безотходных технологий, более широкое вовлечение в хозяйственный оборот вторичных сырьевых ресурсов. В наибольшей степени к таким ресурсам отно-

сятся вторичные продукты переработки молока, такие как молочная сыворотка.

В результате изучения работ как отечественных, так и зарубежных авторов выявлено, что в качестве физиологически функционального пищевого ингредиента может выступать биологически активный ингредиент пектин, который относится к группе пищевых волокон и является высокомолекулярным полисахаридом. Пектиновые вещества эффективно применяются при заболеваниях, связанных с нарушениями липидного и углеводного обменов, снижают уровень холестерина в организме человека. Пектины являются детоксикантами, повышают устойчивость организма к аллергии, благотворительно влияют на внутриклеточное дыхание и общий обмен веществ, а также на показатели иммунитета. Так, перспективным сырьем, служащим достойной заменой картофельного крахмала в составе киселей, является пектин [2, с. 43].

Анализ современного уровня технологии изготовления напитков функционального назначения и основных направлений ее развития показывает, что наметилась тенденция расширения ассортимента сухих напитков в виде порошков и гомогенных смесей.



В качестве объектов исследований были взяты четыре образца кисельного концентрата, три из которых содержали сухую сыворотку и порошок пектина марки «Фит Парад», а четвертый контрольный – концентрат киселя марки «Фибропект» с пектином. Были выработаны опытные кисельные концентраты с содержанием сухой молочной сыворотки и пектина.

При приготовлении опытных образцов кисельного концентрата 1,2 и 3, исходным продуктом являлась сухая творожная сыворотка, в которую вводили 4,2; 16,7 и 29,2% порошка пектина, соответственно от массы сыворотки. В качестве вкусо-ароматических наполнителей использовались какао-порошок и сахар [2, с. 7].

Количество вносимого пектина устанавливалось исходя из принятых терапевтических доз потребления пектина в сутки, которые в среднем составляют от 2 до 10 г (по Л.В. Донченко, Г.Г. Фирсову), а также по наиболее приемлемым органолептическим показателям полученных опытных образцов.

В ходе эксперимента определялись: химический состав, массовая доля сухих веществ, жира, белка, кислотность, органолептические показатели, а также оценивалась безопасность опытных образцов продукта.

Органолептические показатели сухого кисельного концентрата на основе сухой молочной сыворотки представлены в таблице 1.

Таблица 1  
Органолептические показатели опытных образцов кисельного концентрата

Показатель	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Контрольный образец
Внешний вид и консистенция	Однородная сыпучая масса			
Цвет	Светло-коричневый, равномерный по всей массе	Светло-коричневый, равномерный по всей массе	Светло-коричневый, равномерный по всей массе	Светло-коричневый, равномерный по всей массе
Запах	Чистый, слегка кисломолочный с ароматом свойственным какао	Чистый, слегка кисломолочный с ароматом свойственным какао	Чистый, слегка кисломолочный с ароматом свойственным какао	Чистый, с ароматом свойственным какао

По органолептическим показателям опытные образцы кисельного концентрата представляют собой однородную сыпучую массу светло-коричневого, равномерного по всей массе цвета, с запахом слегка кисломолочным и ароматом свойственным какао. Контрольный образец отличается от опытных отсутствием сухой молочной сыворотки. По

внешнему виду контрольный образец представляет собой однородную сыпучую массу светло-коричневого цвета с ароматом, свойственным какао.

Физико-химические показатели опытных образцов кисельного концентрата приведены в таблице 2.

Таблица 2  
Физико-химические показатели опытных образцов кисельного концентрата

Наименование показателя	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Контрольный образец
Массовая доля жира, %	4,0	4,0	4,0	5,4
Массовая доля белка, %	10,0	10,0	10,0	1,94
Массовая доля углеводов, %	78,0	78,7	79,2	85,2
Массовая доля влаги, %	5,5	5,5	5,5	5,4

Проведенные микробиологические исследования показали, что все образцы функционального кисельного концентрата на основе сухой молочной сыворотки, а также контрольный образец, соответствуют предъявляемым требованиям безопасности.

Проведенные исследования указывают на возможность замены пектином традиционных студнеобразователей, что

позволит придать киселю функциональные, лечебно-профилактические свойства. Было установлено, что для производства функционального кисельного концентрата на основе сухой молочной сыворотки, оптимальное количество вносимого пектина составляет 16,7% от массы сухой сыворотки.



**Список использованной литературы**

1. Берегова И. Применение пектина при производстве молочно-соковых напитков/ И. Берегова// Молочная промышленность. – 2009. - № 9. – С. 56-57.
2. Гаврилова, Д.В. Использование пектина в производстве продуктов функционального назначения/ Д.В. Гаврилова// Аграрная Россия. 2013. - № 11. – С. 43-44
3. Донченко, Л.В. Пектин: основные свойства, производство и применение/ Л.В. Донченко, Г.Г. Фирсов/ М.: ДеЛипринт, 2007, С –276.
4. Лисицкая, К.В. Сравнительный анализ антиоксидантных свойств пектинов из различного растительного сырья/ К.В. Лисицкая//Пищевая промышленность. – 2012. - №12. – С. 64-66.
5. **Переверзева, А. В.** Комплексные решения для производства молочных напитков./**А. В. Переверзева** // Молочная индустрия. - 2011. - №2. - С. 38 – 42
6. Мамаев, А.В. Перспективы применения пектина при разработке кисельного молочного продукта с сорбционными свойствами/ А.В. Мамаев, Д.А. Келдибекова// II Международная мультидисциплинарная конференция «Актуальные проблемы науки XXI века». Сборник статей 1 часть.–2015–С. 6-9.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ВОДНО-ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ ЙОДИДА КАЛИЯ И БРОМИДА КАЛИЯ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

**Кириллов Вадим Васильевич**

доктор техн. наук, профессор Санкт-Петербургского  
Университета ИТМО, Институт холода и биотехнологий

**АННОТАЦИЯ**

Определена вязкость водно-пропиленгликолевых растворов, содержащих йодид калия и бромид калия в широком диапазоне температур и концентраций электролитов. Показано, что уменьшение вязкости этих растворов по сравнению с вязкостью водно-пропиленгликолевого растворителя, не содержащего электролит, обусловлено малыми значениями энтальпии сольватации ионов, входящих в состав электролитов, и отрицательными значениями В-коэффициентов вязкости ионов калия, йодид- и бромид- ионов. Даны рекомендации по использованию исследованных растворов в качестве хладоносителей при низких температурах.

**Ключевые слова:** вязкость, водно-пропиленгликолевый растворитель, электролит, сольватация, хладоноситель.

Одной из важных характеристик перспективных хладоносителей (ХН), представляющих собой водно-пропиленгликолевые электролитные (ВПГЭ) растворы, является, наряду с температурой замерзания, вязкость. От вязкости зависят энергетические затраты на транспортировку хладоносителя, а также его теплофизические свойства, оказывающие влияние на процесс теплопередачи [1-2]. Желательно использовать ХН с невысокой вязкостью; по нашей оценке, динамическая вязкость хладоносителя при температуре -20°С должна составлять 20-22 мПа·с.

Разные электролиты, входящие в состав ВПГЭ растворов, могут способствовать различному изменению вязкости раствора по сравнению с вязкостью водно-пропиленгликолевого растворителя (увеличению или уменьшению). Для того чтобы вязкость раствора электролита в воднопропиленгликолевом (ВПГ) растворителе была меньше вязкости воднопропиленгликолевого растворителя (в отсутствие электролита), необходимо ввести такой электролит, ион (ионы) которого имеет (имеют) отрицательное значение В-коэффициента в уравнении Джонса-Дола:

$$\mu/\mu_0 = 1 + A \cdot c^{1/2} + B \cdot c \quad [3], \quad (1)$$

где  $\mu$  и  $\mu_0$  - динамическая  
вязкость раствора и растворителя

соответственно, мПа·с;  $c$  - концентрация электролита, моль/л;  $A$  и  $B$  - коэффициенты, учитывающие межмолекулярные взаимодействия и взаимодействия ионов с молекулами растворителя соответственно. Коэффициент  $A$  всегда положителен. Коэффициент  $B$ , называемый В-коэффициентом вязкости, может принимать как положительные, так и отрицательные значения; его знак зависит от свойств иона-знака и величины заряда, а также от радиуса [4].

Из уравнения (1) следует:

- если  $\mu/\mu_0 < 1$ , то  $B < 0$ ;
- если  $\mu/\mu_0 > 1$ , то знак коэффициента вязкости зависит от абсолютной величины произведения  $A \cdot c^{1/2}$ , при этом чаще он имеет положительное значение.

Последующими исследованиями установлено, что наиболее эффективными для снижения вязкости водно-пропиленгликолевых растворов ( $\mu/\mu_0 < 1$ ) являются электролиты, в состав которых входят ионы с невысокими значениями энтальпии сольватации  $\Delta H_c$  (от 280 до 340 кДж/моль) [4]. Величины  $\Delta H_c$  электролитов в ВПГ растворителя могут быть рассчитаны из теплот растворения при бесконечном разбавлении и энергии

кристаллических решеток электролитов. Таковыми ионами являются катионы  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $CS^+$  и анионы  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $MnO_4^-$ ,  $ClO_3^-$  и другие. Все эти ионы имеют отрицательные значения В-коэффициента. Их часто называют ионами с отрицательной сольватацией (гидратацией) [5]. Электролиты, содержащие указанные ионы в любом сочетании, должны снижать вязкость воднопропиленгликолевых растворов. Следует отметить, что электролит, вызывающий значительное снижение вязкости раствора, как правило, лишь в незначительной степени уменьшает температуру его замерзания. Напротив, электролит, специально вводимый в воднопропиленгликолевую смесь для сдвига температуры замерзания в более отрицательную область, либо не оказывает существенного влияния на вязкость ВПГЭ раствора, либо даже способствует некоторому увеличению вязкости [6]. Иными словами, в присутствии одного и того же электролита изменение вязкости и температуры замерзания происходит в разных направлениях, причем изменение одного свойства может происходить в нежелательном направлении. Очевидно, что выбор композиций с комплексом заданных свойств может быть осуществлен с помощью физико-математической модели, которая даст возможность осуществить детерминированное описание системы с помощью термодинамических и критериальных уравнений.

Относительное изменение вязкости раствора  $\mu/\mu_0$ , описываемое уравнением (1), не относят к какой-либо определенной температуре. Но с точки зрения практического использования ВПГЭ растворов важно знать, является ли действие электролита эффективным при температурах, значительно ниже  $0^\circ C$ , т.е. представляет интерес характер изменения  $\mu/\mu_0$  при понижении температуры.

Цель исследования - выявить зависимость изменения величины  $\mu/\mu_0$  и вязкости  $\mu$  от температуры для воднопропиленгликолевых растворов, содержащих ионы с отрицательной сольватацией различной концентрации. В качестве объектов исследования были выбраны ВПГЭ растворы  $KI$  и  $KBr$ , с массовой долей пропиленгликоля 30% и 40% и концентрацией электролита от 0,3 до 0,2 моль/кг. Температура варьировалась от  $-15$  до  $+10^\circ C$ . Выбор состава водно-пропиленгликолевого раствора был

продиктован, с одной стороны, желанием уменьшить погрешность измерений (определяемые на опыте значения вязкости находились в диапазоне 4-20 мПа·с) и, с другой стороны, по возможности приблизить изучаемые системы к тем, которые могут быть использованы на практике в качестве хладоносителей. Действительно, такие композиции с низкими температурами замерзания за счет пропиленгликоля с высокой массовой долей обладают и невысокой вязкостью благодаря наличию электролита с отрицательным значением В-коэффициента. Наконец, интервал используемых температур был обусловлен, во-первых, температурами замерзания ВПГ растворов и, во-вторых, необходимостью располагать достаточным количеством реперных точек по оси абсцисс при построении графиков.

Кинематическую вязкость растворов при различных температурах определяли на капиллярном вискозиметре ВПЖ-1 с висязим уровнем, которых помещали в циркуляционный жидкостной термостат ЛАБ-КТ 40В. Погрешность определения температуры составляла  $\pm 0,1\%$ . Плотность растворов определяли с помощью набора ареометров АОН-1. Погрешность измерений с учетом температурных поправок составляла не более  $\pm 0,0014 \text{ г/см}^3$ .

Динамическую вязкость  $\mu$ , мПа·с рассчитывали по формуле:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (2)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $\rho$  - плотность раствора,  $\text{г/см}^3$ .

В таблице 1 приведены данные по вязкости ВПГЭ растворов, содержащих йодид калия при различных температурах. Значения вязкости представлены в виде дроби: в числителе - динамическая вязкость  $\mu$ , мПа·с; в знаменателе - величина  $\mu/\mu_0$ , характеризующая уменьшение вязкости раствора в присутствии электролита.

На основании данных таблицы 1 построены графики, представленные на рисунках 1, 2.

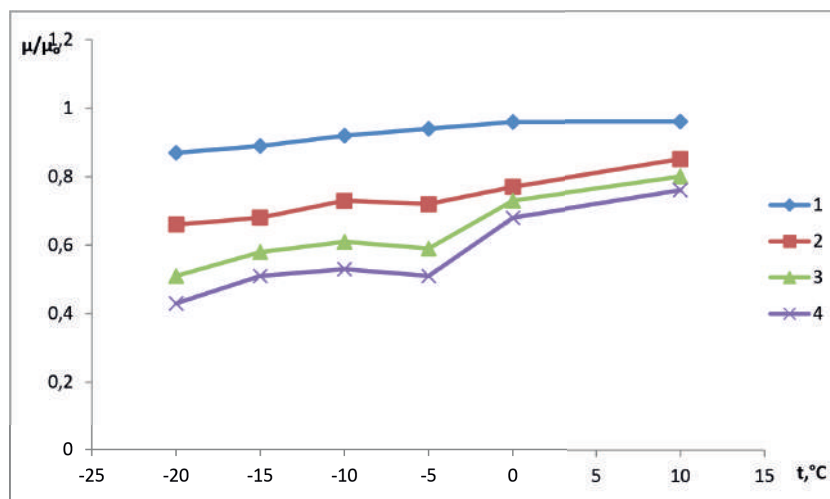


Рис. 1. Зависимость относительного понижения вязкости ВПГЭ растворов от температуры при различных концентрациях йодида калия, моль/кг: 1-0,3; 2-1,0; 3-1,6; 4-2,0. Массовая доля ПГ составляет 40%.

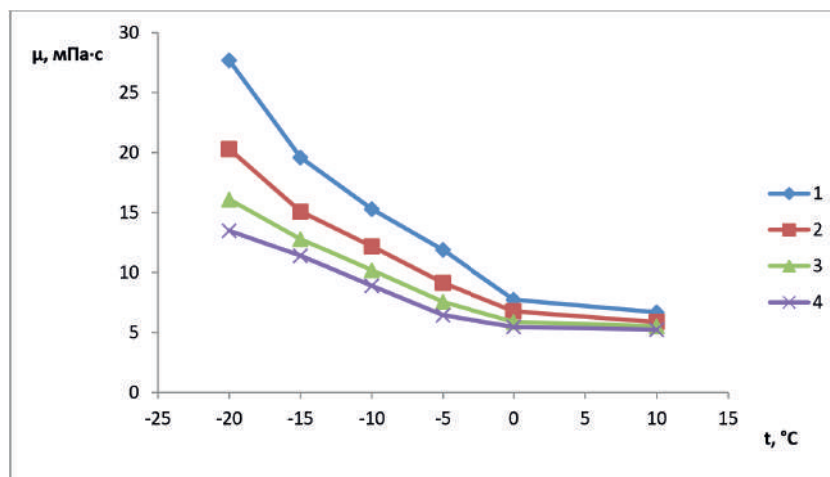


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости ВПГЭ растворов от температуры при различных концентрациях йодида калия, моль/кг: 1-0,3; 2-1,0; 3-1,6; 4-2,0. Массовая доля ПГ составляет 40%.

Из рисунков 1 и 2 и таблицы 1 видно, что отношения  $\mu/\mu_0$  при увеличении температуры повышается (напротив, при понижении температуры уменьшается), хотя изменения  $\mu/\mu_0$  происходят непропорционально изменению температуры. Это означает, что эффективность электролита по снижению вязкости, т.е. явление отрицательной сольватации в большей степени проявляется при низких температурах. Это обстоятельство является благоприятным для практики использования ВПГЭ хладоносителей, поскольку они и должны иметь невысокую вязкость при низких температурах, в этом состоит их предназначение. С увеличением концентрации электролита наблюдаемый эффект становится более значительным, что представляется закономерным, поскольку с увеличением числа частиц большее число ближайших к иону молекул становятся более подвижными, чем в чистой воде. Отметим, что во всем диапазоне температур значения  $\mu/\mu_0$  всегда ниже для более концентрированных растворов по сравнению с менее концентрированными.

С увеличением температуры вязкость ВПГЭ растворов закономерно уменьшается для систем с различной концентрацией электролита, причем при увеличении массовой доли ПГ с 30% до 40% изменение параметров (увеличение отношения  $\mu/\mu_0$  и уменьшение вязкости раствора  $\mu$ ) несколько уменьшается, становится менее выраженным. Этот факт, по-видимому, объясняется тем, что с увеличением массовой доли пропиленгликоля раствор становится более структурированным, увеличивается доля водородных связей и их разрыв за счет образования сольватоккомплексов, приводящий к уменьшению вязкости, становится затруднительным. Можно сказать, что с увеличением содержания ПГ система оказывает большее сопротивление внешнему воздействию, т.е. введению электролита. Эффект его присутствия в известной степени нивелируется структурой раствора.

Экспериментальные данные по водно-пропиленгликолевым электролитным растворам, содержащими  $NH_4I$  и  $KBr$ , почти ничем не отличаются от вышеприведенных. Поэтому мы их не приводим. Характер всех зависимостей остался неизменным, разница лишь в значениях ординат на графиках зависимости  $\mu$  и  $\mu/\mu_0$  от температуры. Причина

- в разнице значений В-коэффициентов ионов  $I^-$  и  $Br^-$  и, значит, в отличии энергии сольватации  $\Delta H_c$  иодид- и бромид-ионов в водно-пропиленгликолевом растворителе. Более отрицательное значение В-коэффициента  $I^-$  по сравнению с  $Br^-$  согласуется со значениями  $\Delta H_c$  этих ионов, вычисленных на основании экспериментальных и литературных данных: для  $I^- - 290 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ ; для  $Br^- - 329 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ . Поэтому величина  $\mu/\mu_0$  для ВПГЭ растворов, содержащих  $KI$ , во всем интервале температур и концентраций электролита меньше, чем для растворов, содержащих  $KBr$ . Вязкость  $\mu$  растворов, содержащих  $KI$  на 10-12% меньше вязкости растворов, содержащих  $KBr$  (при одинаковых концентрациях электролита и температуре).

### Выводы

1. Определены вязкость  $\mu$  и изменение вязкости  $\mu/\mu_0$  ВПГЭ растворов йодида калия и бромида калия в широком интервале температур и концентраций электролитов.
2. Установлено, что уменьшение вязкости растворов в присутствии электролитов связано с величинами энтальпии сольватации ионов  $K^+$ ,  $I^-$ ,  $Br^-$  и характером сольватации этих ионов (отрицательными значениями Вкоэффициентов вязкости).
3. Показана целесообразность практического использования исследованных растворов в качестве хладоносителей при низких температурах.

### Список литературы

1. Кириллов В.В. Новый подход к выбору промежуточного хладоносителя с заданными свойствами. // XI Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. – СПб., 2005. с.154.
2. Кириллов В.В. Теплофизические свойства и коррозионная активность хладоносителей на основе электролит-содержащих водно-пропиленгликолевых растворов. // Холодильная техника. – 2006, №12. – с. 27-30.

3. Колкер А.М., Сафонова Л.П. Экспериментальные методы химии растворов. Отв. ред. А.М. Кутепов. -М.: Наука, 1997. - с. 76-88.
4. Кириллов В.В., Польская Ю.В. Влияние сольватации на относительную вязкость растворов галогенидов щелочных металлов и аммония в воднопропиленгликолевом растворителе. // Известия СПб-ГУНИПТ. - 2006, №1. - с. 64-68.
5. Крестов Г.А. Термодинамика ионных процессов в растворах. – Л.; Химия, 1984. – 272 с.
6. Кириллов В.В. Влияние сольватации на температуру замерзания воднопропиленгликолевых растворов хлорида натрия, используемых в качестве хладоносителей. // XIV Межд. научно-практическая конференция: «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». - Новосибирск, 2015. с. 29-34.

УДК 641.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Клементьева Надежда Алексеевна*  
Магистрант, Университет ИТМО

*Скворцова Наталья Николаевна*  
к.х.н., доцент, Университет ИТМО

*Сучкова Елена Павловна*  
к.т.н., доцент, Университет ИТМО

## THE APPLICATION OF POLYMERASE CHAIN REACTION FOR THE QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS

*Klementeva Nadezhda*  
Master, ITMO University

*Scvortcova Natalia*  
associate professor, ITMO University

*Suchkova Elena*  
associate professor, ITMO University

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрена возможность использования метода ПЦР для выявления наличия генетически модифицированных ингредиентов пищевых продуктов, установления видовой принадлежности сырья. ПЦР отличается универсальностью, более глубоким уровнем видовой дифференциации, высокой воспроизводимостью и возможностью количественного анализа. ПЦР является перспективным методом типирования штаммов лактобактерий, широко применяющихся в составе заквасок для приготовления кисломолочных продуктов и хлебопечения.

### ABSTRACT

The possibility of using the PCR method to detect the presence of genetically modified food ingredients, finding the species of raw material has been reviewed. PCR is a universal, high reproducible method, which can provide possibility of quantitative analysis. PCR is the most promising method of Lactobacilli strains typing. Lactobacilli widely apply as constituents of starters in fermented products processing and technology of bread production.

**Ключевые слова:** ГМ-сырье, оценка безопасности, полимеразная цепная реакция, контроль состава и качества пищевых продуктов, поиск новых штаммов, фаговый мониторинг, становление видовой принадлежности продовольственного сырья.

**Keywords:** GM-raw materials, safety assessment, polymerase chain reaction, composition and quality control of food products, searching for the new strains, phage monitoring, finding the species of raw material.



В настоящее время одним из путей увеличения продовольственных ресурсов является применение методов современной биотехнологии и генной инженерии, позволяющих направленно изменять геном организма для получения заданных свойств.

Генетически-модифицированные организмы (ГМО) — организмы, генетический материал которых изменен с помощью методов генной инженерии, к которым относят синтез или выделение генетических структур из клеток одного организма, их размножение и перенос в клетки другого организма, достигая, таким образом, соединения разных геномов в одной клетке. Это в первую очередь

относится к растениеводству и созданию ГМ-растений с повышенной продуктивностью, увеличенным сроком хранения, устойчивостью к различным природным и антропогенным факторам [3].

Производство пищевых и технологических добавок с помощью ГМ-микроорганизмов, исключающее присутствие микроорганизмов в продуктах питания, стало технологией, обеспечивающей производство расширенного ассортимента поступающих на рынок продуктов.

На рисунке 1 приведен перечень наиболее распространенных ГМ-растений и оценен процент их присутствия в традиционных пищевых продуктах.



Рисунок 1. Перечень наиболее распространенных ГМ-растений

Кроме того, распространение в последние годы получил биофарминг: получение белковых продуктов (в основном для нужд медицины) с помощью растений или из молока животных. Проблемой биобезопасности молекулярного «биофарминга» является возможное отрицательное воздействие экспрессируемых белков на окружающую среду и потребителей.

Несмотря на очевидные преимущества использования ГМИ в биотехнологии, все чаще поднимается вопрос о безопасности продуктов, содержащих ГМИ. Концепция оценки риска, ассоциированного с ГМО, впервые обсуждалась в 1975 году в рамках Асиломарской конференции.

Принципы оценки безопасности требуют изучения следующих параметров;

- а) непосредственное влияние на здоровье (токсичность);
- б) стимуляция аллергических реакций (аллергенность);
- в) наличие специфических компонентов, признанно обладающих токсичными свойствами;

- г) стабильность встроенного гена;
- д) питательные свойства, ассоциируемые со специфической генетической модификацией;
- е) любые непреднамеренные эффекты, которые могут быть результатом генетической модификации.

Картахенский протокол биобезопасности, регулирующий безвредность ГМ продуктов питания и экологическую безопасность, вступил в силу в 2003 году.

Нормы, касающиеся ограничения работы с ГМО и их преднамеренного высвобождения, содержат требования к домаркетинговой оценке риска ГМ продуктов питания для здоровья человека и окружающей среды, которую необходимо проводить с учетом того, что подобных объектов ранее не существовало, и они не имеют истории безопасного использования [4].

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ уже в 1996 году введено обязательное декларирование изделий на содержание генетически модифицированных источников ГМИ. С 12 декабря 2007 года

в России вступил в силу Федеральный закон № 234 устанавливающий новый пороговый уровень для маркировки пищевых продуктов из ГМИ - более 0,9% их содержания в общей массе продукта, что соответствует общеевропейским требованиям [7].

В настоящее время для контроля состава и качества пищевых продуктов применяется полимеразная цепная реакция. Это экспериментальный метод в молекулярной биологии, позволяющий добиться увеличения малых концентраций определённых фрагментов ДНК в биологическом материале. Метод ПЦР был предложен в 1983 году Кери Маллисом. В 1993 г. Маллис получил за свою разработку Нобелевскую премию.

ПЦР – высокочувствительный метод. Область применения ПЦР велика и постоянно расширяется. Одним из важных направлений применения ПЦР можно считать контроль качества и безопасности продуктов питания [5].

В ряде пищевых продуктов, исследуемых за последние годы, с помощью ПЦР выявлено наличие генетически модифицированных ингредиентов (некоторые виды рыбных и мясных полуфабрикатов, пищевых концентратов, кондитерских изделий, пищевых добавок для кондитерской и хлебопекарной промышленности). В подавляющем числе случаев это продукты, произведенные с применением сои.

Наполнители и стабилизаторы, такие как овсяное толокно, картофельный и кукурузный крахмал, используемые во многих функциональных продуктах, также могут содержать генетически модифицированный материал. В таких случаях крайне важна идентификация состава и соответствующая маркировка данной продукции.

Использование белковых добавок, таких как глютен, арахис, молочный белок широко распространено, поскольку они используются для придания некоторых функциональных особенностей, консистенции и вкуса многим продуктам. Однако существует достаточно большое число людей, у которых те или иные протеины могут вызывать серьезные проблемы, связанные с непереносимостью и аллергией. Сами производители и контролирующие качество пищевых продуктов лаборатории могут с помощью метода полимеразной цепной реакции обнаруживать присутствие этих ингредиентов как в своей продукции, так и в продукции без соответствующей маркировки, а также их случайное попадание в продукты.

Метод ПЦР находит свое применение и для поиска новых штаммов микроорганизмов в производстве пищевых продуктов. Для поиска новых штаммов молочнокислых микроорганизмов, перспективных в качестве заквасок и пробиотиков изучают видовой состав микрофлоры кисломолочных продуктов, выделяют из них культуры бактерий и исследуют их свойства.

Молочнокислые бактерии семейства *Lactobacillaceae* (*Lactobacillus acidophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*) входят в состав большинства заквасок, используемых для производства таких кисломолочных продуктов как ацидофильное молоко, ацидофилин, кисломолочные продукты с использованием бифидобактерий, йогурт, простокваша, ряженка и варенец.

Биохимические и морфологические свойства лактобацилл являются основным и единственным критерием их видовой идентификации. Однако вследствие

общности их свойств могут возникнуть трудности при идентификации с использованием стандартных микробиологических тестов. Методы на основе полимеразной цепной реакции дают новые возможности для четкой и быстрой идентификации молочнокислых бактерий [2]. Филогенетические связи между живыми организмами могут быть прослежены путем сравнения последовательностей генов или их отдельных участков, кодирующих рРНК. Особенно широко в таксономических исследованиях у бактерий используются последовательности генов малой (16S) субъединицы рРНК, так как она имеет менее протяженный и потому менее изменчивый ген по сравнению с большой (23S) субъединицей.

Метод сравнения последовательностей генов 16S рРНК часто используется для определения видовой принадлежности микрофлоры в молочных продуктах. Генетическая детерминанта 16S рРНК у различных видов молочнокислых бактерий имеет размер около 1500 п.н. и несколько раз дублируется в геноме. Копии этих генов разделены спейсерными областями различного размера. Известно, что бактерии рода *Lactobacillus* имеют две отличающиеся по размеру спейсерные области между генами 16 и 23S рРНК, фланкированные полностью гомологичными участками.

Фаговый мониторинг. Одной из важнейших причин снижения интенсивности и изменения направленности микробиологических процессов при производстве ферментированных молочных продуктов является фаголизис молочнокислых бактерий, входящих в состав заквасок. Основным способом предотвращения случаев фаголизиса на предприятиях является осуществление «фагового мониторинга», т. е. систематическое выявление бактериофагов по ходу всего биотехнологического процесса при получении молочных продуктов.

С помощью ПЦР впервые проведена дифференциация фагов, лизирующих молочнокислые бактерии вида *Lactococcus lactis* при помощи ДНК-фингерпринта с применением неспецифических коротких праймеров [1].

В производстве функциональных продуктов питания в качестве обогащающих ингредиентов активно используют различное сырье растительного происхождения, чаще всего плодово-ягодное. Мякоть фруктов и ягод содержит многочисленные биологически активные соединения, полезные для здоровья человека и снижающие риск возникновения заболеваний. Однако существует возможность их фальсификации по структуре и видовой принадлежности сырьевых составляющих. По экономическим соображениям чаще всего фальсифицируют малоценное сырье, реализуя его как продукцию высокого качества. Используемые в настоящее время методы органолептического и физико-химического анализа не позволяют однозначно определить видовую принадлежность плодово-ягодного сырья в полуфабрикатах. По сравнению с традиционными способами, установление видовой принадлежности плодово-ягодного сырья при помощи полимеразной цепной реакции отличается универсальностью, более глубоким уровнем видовой дифференциации, высокой воспроизводимостью и возможностью количественного анализа [6].

В России принят ГОСТ Р 52833-2007. Настоящий стандарт устанавливает общие требования и определения для



амплификации последовательностей нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) *in vitro*. Стандарт может быть применен для испытаний пищевых продуктов, кормов для животных и полученных из них изолятов на наличие патогенных микроорганизмов с использованием ПЦР. Минимальные требования, установленные в настоящем стандарте, предназначены для обеспечения сопоставимости и воспроизводимости результатов, полученных в разных лабораториях. Это открывает широкие возможности для проведения эффективного контроля качества и безопасности пищевых продуктов, ее идентификации и оперативного выявления фальсифицированной продукции и имеющую ненадлежащую маркировку.

#### Список литературы:

1. Беспоместных К.В. Конструирование родоспецифичных и видоспецифичных праймеров для индикации и идентификации штаммов бактерий рода *Lactobacillus bulgaricus* / К.В. Беспоместных, О.О. Бабич, А.Ю. Просеков, Е.В. Короткая // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 1. – С. 64-68.
2. Ботина С.Г. Видовая идентификация и паспортизация молочнокислых бактерий методами молекулярно-генетического типирования // Молочная промышленность. – 2008. – № 3. – С. 52-54.
3. Воробьев А. И. Биотехнология и генная инженерия – приоритетнейшие направления научно-технического прогресса // Вестник РАМН. 2004. № 10. – С. 8-11.
4. Генетически модифицированные источники пищи: оценка безопасности и контроль /Под. ред. В.А. Тутельяна. – М.: Издательство РАМН, 2007. – 444 с.
5. Донченко Л. В., Надыкта В. Д. Безопасность пищевой продукции: Учебник. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 539 с.
6. Мудрикова О.В. Разработка тест-систем для идентификации плодово-ягодной продукции методом полимеразной цепной реакции: автореферат дис. канд. техн. наук: специальность 05.18.15 /О.В. Мудрикова – Кемерово, 2012. – 18 с.
7. Щелкунов С.Н. Генетическая инженерия. – Новосибирск: Изд-во Сиб. унив., 2004. – 496 с.

## АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Двирный Валерий Васильевич**

*Доктор технических наук, профессор  
Сибирский Федеральный Университет, город Красноярск*

**Кукушкин Сергей Геннадьевич**

*Заместитель генерального директора по управлению персоналом  
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва, город Железногорск*

**Лазарев Виталий Михайлович**

*Аспирант Сибирского Государственного Университета имени академика М.Ф. Решетнёва, город Красноярск*

**Двирная Ксения Михайловна**

*Магистрант Сибирского федерального университета, город Красноярск*

## INCREASE'S ASPECTS OF EFFICIENCY SPACECRAFTS' CREATION AS A RESULT OF INNOVATIVE ACTIVITY

**Dvirnyi Valeryi**

*doctor of engineering, professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk*

**Kukushkin Sergey**

*Deputy CEO for human resource management  
JSC «Information Satellite Systems» named after academician M. F. Reshetnev, Zheleznogorsk*

**Lazarev Vitaliy**

*graduate student Siberian state Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk*

**Dvirnyaya Ksenyia**

*Undergraduate of the Siberian federal university, Krasnoyarsk*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности конструкций космических аппаратов производства АО «Информационные спутниковые системы «имени академика М.Ф. Решетнева»» (АО «ИСС»), мирового лидера по проектированию и производству спутников связи, навигации и геодезии (8% космических аппаратов в мире на орбите), в результате инновационной деятельности, связанной с выявлением и защитой интеллектуальной собственности и удовлетворением растущей потребности в высококвалифицированных и профессионально компетентных кадрах.

### ABSTRACT

Article was considered the questions of increase the efficiency's designs of spacecrafts, production of joint-stock company "Information satellite systems "a name of the academician M. F. Reshetnev"", the world leader in design and production of communication satellites, navigation and geodesy (8% of spacecrafts in the world in an orbit), as a result of the innovative activity connected with identification and protection of intellectual property and satisfaction of the growing need for highly skilled and professionally competent personnel.

**Ключевые слова:** инновации, проектирование, конструкции, КА, САС, методы, финансирование, кадровый потенциал, эффективность.

**Keywords:** innovations, design, construction, spacecraft, lifetime, methods, funding, human resources, efficiency.

В современных условиях основой динамичного развития любой экономической системы производства выступает инновационная деятельность, которая напрямую зависит от повышения основных характеристик космических аппаратов (КА), обеспечивающих высокий уровень их конкурентоспособности на базе высокотехнологичных изобретений профессионально компетентных специалистов. Степень развития национальной инновационной сферы формирует основу устойчивого экономического роста. В целях активизации инновационных процессов в ряде стран, начиная с середины 1980-х годов, сформированы национальные инновационные системы, выступающие основой развития инновационной экономики. Инновационная система позволяет повысить интенсивность экономического развития страны за счет использования эффективных механизмов получения, передачи и применения в хозяйственной практике результатов научно-технической деятельности.

Механизм формирования и реализации научно-технической и инновационной политики в странах мирового сообщества различен, поскольку в разных странах неодинаково соотношение функций государства и рынка, различны организационные структуры управления наукой, подготовкой кадров высшей квалификации. Однако в странах с рыночной экономикой сходны закономерности развития производства и одинаковы подходы к инновационной деятельности, в частности к учету ее долгосрочных тенденций и последствий [1], [2], [3], [4]. Без постоянного повышения эффективности КА, покорения ими потенциально новых высот космическая деятельность обречена на стагнацию и вырождение. Тормозом развития космической промышленности в нашей стране является то, что зачастую, Россия делает главную ставку на "максимальное истощение старого советского задела, предпочитая проявлять не смелость и инновационность в исследовании и освоении космоса, как это делают, например, США, а идти в этой области «надежными» и «проверенными» путями, уже проторенными либо Советским Союзом (околоземное пространство), либо Америкой (Луна)" [5].

Для интенсивного развития космической отрасли необходим реальный интерес высшей государственной власти к космонавтике в целом, а не только к спутникам, имеющим прикладное значение, а также повышение компетентности кадров.

Поэтому, пока Россия не сможет предложить другим передовым космическим державам (США, Европе и Японии) что-либо эффективное с технологической точки зрения, ей невозможно рассчитывать на то, что эти страны станут сотрудничать, особенно в условиях санкций.

С одной стороны американцы и другие астронавты могут добраться до МКС только на российских «Союзах», американские ракеты летают на российских двигателях, Россия мировой лидер по числу космических запусков.

С другой стороны, четыре новых пилотируемых корабля создаются в Америке, разрабатываются двигатели для замены РД-180, проектируются КА для полета на Марс, а также новые ракеты-носители США, Европы, Китая и Японии, которые по количеству запусков и эффективности приближаются к «Протонам». Поэтому повышение эффективности КА весьма актуально, а путь к этому – через инновационную деятельность и повышение кадрового потенциала.

Существуют различные методы государственного стимулирования в сфере науки и инноваций. По видам воздействия на объект методы стимулирования подразделяются на прямые и косвенные [6], [7], [8], [9].

К прямым методам стимулирования, активно используемым зарубежными странами, можно отнести бюджетное финансирование НИОКР, кредитование, субсидирование части процентных ставок по кредитам на НИОКР, предоставление в пользование государственных площадей на льготных условиях для осуществления научно-инновационной деятельности, а также государственные заказы [10].

В отличие от методов прямого воздействия, непосредственно влияющих на принимаемые экономическими субъектами решения, **косвенные методы** создают лишь предпосылки для выбора направлений развития, соответствующих экономическим целям государства. Государство помогает инновационному бизнесу через сферу образова-

ния, подготовку профессиональных кадров и формирование управленческих консультативных служб, увеличением мобильности рабочей силы, созданием научно-технической инфраструктуры, укреплением кадровых служб по управлению персоналом, например, как в АО «ИСС».

Источником финансирования создания и развития технологических компаний в мировой практике стал венчурный капитал – рисковый, долгосрочный капитал, инвестируемый в новые и быстрорастущие компании, многие из которых являются малыми высокотехнологическими фирмами, реализующими инновационные проекты.

Венчурный капитал можно разделить на формальный (фонды венчурного капитала, специализированные фонды по поддержке малых компаний, работающих в сфере научно-технического производства, страховые компании, национальные банки и т.д.) и неформальный (юридические лица, осуществляющие инвестиционную деятельность, физические лица, располагающие личными сбережениями и т.д.) секторы [11].

В настоящее время по направлению развития внешнеэкономической деятельности в сфере модернизации российской экономики Минэкономразвития России проводит системную работу по сбору, экспертизе и продвижению внешнеэкономических проектов российских компаний и корпораций по приоритетным направлениям модернизации (определены в рамках деятельности Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России) [12].

Предусмотрена разработка и изготовление АО «ИСС» спутников связи, навигации, геодезии и КА типа «Миллиметрон» для дальнего космоса.

Распоряжением Правительства Российской Федерации №2594-р от 28 декабря 2012 года утверждена программа по космической деятельности. Основной исполнитель: Роскосмос. Соисполнитель: Минобороны России.

В России насчитывается около 3,5 тыс. организаций, занимающихся научными исследованиями и разработками. Около 70% этих организаций принадлежат государству. В настоящее время происходит укрупнение, концентрация сил.

Сложные информационные системы такие, как КА, требуют создания квалифицированных в орбитальных условиях образцов, составляющих КА, по инновационным проектам.

Инновационный процесс в организации представляет собой последовательность действий по инициации инновации, разработке новой продукции и операций, по их реализации на рынке сбыта и дальнейшему распространению результатов. Инновационный процесс, как правило, включает несколько элементов, соединенных в единую структуру инновационного процесса. К этим элементам относятся: зарождение идеи инновации, маркетинг инновации, оценка экономической эффективности инновации, защита интеллектуальной собственности, освоение инноваций, коммерческая реализация инноваций, продвижение инноваций [13], [14].

Оценку экономической эффективности инновационных процессов на конкурентной основе предлагается проводить экспертным методом. При этом группа из нечетного количества экспертов выставляет баллы от нуля до десяти,

причем две оценки максимальная и минимальная не рассматриваются. Остальные усредняются.

Предполагается, что каждый эксперт будет располагать сравнительной оценкой затрат, например, методом удельных показателей по ценообразующей характеристике на базе аналогов.

Объективным показателем эффективности создания КА является наличие изобретений, родившихся и используемых при разработке.

Доля России в общем количестве подаваемых заявок на выдачу патентов составляет по данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) около 2,0 % от общего числа подаваемых в мире заявок (в 2011 г. в мире подано 2 140 600 заявок, в России — 41 414 заявок; 8 место в мире). При этом в России проживает 12 % учёных всего мира.

Количество охранных документов не является самоцелью, главное это качество поданных заявок и уровень их подготовки. Другим важным критерием является уровень использования. Статистика показывает, что из результатов интеллектуальной деятельности, запатентованных в АО «ИСС», в среднем используется около 30%. Для сравнения необходимо отметить, что по статистическим данным за период с 2009 по 2014 год, представленным Роспатентом о регистрации и использовании интеллектуальной собственности, российскими заявителями в среднем используется 6% запатентованных изобретений. Тем не менее, учитывая служебный характер создаваемых технических решений, управлению по работе с персоналом необходимо повышать уровень использования собственных патентов и подготовки собственных изобретателей.

Всего в АО «ИСС» по состоянию на 2015 год создано 4207 результатов интеллектуальной деятельности (РИД), получивших правовую охрану. Из них поддерживается 685 РИД в том числе:

- 398 действующий патент на изобретение,
- 7 действующих патентов на полезные модели,
- 16 действующих патентов на промышленные образцы,
- 254 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ,
- 8 свидетельств о государственной регистрации баз данных,
- 2 свидетельства о государственной регистрации товарных знаков.

В целях поддержки и мотивации сотрудников предприятия на изобретательскую деятельность в АО «ИСС» ежегодно организуются конкурсы «Лучшее подразделение по изобретательской деятельности», «Лучший молодой изобретатель», «Лучшие патентные исследования», «Лучшее изобретение» [15].

Высокие темпы изменений, происходящих в России и мире, необходимость включенности российского общества в общемировые процессы, стремительный технологический прогресс влекут за собой растущую потребность в высококвалифицированных и профессионально компетентных выпускниках высших учебных заведений, подготовленных для работы в космической отрасли. Важнейший интеллектуальный и профессиональный ресурс российского общества по созданию кадрового потенциа-

ла России, обеспечивающего социально-экономическое развитие страны, является стратегической целью государственной кадровой политики. Современные требования динамичного развития наукоёмких предприятий, таких, как АО «ИСС», и государственная политика в области развития промышленности выделяют новые требования к уровню подготовки кадровых ресурсов. Для эффективной реализации кадровой политики необходимо осуществлять подготовку выпускников космической направленности, способных не только выполнять узкоспециализированную деятельность, но и решать прикладные задачи повышения качества продукции и услуг; разрабатывать и принимать участие в реализации мероприятий по повышению эффективности производства, направленных на сокращение расхода материалов, снижение трудоемкости, повышение производительности труда; анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества, разрабатывать мероприятия по их предупреждению; вести профильные дисциплины с привлечением преподавателей из передовых предприятий, при этом практикоориентированность – одна из основных задач.

Таким образом, в подготовке нового поколения выпускников, способных к инноватике и управлению качеством продукции в настоящее время имеется особая необходимость. При подготовке высококлассных инженеров крайне необходимы материально-техническая и лабораторные базы, которыми в требуемых объемах ВУЗы не обладают. Это обуславливает необходимость использования современного, дорогого, уникального оборудования, которое есть, например, в АО «ИСС», что позволит выпускникам и студентам ВУЗов, проходящих практику на предприятии, уже с первых дней работы вовлекаться в производственный процесс и инновационную деятельность, работая в полной мере состоявшимся, хорошо подготовленными специалистами, которым не нужен дополнительный адаптационный и растягивающийся, порой, на несколько лет период после окончания ВУЗа.

Имеется положительный пример сотрудничества АО «ИСС» при целевой подготовке кадров с такими ВУЗами, как СибГАУ, СФУ, ТПУ, НГТУ, ТГУ, ТУСУР, БГТУ «Военмех», СПбГУ, КНИТУ-КАИ, МГТУ им. Баумана, МАИ, МФТИ.

“Нам нужно быть сильными в профессиональных компетенциях” (В. Путин, 03.12.2015г.).

#### Выводы:

1. Инновационная деятельность является основой динамического роста наукоёмкого предприятия типа АО «ИСС» для повышения эффективности создания КА.
2. Применяются методы стимулирования как на государственном уровне, так и на уровне предприятий и их подразделений.
3. В мировой практике венчурный капитал стал источником финансирования, создания и развития технологических компаний.

4. Предложено использовать экспертный метод при оценке эффективности инновационных процессов на конкурентной основе.
5. Большую роль в результатах инновационной деятельности играют аспекты повышения эффективности образовательного процесса при реализации федеральных государственных образовательных стандартов в ведущих ВУЗах по подготовке кадров для авиационно-космической отрасли.

#### Список литературы:

1. Друкер. Питер Фердинанд [=М. Бизнес и инновации]. – «Вильямс», 2007. – С. 432. – ISBN 0-88730-618-7.
2. Бригге П. Будущее за нами // Эксперт Северо-Запад.-2005.-№23.
3. Газизуллин Ф. М, Газизуллин Н. Ф. Инновационные и институциональные прорывы доминанты развития экономики России в условиях новой индустриализации // Проблемы современной экономики. 2013.№2.С.28-34.
4. Исаилов Т. А. Инновационная экономика – стратегическое направление развития России в XXI веке / Т. А. Исаилов, Г. С. Гамидов// Инновации. 2003.№1(58).
5. Роскосмос: хроника вранья (“Русская служба «Голоса Америки”», США).
6. Дежина И. Г. Механизмы государственного финансирования науки в России. – М.: ИЭПП, 2006.
7. Киселев Е. А. Курс экономической теории /Е. А. Киселев, М. Н. Черепухин. Киров: АСА, 2000.
8. Л. Ю. Шипович. Вестник Челябинского государственного университета. 2011. №32(247). Экономика. Вып.34.С.15-21.
9. Ермолова Юлия Ивановна, Румянцева Анна Юрьевна / Санкт-Петербургская академия управления и экономики. г. Санкт-Петербург.
10. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Разработана Минэкономразвития РФ.
11. Лузан С., Шандиева Н. Венчурное инвестирование в России: проблемы развития Инвестиции в России. -2006.-№4.
12. Р. В. Вотинцев. Совершенствование способов и форм инвестирования инноваций в аэрокосмической отрасли. – Решетневские чтения. 2015, ч. 2, С. 334-335.
13. Гольдштейн Г. Я. Инновационный менеджмент. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998.
14. Гольдштейн Г. Я. Стратегический инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. — 267 с.
15. Г. В. Двирный, В. М. Лазарев, Г. Г. Крушенко. Некоторые вопросы инновационной деятельности при создании космических аппаратов. – Решетневские чтения. 2015, ч. 2, С. 340-341.



УДК 621.01.03.

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ТИПОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ЛИТЕЙНЫХ МАШИН И УЗЛОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

В.А.Мамин

к.т.н.,доцент МГТУ им.Н.Э.Баумана г.Москва

## DEVELOPMENT MODULAR TIPICAL KONSTRUCTION OF FOUNDRY MACHINE AND UNITS OF AVTOMATNICAL LINES

V.A.Mamin

Рассмотрены конструктивные исполнения литейных машин и узлов автоматических линий имеющих прямолинейное движение рабочих органов. Проведена декомпозиция наиболее сложных по структуре механизмов. Предложено в качестве описания конструктивных схем использовать матрицы смежности, в которых вершинами являются базовые детали, а ребрами графа сопряжения этих деталей.

**Ключевые слова:** базовые детали, матрица смежности, литейные машины, узлы автоматических линий.

Designs of foundry machines and units automatic are considered lines of working bodies having rectilinear movement. Decomposition is lead the most complex on structure of mecanisms. It is offered to use as the description of constructive scemes matrixes of a contiguity in which tops are of base details, an aches of their interface .

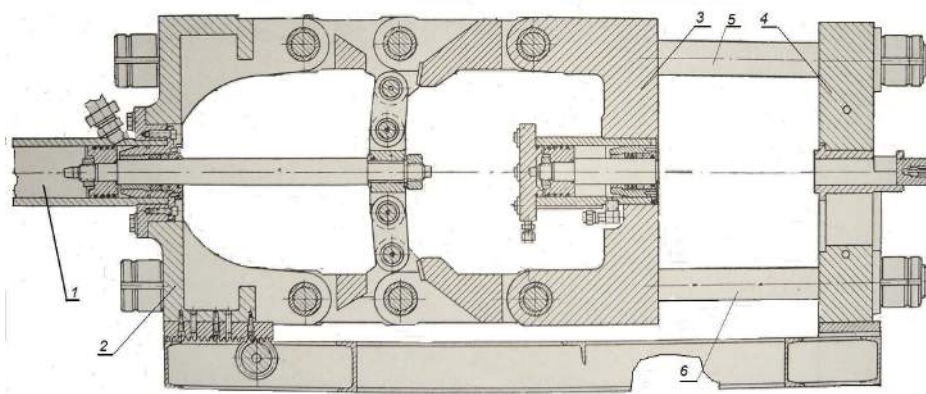
**Key words:** basic details, a matrix of a contiguity, angular dimensional circuits, errors of manufacturing.

Цель данной работы является систематизация наиболее оптимальных решений в области проектирования типовых узлов литейных машин и автоматических линий и использование этой информации при разработке САПР литейного оборудования.

Среди множества существующих конструкций литейных машин и узлов автоматических линий можно выделить механизмы, использующие прямолинейное перемещение исполнительных органов. Перечислим такие машины: это кокильные литейные машины, стержневые и формовочные машины прессового типа, машины литья под давлением. Большое количество узлов и механизмов имеющих исполнительные органы с прямолинейным движением встречаются в автоматических формовочных

линиях: толкатели, распаровщики пустых опок, подъемники, сборщики и простановщики собранных форм на литейный конвейер.

На рис.1.представлена машина литья под давлением, в которой используется прямо линейный ход исполнительных поверхностей машины.[ 1 ] Следует отметить, что в таких машинах для создания больших усилий прижатия половинок прессформ применяется рычажный механизм запирания, который увеличивает усилие прижатия со стороны гидроцилиндра во много раз. Этот механизм располагается между полуподвижной плитой 2 и подвижной плитой 3.(См.рис.1.)Таковую же схему имеют и кокильные машины.



**Рис.1.**Машина литья под давлением. 1-гидроцилиндр привода подвижной плиты,2-полуподвижная плита,3-подвижная плита,4-неподвижная плита,5 и 6-колонны.



Структурная схема механизма машины литья под давлением представлена на рис.2.

Рычажный механизм запирания машины ,который находится между плитами 2 и 3 (На структурной схеме условно не показан.)

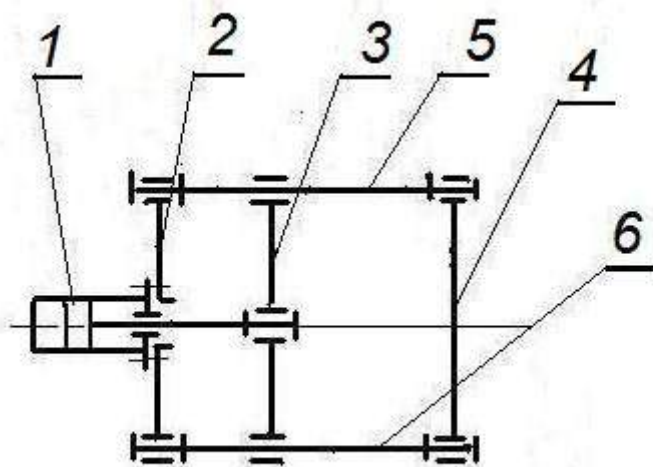


Рис.2. Структурная схема машины литья под давлением.

Для описания структурной схемы ,изображенной на рис.2 используем граф  $G=(X,\Gamma)$  определенный матрицей смежности с  $n$  строками и  $n$  столбцами.[2] Обычно при описании

структуры механизмов с помощью графов в качестве вершин принимаются детали механизмов, а в качестве ребер -сопряжения этих деталей. Для графа, представленного на рис.3 в качестве вершин приняты базовые детали механизмов, а ребра- сопряжения этих деталей ,участвующих в размерной цепи.

Анализ матрицы смежности на предмет возможных вариантов исполнения таких механизмов позволяет сразу большое их количество. Например, не может быть выражено соответствие  $\Gamma x_1=\{x_5,x_6\}$  так как цилиндр 1 привода механизмов(см. рис.2.) реально не может быть соединен с колоннами 5 и 6.

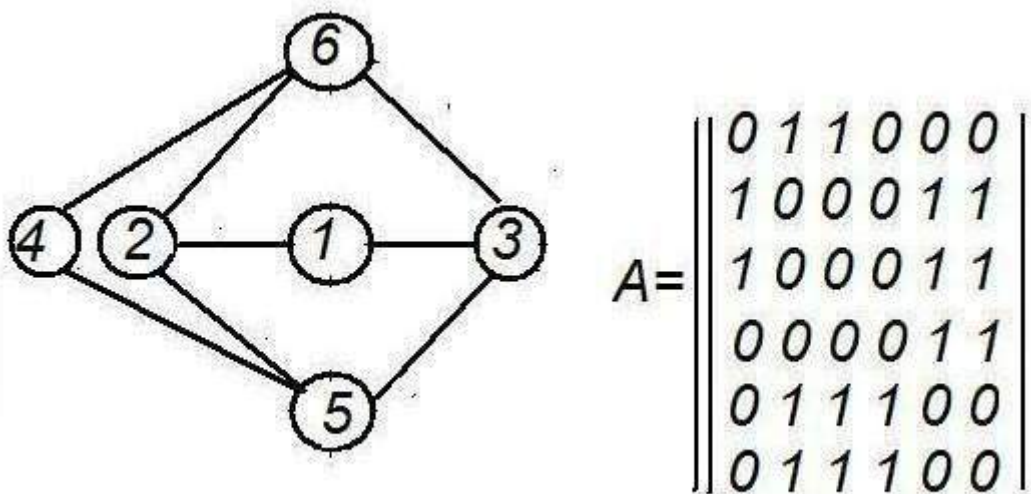


Рис.3. Граф-схема машины литья под давлением и матрица смежности этого графа.

На рис.4 показаны две структурные схемы, которые часто встречаются в механизмах автоматических литейных линий. Соответствие выражается следующими равенствами:

$\Gamma_{x1}=\{x2,x3,x5,x6\}$  это толкатели, подъемные столы, распаровщики форм и т.п. и  $\Gamma_{x1}=\{x3,x5,x6\}$ , это рамы автоматов в формовочных линиях. При разработке САПР узлов и механизмов следует использовать все конструктивные наработки, которые учитывают повышенную запыленность, высокую температуру, вибрацию и другие вредные факторы эксплуатации оборудования в литейных цехах, отрицательно влияющих на работоспособность оборудования.

Это в большей мере проявляется на примере конструктивного исполнения базовых деталей типового механизма: плит детали 2,3, 4 и колонн или направляющих детали 5 и 6 (см.рис.2.)

На рис.6 представлены конструктивные исполнения возможных вариантов базовых деталей колонн (направля-

ющих). На рис.6а показан вариант исполнения для машин литья под давлением, для кокильных машин и прессовых формовочных машин. В таких машинах усилие прижатия объекта обработки максимально большое. Поэтому требуется применение более прочной резьбы на концах колонн в сочетании с неподвижной посадкой, а это, в свою очередь, требует повышенной точности изготовления поверхностей деталей в сопряжениях с отверстиями в траверсе (плите). На рис.6в показано конструктивное исполнение не требующее повышенной точности изготовления. Применяется в литейных машинах, где усилия прижима не высокое, например, в стержневых машинах там, где в основном используются пневматические цилиндры привода. Усилие прижима воспринимается болтовым соединением. На рис.6б показана схема направляющих, которая применяется в подъемных столах, толкателях, распаровщиках форм и формовочных автоматах.

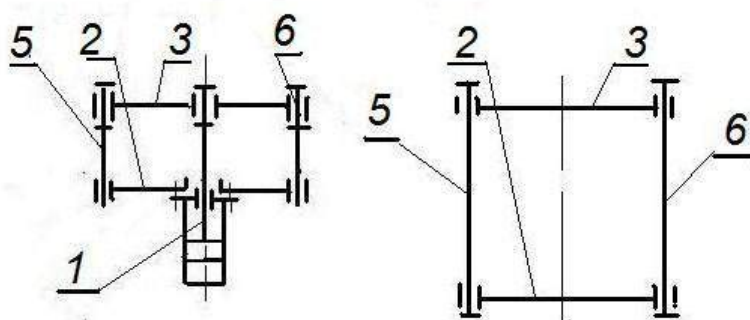


Рис.4. Структурные схемы механизмов автоматических формовочных линий: подъемных столов, толкателей и рамы формовочного автомата.

На рис.5а показан вариант сварного исполнения плит. Алгоритм проектирования таких механизмов предусматривает сварное или литое исполнение в зависимости от серийности изготовления, а также от нагрузки на эти детали. Детали "Плита" могут различаться количеством отверстий под направляющие, сеткой ребер придающих более высокую прочность, коробчатым или плоским сечением, расположением сварных швов, разделкой кромок на деталях под сварку и многими другими конструктивными отличиями.

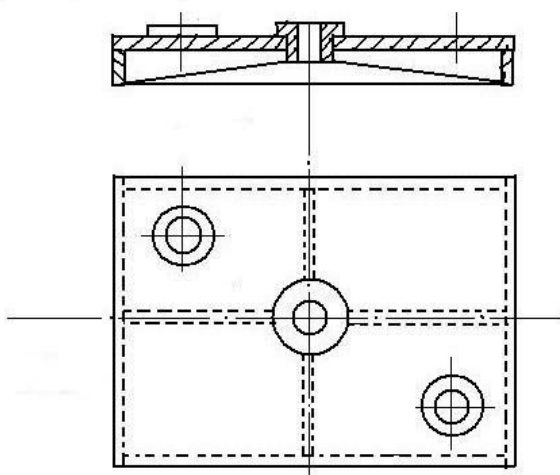
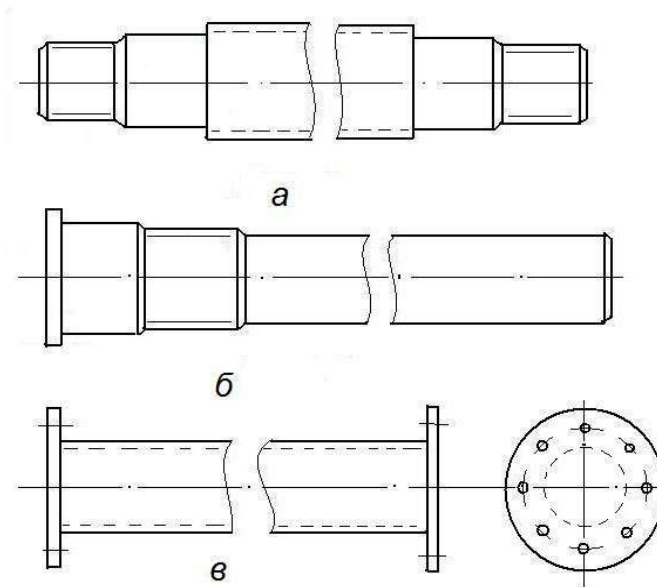


Рис.5. Сварной вариант исполнения плит механизмов.



**Рис.6.**Варианты исполнений: **а** – колонны для сильно нагруженных механизмов,**б**-направляющие для подъемных столов, **в** – для конструкций с небольшой нагрузкой.

В заключении следует отметить, что, кроме рассмотренного типа, в литейных машинах большое распространение получили машины вращательного действия.

#### Список литературы

1. **Машины литья под давлением с холодной камерой прессования.** Режим доступа: [spetctechsnab.ru/mashini-litya-pod-davleniem-s-cholodnoy-kameroj-pressovanya](http://spetctechsnab.ru/mashini-litya-pod-davleniem-s-cholodnoy-kameroj-pressovanya). (дата доступа 24.01.2013)
2. **Берж К.** Теория графов и её применения. М., ИЛ. 1962, 302 с.

#### Реферат к статье "Разработка модулей типовых конструктивных исполнений литейных машин и узлов автоматических линий"

Статья посвящена разработке принципов построения САПР применительно к литейному оборудованию. Наиболее распространенными конструктивными решениями в узлах автоматических линий и литейных машин являются узлы, использующие прямолинейное движение рабочих органов. Далее по распространенности можно считать литейные машины, с круговым движением рабочих органов. В статье предложено использовать графы для описания множества конструктивных исполнений. В качестве вершин графа приняты базовые детали, а ребер – связи между ними.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА И АНАЛИЗА РАЗМЕЩЕНИЯ ИНДИВИДУУМОВ В ОБЩЕЖИТИИ

*Мокерова Татьяна Анатольевна*

*магистрант Вятского Государственного университета*

## THE SYSTEM FOR PERSONS HOSTEL PLACEMENT ACCOUNTING AND ANALYSIS AUTOMATION

*Mokerova Tatyana*

*Anatolyevna undergraduate of Vyatka State University*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема учета проживающих в общежитии студентов и возможности оптимизации и автоматизации данного процесса. Приводятся результаты статистического исследования комфортности студентов проживающих в общежитии. Описывается критериальная модель. **ABSTRACT**

In article the problem of the accounting of the students living in the hostel and possibility of optimization and automation of this process is considered. Results of statistical investigation of comfort of the students living to the hostel. Description of criteria model

**Ключевые слова:** критериальная модель, информационная система. **Keywords:** criteria model, information system.

Одной из актуальных проблем общежития является учет проживающих, как живущих в данный момент времени, так и нет. Также важной проблемой является размещение нового студента в общежитии. При заселении комендант самостоятельно учитывает параметры студента, такие как: пол, гражданство, факультет и курс, а также самостоятельно принимает решение, куда именно заселить студента. Оперативность и качество процессов учета проживающих и принятия решений о размещении предлагается повысить путем создания программного модуля. Данный модуль будет автоматизировать процесс учета проживающих студентов, предлагать варианты заселения для студента с учетом его личных данных, и коменданту будет предлагаться выбор из списка комнат наиболее подходящих для заселения данного студента.

Была поставлена задача разработки модуля, который позволяет автоматизировать задачу учета и размещения студентов в общежитии на примере общежития №5 ВятГУ. Разрабатываемая система должна автоматизировать работу коменданта общежития, а именно осуществлять подбор комнаты для заселяемого студента и реализовывать учет проживающих студентов (все проживающие и проживавшие студенты должны отображаться в удобном виде). Подбор комнаты должен осуществляться по близости признаков заселяемого студента с уже проживающими людьми.

Задача размещения является комплексной задачей, на данный момент есть ряд критериев, используемых при принятии решения о размещении, и неизвестно, какие критерии будут использованы в дальнейшем. Поэтому предлагается общий подход для  $n$  критериев.

В настоящее время при заселении студента критерием оптимальности размещения является близость таких параметров студентов, как пол, гражданство, факультет и курс. Модуль должен формировать список комнат, наиболее подходящих для данного заселяемого студента, а ЛПП

(лицу принимающему решение – коменданту) – должен предоставляться выбор комнаты для заселения.

Задача была разбита на отдельные части, а именно:

1. разработка базы данных, в которой будет храниться информация об общежитии и проживающих в нем студентах;
2. проведение анализа совместимости студентов, для проживания в комнате;
3. создание программного подмодуля, реализующего задачу оптимального размещения;
4. создание программного подмодуля, реализующего задачу учета студентов.

Для того чтобы выяснить по каким признакам можно судить, что заселяемые студенты будут совместимы друг с другом, или с уже живущими студентами в общежитии, было проведено исследование, в ходе которого опрашиваемым было предложено расставить в порядке важности, путем присвоения мест с 1 по 5, следующие критерии: факультет, курс, гражданство, регион и этаж. Первое место присуждалось самому важному критерию. При этом данные оценивались в 2 вариантах: критерии при заселении на 1 курс и критерии при заселении сейчас.

Чтобы выяснить, можно ли использовать одинаковый критерий при заселении для разных категорий заселяющихся (студентов женского и мужского пола, заселяющихся на 1 курсе, либо последующих), необходимо было проверить верность следующих гипотез[1, с 51-53]:

1. Критерии заселения не зависят от момента заселения и одинаковы как при заселении на 1 курс, так и в настоящий момент.
2. Различия результатов студентов по половому признаку статистически не значимы.
3. Различия результатов студентов, обучающихся на разных курсах, незначительно.

Для оценки достоверности различий между несвязными выборками использовался критерий U-Манна-Уитни. Он применяется для оценки различий по уровню выраженности какого-либо признака двух выборок [2, с 101-106].

После всех расчетов был сделан вывод, что предложенные гипотезы оказались верны и, таким образом, при засе-

лении всех студентов можно руководствоваться одинаковым критерием.

Чтобы оценить важность каждого из 5 критериев была построена гистограмма (рис. 1). Значения столбцов гистограммы по каждому из критериев равно суммарному числу мест, присвоенных студентами в результате опроса.

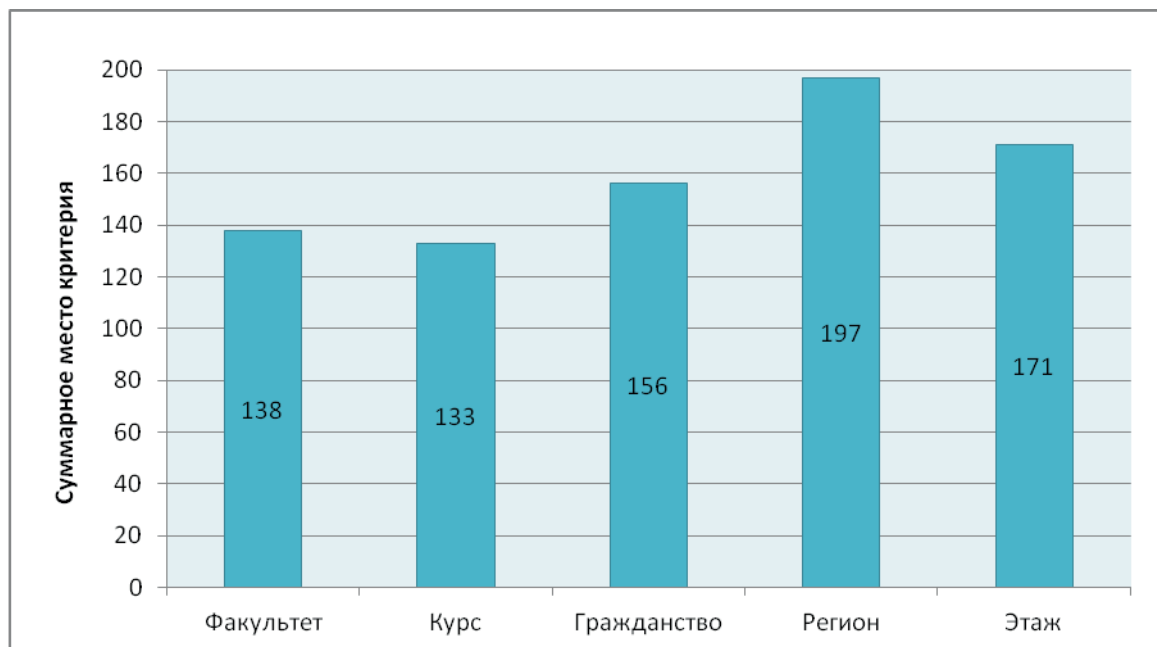


Рисунок 1 – Гистограмма важности критериев

По результатам анализа гистограммы исследуемым критериям были присвоены следующие места: 1 – курс, 2 – факультет, 3 – гражданство, 4 – этаж, 5 – регион. Важность каждого из критериев будет учитываться при подборе комнаты.

Для реализации задачи оптимального размещения индивидуумов был выбран последовательный алгоритм размещения, так как он предусматривает первоначальное размещение части элементов, что соответствует заселенным комнатам в общежитии. Необходимо определить, каким образом заселять нового студента к уже живущим, или определить порядок заселения в свободную комнату.

Вводится понятие критерия связности студентов. Связность студентов - это величина, которая характеризует меру схожести студентов друг на друга. Задача размещения в общежитии сводится к выбору в список комнат, наиболее подходящих для заселяемого студента, то есть тех комнат, где больше всего связность заселяемого студента с уже живущими. Критерием связности студентов будут служить такие параметры как близость пола, гражданства, факультета, курса, региона и этажа, полученные в результате проведенного исследования.

Заселяемый студент выбирается по правилу: берем первый элемент, стоящий в очереди на заселение.

Каждый заселяемый студент описывается признаками. Живущие студенты описываются этими же признаками.

Обозначим заселяемого студента  $p_1$ :

$$p_1 = \begin{cases} F_1 \\ N_1 \\ G_1 \\ C_1 \\ R_1 \\ L_1 \end{cases} \quad (1)$$

- $\rho$  – мера связности; G – пол;
  - N – гражданство;
  - F – факультет;
  - C – курс;
  - R – региону;
  - L – предпочитаемый этаж для заселения.
- Живущего студента обозначим  $p_2$ :

$$p_2 = \begin{cases} F_2 \\ N_2 \\ G_2 \\ C_2 \\ R_2 \\ L_2 \end{cases} \quad (2)$$



Вводится булева функция  $cc(G)$ , которая будет характеризовать степень похожести пола двух студентов (критерий «пол»), определяется следующим образом:

$$cc(G) = \begin{cases} 1, & \text{если } G_1 = G_2 \\ 0, & \text{если } G_1 \neq G_2 \end{cases} \quad (3)$$

$G_1$  – пол заселяемого студента;

$G_2$  – пол проживающего в комнате студента.

Вводится булева функция  $cc(N)$ , которая будет характеризовать степень похожести гражданства двух студентов (критерий «гражданство»), определяется следующим образом:

$$cc(N) = \begin{cases} 1, & \text{если } N_1 = N_2 \\ 0, & \text{если } N_1 \neq N_2 \end{cases} \quad (4)$$

$N_1$  – гражданство заселяемого студента;

$N_2$  – гражданство проживающего в комнате студента.

Вводится булева функция  $cc(F)$ , которая будет характеризовать степень похожести факультета двух студентов (критерий «факультет»), определяется следующим образом:

$$cc(F) = \begin{cases} 1, & \text{если } F_1 = F_2 \\ 0, & \text{если } F_1 \neq F_2 \end{cases} \quad (5)$$

$F_1$  – факультет заселяемого студента;

$F_2$  – факультет проживающего в комнате студента.

Вводится булева функция  $cc(C)$ , которая будет характеризовать степень похожести курсов двух студентов (критерий «курс»), определяется следующим образом:

$$cc(C) = \begin{cases} 1, & \text{если } C_1 = C_2 \\ 0, & \text{если } C_1 \neq C_2 \end{cases} \quad (6)$$

$C_1$  – курс заселяемого студента;

$C_2$  – курс проживающего в комнате студента.

Вводится булева функция  $cc(R)$ , которая будет характеризовать степень похожести регионов двух студентов (критерий «регион»), определяется следующим образом:

$$cc(R) = \begin{cases} 1, & \text{если } R_1 = R_2 \\ 0, & \text{если } R_1 \neq R_2 \end{cases} \quad (7)$$

$R_1$  – регион заселяемого студента;

$R_2$  – регион проживающего в комнате студента.

Вводится булева функция  $cc(L)$ , которая будет характеризовать степень похожести желаемого этажа для проживания заселяемого студента и этажа, на котором студент уже проживает (критерий «этаж»), определяется следующим образом:

$$cc(L) = \begin{cases} 1, & \text{если } L_1 = L_2 \\ 0, & \text{если } L_1 \neq L_2 \end{cases} \quad (8)$$

$L_1$  – желаемый этаж для проживания заселяемого студента;

$L_2$  – этаж на котором живет проживающий в комнате студент.

Для каждого из критериев выбирается  $w_k$ , где  $k=6$  – количество критериев, по которым определяют связность. Тогда мера связности будет вычисляться:

$$\rho = \sum_{k=1}^6 w_k * cc(p_k^1, p_k^2), \quad (9)$$

$w_k$  – вес  $k$ -го критерия;

$cc(p_k^1, p_k^2)$  – функция, которая вычисляется по формулам (3) – (8),

$p_k^1$  – заселяемый студент, который описывается совокупностью признаков согласно формуле (1),

$p_k^2$  – проживающий студент, который описывается совокупностью

признаков согласно формуле (2),

Связность рассчитывается с каждой комнатой, где есть свободные места, и записывается в массив (затем он будет выводиться в удобном виде).

Если количество уже проживающих в комнате студентов больше 1, то связность с комнатой вычисляется как средняя связность между заселяемым студентом, и каждым живущим студентом в этой комнате. При размещении нового студента учитываются только комнаты, в которых есть свободные места и полностью пустые комнаты. Список комнат для заселения должен отображаться в наглядном виде, для дальнейшего принятия комендантом студенческого общежития решения о том в какую комнату следует заселить нового жильца.

Описание критериев, методы автоматизированного оценивания их для каждого индивидуума, их веса храниться в метаданных информационного фонда системы и могут настраиваться администратором.

Разрабатываемая система способна решать следующие проблемы учета проживающих в общежитии:

1. организация оперативных массовых заселений;
2. учет в ходе принятия решений о возможности совместного
3. проживания ряда факторов, в первую очередь половозрастных;
4. эффективный поиск информации по проживающим студентам; 4) составление всевозможных отчетов.

Автоматизация учета, и в первую очередь, задачи заселения позволит повысить точность и скорость решения названных задач. Формирование методического подхода к решению задачи автоматизации заселения при наличии произвольного количества различных критериев позволит

обеспечить адаптируемость разрабатываемых средств к изменяющимся требованиям в данной предметной области.

#### Список использованных источников

1. Максимей И. В., Математические основы имитационного моделирования сложных систем [Текст]: монография./ И. В. Максимей; под ред. О. М. Демиденко; М-во образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 243 с.
2. Ермолаев-Томин, О.Ю. Математические методы в психологии [Текст]: учеб./ О.Ю. Ермолаев-Томин. – 5-е изд., испр. и доп. – М.:Юрайт, 2014 – 511с.

## ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ

**Чернышев Максим Олегович**

аспирант Сибирского Федерального Университета, Красноярск

**Надымов Максим Александрович**

студент Сибирского Федерального Университета, Красноярск

**Буянкин Павел Дмитриевич**

аспирант Сибирского Федерального Университета, Красноярск

**Лесогор Дмитрий Александрович**

магистрант Сибирского Федерального Университета, Красноярск

## INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR POWER QUALITY MONITORING IN DISTRIBUTION SYSTEMS OF 0.4 KV

**Chernyshev Maxim**

graduate student of Siberian Federal University, Krasnoyarsk

**Nadymov Maxim**

student of Siberian Federal University, Krasnoyarsk

**Buyankin Pavel**

graduate student of Siberian Federal University, Krasnoyarsk

**Lesogor Dmitry**

undergraduate of Siberian Federal University, Krasnoyarsk

#### АННОТАЦИЯ

Проблема мониторинга качества электроэнергии приобретает все большую актуальность в связи с широким распространением искажающих нелинейных нагрузок. В статье рассмотрено программное обеспечение для распределенной системы мониторинга качества электроэнергии. Система позволяет интегрировать анализаторы качества различных производителей в ИИС, производить сбор и хранение данных, полученных от анализаторов качества электрической энергии. Web-сайт обеспечивает многопользовательский режим и позволяет визуализировать показатели качества электрической энергии в удобном для анализа формате - в виде графиков и гистограмм.

#### ABSTRACT

This paper describes a distributed power quality (PQ) monitoring system. The structure of the measurement system, format of PQ database and web-server software are being discussed. The developed software can be used for PQ analysis and research activities. Examples of harmonic pollution measurements are being displayed.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система; мониторинг качества; электроэнергия.

**Keywords:** Information-measuring system; quality monitoring; electricity.

### Введение

Проблема обеспечения качества электрической энергии (КЭ), вызванная увеличением числа электроустановок с нелинейной вольтамперной характеристикой, приобретает важное значение. Потребители с нелинейными ВАХ создают при своей работе токи несинусоидальной формы, которые можно представить в виде суммы гармоник, частоты которых кратны основной частоте питающей сети. Результатом воздействия гармоник на систему электроснабжения и оборудование потребителей является увеличение потерь во вращающихся механизмах, трансформаторах, линиях электропередачи, ускоренное старение изоляции оборудования, сбои в работе чувствительного электронного оборудования.

Для мониторинга качества электрической энергии используют специальные устройства – анализаторы КЭ. Как правило, производители подобных устройств предлагают программное обеспечение (ПО) для конфигурирования и работы со своим оборудованием в режиме «точка-точка», когда измерительный прибор непосредственно подключается к ПК. Таким образом, с прибором одновременно может работать только один пользователь. Однако во многих случаях, например при идентификации искажающих нагрузок, необходима распределенная система, обеспечивающая удаленный доступ к измерительным приборам, расположенным в нескольких узлах сети электроснабжения.

В статье рассмотрено программное обеспечение для распределенной информационно-измерительной системы, обеспечивающей одновременный мониторинг качества электроэнергии в нескольких узлах сети.

### Описание системы

Основные требования к разрабатываемому ПО:

- Кроссплатформенность. Отдельные части программного обеспечения могут выполняться под управлением различных ОС: Windows, Linux и т.д.
- Многопользовательский режим работы;

- Распределенность. Измерительные приборы могут устанавливаться в различных узлах сети. Доступ к ним осуществляется с помощью сети Интернет;
- Протокол передачи данных между клиентом и сервером должен отвечать функциональным возможностям разрабатываемого программного обеспечения и одновременно обеспечивать минимальный трафик.

Архитектура информационно-измерительной системы показана на рисунке 1.

Основными компонентами ИИС являются:

- измерительный комплекс;
- подсистема сбора данных;
- СУБД;
- web-сервер;
- интерфейс пользователя.

Подсистема сбора и передачи данных представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для соединения ПК с измерительным прибором по протоколу RS-485 и передачи данных по протоколу ModbusRTU. Схема устройств и подключения всей системы представлена на рисунке 2.

Для разработки подсистемы сбора и передачи данных использована среда разработки LabVIEW. Для программирования задач ввода-вывода и обработки сигналов, не требующих высокого быстродействия обслуживающей программы, система LabVIEW является чрезвычайно удобной. Преимущества использования системы LabVIEW заключаются в следующем [2]:

- пакет создавался, прежде всего, для интеграции измерительного оборудования и программных средств;
- имеется мощная математическая библиотека для обработки данных;
- ведущие производители измерительного оборудования снабжают свою продукцию драйверами для взаимодействия с LabVIEW;

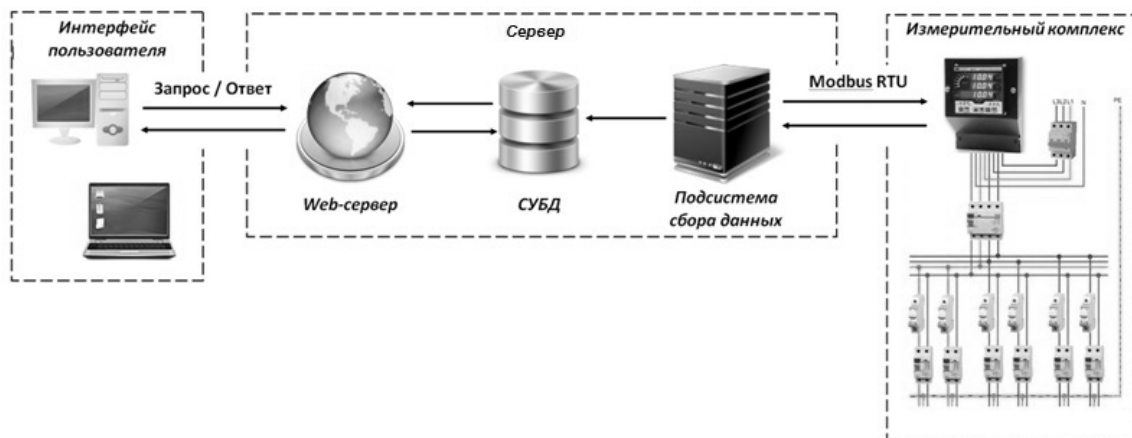


Рисунок 1. Архитектура информационно-измерительной системы анализа качества электроэнергии



Рисунок 2. Схема физического соединения

Основной функцией подсистемы сбора и передачи данных является формирование запросов и прием данных от анализаторов КЭ.

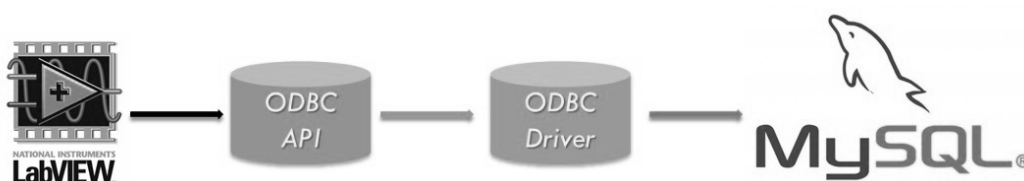


Рисунок 3. Схема взаимодействия LabVIEW с СУБД

Для хранения результатов измерений использован формат, аналогичный стандартному формату обмена данными о показателях качества электроэнергии PQDIF [4].

Предусмотрены три вида элементов записей:

- Скаляр. Отдельное значение какого-либо физического параметра;
- Вектор. Массив физических параметров;
- Прочие элементы, например, указатели связи с другими элементами.

На логическом уровне структура данных представляет иерархию записей, содержащих информацию об источниках данных, настройках измерительных приборов и результатов измерений. Структура данных представлена на рисунке 4.

Web-сервером является персональный компьютер, имеющий доступ к локальной сети института и выход в Интернет. Использован сервер ApacheHTTP и система управления базами данных MySQL. Основными преимуществами сервера Apache являются широкие возможности, удобство администрирования, эффективность, производительность, а также кроссплатформенность.

В программе сформированы таблицы, которые содержат номера регистров внутренней памяти прибора. При получении ответа от анализатора программа запускает механизмы взаимодействия с СУБД, в которой формируются таблицы с данными. Для реализации взаимодействия LabVIEW и СУБД был использован программный интерфейс ODBC с вариантом подключения UDL.

Пользовательский интерфейс представляет собой web-сайт, который работает в браузере пользователя. Как правило, все вычислительные операции производятся на стороне web-сервера. Для организации взаимодействия web-сервера и базы данных использовался скриптовый язык PHP. Графический интерфейс пользователя разработан с помощью языка разметки HTML и языка описания внешнего вида документа CSS. Для отображения данных из базы в виде графиков использовались сторонние библиотеки, разработанные на языке JavaScript. Для увеличения скорости обмена информацией между клиентом и сервером использован AJAX метод, суть которого заключается в фоновом обмене данными браузера и сервера.

Web-сайт позволяет визуализировать показания анализатора качества электрической энергии в виде графиков. Внедрены механизмы детальной настройки отображения графиков (установка определенного временного интервала, выбор величин, сохранение графиков в виде рисунка в форматах JPG, PNG, PDF). Динамический web-сайт позволяет отслеживать действующие значения и спектральный состав токов и напряжений сети, суммарный коэффициент гармоник в режиме онлайн.

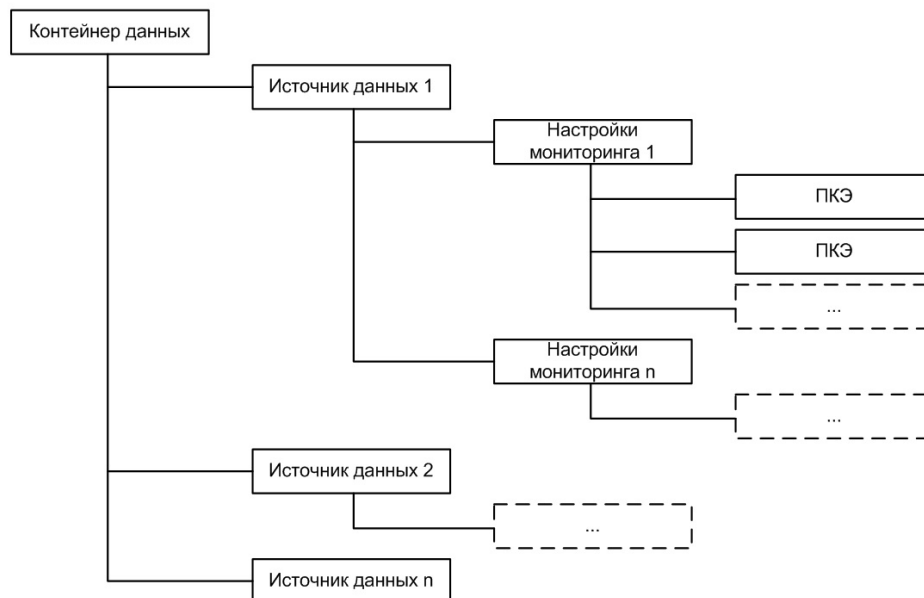


Рисунок 4. Структура хранения данных

Предусмотрено определение следующих показателей:

- действующие значения фазных и линейных токов и напряжений;
- величины  $n$ -х гармонических составляющих тока и напряжения (в процентах по отношению к основной гармонике);
- коэффициенты  $n$ -х гармонических составляющих напряжений и токов;
- суммарные коэффициенты гармоник напряжений и токов;
- действующие значения тока нейтрального проводника;
- активной мощности;

- реактивной мощности на частоте первой гармоники;
- Реактивной мощности Фризе [5];
- полной мощности.

#### Апробация и результаты измерений

Разработанное программное обеспечение используется для анализа качества электроэнергии в распределительной сети кампуса Сибирского федерального университета. В качестве примера на рисунке 5 показаны графики действующих значений токов в фазе А и нейтральном проводе, измеренные на одном из кабельных вводов учебно-лабораторного корпуса университета в течение двух суток.

Удаленная лаборатория

12 октября 2015г.

- Навигация:
- Основные параметры
- Векторные диаграммы
- График гармоник
- Архив энергии
- Учет энергии: Профиль 1
- Учет энергии: Профиль 2
- Журнал событий

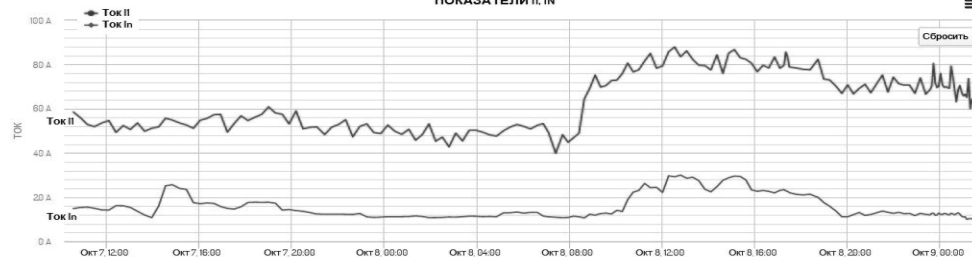
#### Основные параметры электросети:

Установить дату отображения

2015-10-07 00:00 ~ 2015-10-10 23:59

Установить

#### ПОКАЗАТЕЛИ II, IN



Назад

Рисунок 5. График тока фазы А и нейтрального провода



На рисунке 6 показан график изменения значений гармонических составляющих тока в фазе А.

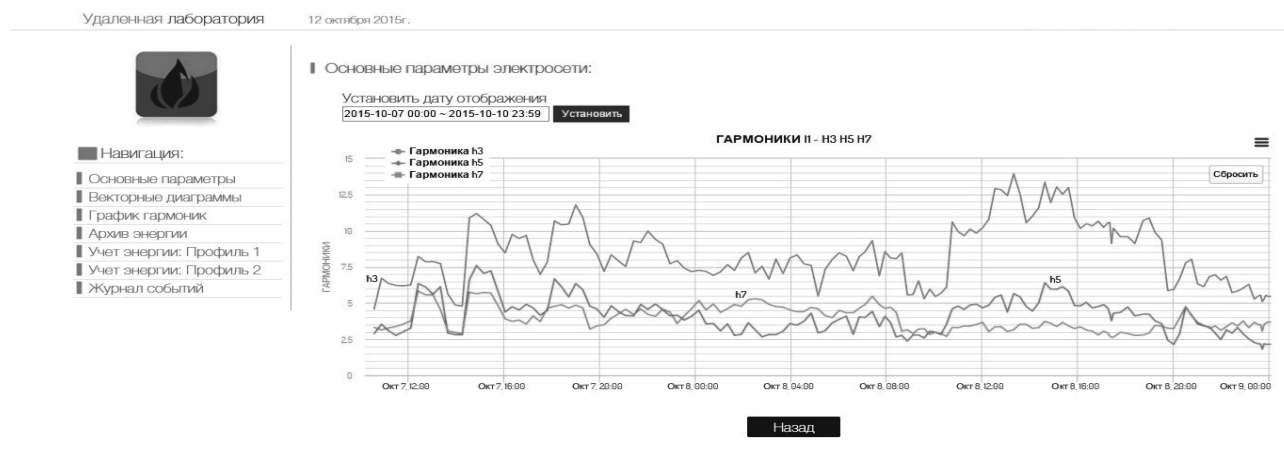


Рисунок 6. Гармонические составляющие тока в фазе А: 3, 5 и 7-я гармоники

На рисунке 7 и 8 показан спектральный состав тока в фазе А, измеренный в дневное и ночное время.

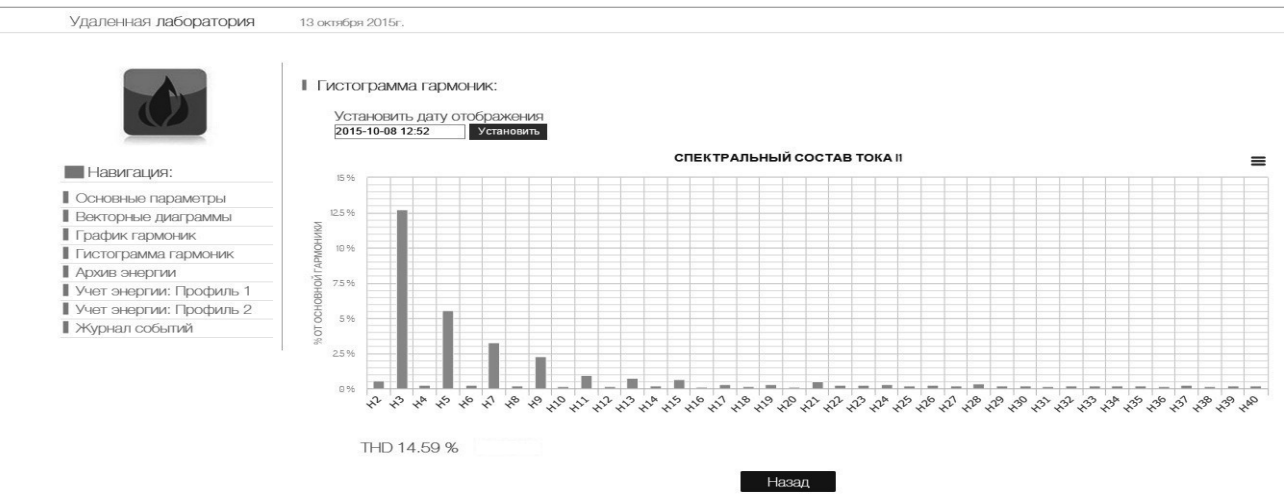


Рисунок 7. Спектральный состав тока в фазе А в дневное время

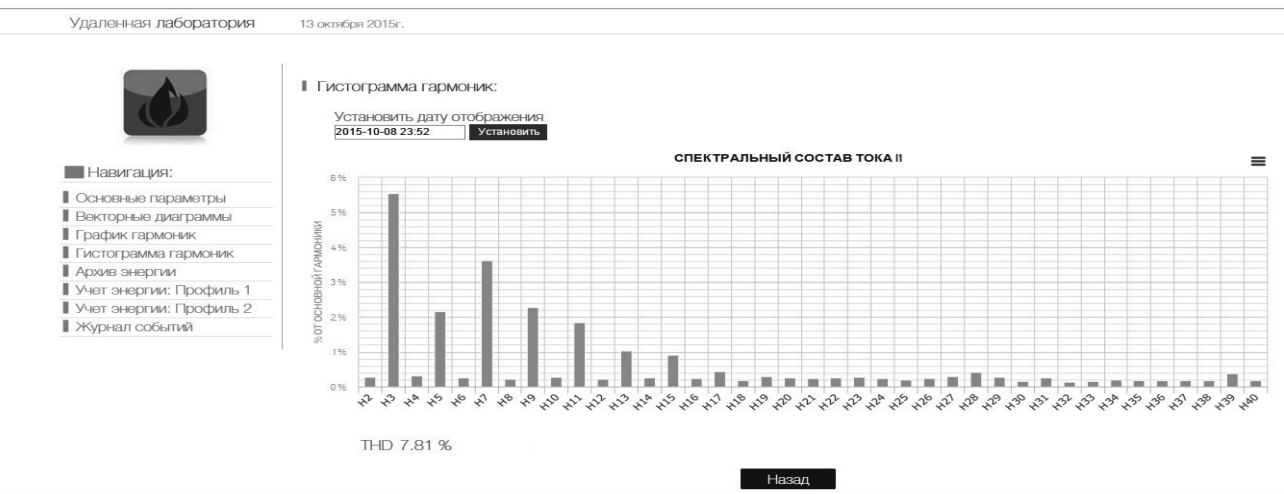


Рисунок 8. Спектральный состав тока в фазе А в ночное время

Результаты измерений показывают, что в распределительной сети наблюдаются значительные искажения формы кривых токов. Основными источниками искажений являются импульсные источники питания компьютерной и офисной техники, энергосберегающие системы освещения. Уровень гармонических искажений токов достигает наибольших значений во время занятий, когда используются компьютерные классы. Отметим, что измерения проводились на кабельных вводах. Анализ, проведенный в работе [6], показывает, что во внутренних сетях здания суммарный коэффициент гармоник тока может превышать 100%. В этом случае потери электроэнергии во внутренних сетях зданий увеличиваются в 2 – 2.5 раза по сравнению с синусоидальным режимом.

Серьезную проблему представляют токи третьей гармоники, суммирующиеся в нейтральных проводниках. Это приводит к увеличению потерь и в ряде случаев – к авариям, вызванным перегоранием нейтрального провода. Кроме того, большие уровни токов третьей гармоники вызывают дополнительный нагрев обмоток трансформаторов и могут вызвать повреждение их изоляции.

#### Заключение

В статье рассмотрены вопросы реализации распределенной информационно-измерительной системы для мониторинга качества электроэнергии. Разработанное программное обеспечение обеспечивает следующие преимущества:

- предоставление удаленного доступа к данным анализаторов КЭ сокращает время сбора и обработки данных. Отпадает необходимость выезжать на объект для считывания измеренных величин;
- реализован многопользовательский режим за счет создания web-приложения. Это позволяет использовать разработанное ПО в учебном процессе для создания лабораторного практикума с удаленным доступом;
- разработанный программный продукт предоставляет возможность пользователю работать сразу с

несколькими анализаторами КЭ, которые могут быть установлены в различных узлах распределительной сети;

- модульная структура позволяет легко расширять систему и включить в систему сбора данных анализаторы КЭ других производителей.

Разработанная информационно-измерительная система представляет эффективный инструмент для проведения исследований в области управления качеством электроэнергии. Предполагается использование ИИС в учебном процессе СФУ в качестве лабораторного практикума с удаленным доступом. Удаленный доступ через Интернет к реальному оборудованию позволяет создать принципиально новую образовательную инфраструктуру учебного процесса для различных направлений подготовки бакалавров и магистров.

#### Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
2. Kim N., Kehtarnavaz N. Digital signal processing system level design using LabVIEW. Elsevier Inc. 2005.
3. Компьютерные сети. 4-е изд. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2011. – 992 с.: ил.
4. IEEE Std 1159.3 - 2003; “IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data” <http://standards.ieee.org/>.
5. Cataliotti A., Consentino V. A new measurement method for the detection of harmonic sources in power systems based on the approach of the IEEE std. 1459-2000. – IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, 2010, pp. 332-340.
6. Lai J.-S., Key T. Effectiveness of harmonic mitigation equipment for commercial office buildings. – IEEE transactions on Industry Applications, 1997, Vol.33, No.4, pp. 1104-1110.

## НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ ЛОМА, СОДЕРЖАЩЕГО ЦВЕТНЫЕ И БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

**Назимко Елена Ивановна**

*докт. техн. наук, профессор кафедры „Экология моря“ ФГБОУ Керченский государственный морской технологический университет,  
г. Керчь, Республика Крым*

**Корчевский Александр Николаевич**

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых»  
Донецкий национальный технический университет,  
г. Донецк*

## TRENDS IN THE STUDY OF THE SEPARATION PROCESS OF THE SCRAP CONTAINING NON-FERROUS AND NOBLE METALS

**Nazimko Lena**

*Doctor of Science, professor, Ecology of Sea Dearment, FSBEI  
State Maritime Technology University of Kerch,  
Kerch, Crimea Republic*

**Korchevsky Alexander**

*PhD, Professor Assistant, Mineral Processing Department  
Donetsk National Technical University  
Donetsk*

### АННОТАЦИЯ

Приведен анализ технологий переработки лома отходов кабельно-проводниковой продукции, содержащей цветные и благородные металлы. Показаны преимущества гравитационных методов разделения как наиболее дешевых. Из этих методов предпочтительно использование вибрационной пневматической сепарации. Для выбора эффективного технологического режима необходимо применить моделирование и исследовать свойства разделяемых частиц.

### ABSTRACT

Waste scrap cable and wire products, containing non-ferrous and precious metals analysis of technologies is present. The advantages of the gravity methods of separation as the cheapest are shown. Vibration-pneumatic separation is preferably for using of these methods. There is necessary to apply simulation to explore the properties of the separating particles to select effective technological mode.

**Ключевые слова:** кабельная продукция, лом, сепарация, методы, задачи.

**Keywords:** cable products, scrap, separation, methods, tasks.

В мировой практике наблюдается тенденция ухудшения качества добываемого минерального сырья, что связано с выработкой запасов, богатых по содержанию полезных компонентов, и ухудшением горно-геологических условий эксплуатации месторождений. Расширение производства электронной техники приводит к росту количества разнообразных отходов, представляющих собой сложные агрегаты материалов и металлов, сплавов, включающих драгоценные и цветные металлы, содержание которых часто относительно больше, чем в первичных рудах.

Вторичные металлы по качественным показателям не отличаются от добытых из недр при разработке месторождений. Энергетические затраты при добыче и переработке рудных месторождений на порядок превосходят затраты на получение цветных и благородных металлов из

отходов, сдаваемых в качестве низкокачественного сырья [8, с. 98].

Эффективное использование лома отходов кабельно-проводниковой продукции во вторичной цветной металлургии способствует обеспечению различных отраслей промышленности, экономии ресурсов и охране окружающей среды. Однако этот лом без предварительной сепарации не может быть использован на стадии возвращения его в качестве сырья [2, с. 27].

Для разделения компонентов отходов применяются различные технологии, среди которых гравитационные процессы и, в частности, вибрационно-пневматическая сепарация, имеющая наиболее низкую затратную часть при необходимых показателях извлечения. В процессах разделения происходит взаимодействие разных фаз и частиц между собой. Гравитационное разделение основано

на разнице в скоростях перемещения частиц различной формы, крупности и веса в разделительной среде, в качестве которой используются тяжелые жидкости, суспензии, вода и воздух [10, с. 124].

Например, в Бельгии используется технология с разделением дробленого кабельного лома в суспензии (Jorge & Co). В Чехии, Франции, Германии применяются аналогичные решения. Суспензионная сепарация распространена в США в автомобильной промышленности. По аналогичным технологиям перерабатывается и разделяется аккумуляторный лом в Германии (фирма Stolberger). Фирмой Tonolli (Италия) применяется двухстадийная тяжело-средняя сепарация дробленых отработанных кислотных аккумуляторов. Недостатком технологии является необходимость в отмывке и регенерации суспензии, что требует эксплуатационных и капитальных вложений [10, с. 218].

Для упрощения схем переработки переходят на гидравлическую сепарацию вторичного сырья перед его металлургическим переделом. Основной операцией является сепарация в гидроциклонах (PXD-Engineering, Германия) после предварительного дробления и классификации лома. Эти же задачи решаются с помощью гидравлических сепараторов с восходящими потоками воды. Для получения продуктов с заданным качеством применяют несколько последовательных стадий гидроклассификации [10, с. 242]. Недостатком такого технического решения является необходимость классификации материала на узкие классы крупности. Кроме того, разветвленная схема с использованием воды требует технологии ее осветления и замыкания цикла по воде, что усложняет систему.

Исследования по разделению лома цветных металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем показали удовлетворительные результаты [3, с. 19; 9, с. 387]. Недостатком технологии так же является применение узкой шкалы классификации и воды в качестве разделительной среды.

Приведенный анализ показывает, что технологические схемы с гравитационными процессами с суспензиями или технической водой могут иметь разное аппаратное оснащение, но требуют развитой водно-шламовой системы и значительных количеств воды для их реализации.

Вторичное сырье имеет ряд особенностей, которые создают ограничения в применении технологии сепарации. К таким особенностям относятся небольшие мощности перерабатывающих лом предприятий и требования металлургического передела, ограничивающие состав и влажность продуктов, направляемых в переделку. Металлические концентраты, содержащие частицы неправильной формы после дробления, имеют высокую абразивность, склонны к окислению при повышении температуры в сушильной установке. Это вызывает необходимость применения специальных способов сушки, что удорожает процессы подготовки вторичного сырья к переделу.

Перечисленные особенности определяют направления поисков технологии их подготовки и сепарации, имеющей невысокие энергетические, капитальные и эксплуатационные затраты. Таким методом может быть воздушная сепарация, широко применяемая как метод разделения сыпучих материалов, частицы которых имеют различную форму, плотность, коэффициент трения. Наибольшее рас-

пространение эта технология нашла в сельскохозяйственной отрасли, но применяется и в других сферах [1, с. 40], например, при обогащении россыпей. В ряде стран (Австрия, США, Нигерия, ЮАР) сепарация песков производилась на пневматических столах или грохотах. Аналогичный принцип применяется для разделения золотосодержащих песков, вольфрамсодержащих продуктов, кварца, сортировки асбеста и др. [1, с. 57].

Воздушная сепарация обеспечивает довольно высокие значения эффективности разделения при узкой шкале классификации исходного питания, что вызвано созданием в аппарате равномерного слоя постели из разделяемого сырья. Известны способы с созданием искусственной постели из других материалов, например песка. Искусственная постель имеет вид аэросуспензии, которая образуется при подаче воздуха под перфорированную поверхность емкости с песком [1, с. 110].

Фирмой Dryflo разработана модель сепаратора с кипящим слоем с высокой эффективностью разделения. Особенностью конструкции является сужение разгрузочной части сепаратора. По длине желоба прямоугольной формы происходит псевдоожижение слоя материала. Попадая в сужающуюся часть, псевдоожиженный слой сжимается бортами, и в нем формируются хорошо выраженные слои с повышенной плотностью, что позволяет легко отделять их друг от друга ножевым разделителем [7, с. 29].

Таким образом, основные направления изысканий и развития процессов пневматической сепарации связаны с применением псевдоожиженного слоя материала в рабочей зоне сепаратора [5, с. 99].

Технология, разработанная японской фирмой Horai Iron Works Co, предусматривает комбинированную вибросепарацию дробленых отходов кабеля, где сочетается разделение в потоке воздуха и в псевдоожиженном слое [11, с. 440]. В ходе исследований было установлено, что началом флюидизации является момент, когда частицы постели начинают приходить в движение. Минимальный поток воздуха, необходимый для перехода частиц в псевдоожиженное состояние, зависит от крупности частиц и их веса, а также от вязкости газового потока. При этом получена эмпирическая зависимость для определения минимального газового потока, необходимого для флюидизации:

$$U = 18 d_s^{1.82} [\delta_a (\delta_s - \delta_a)]^{0.94} \mu^{-0.88}, \quad (1)$$

$U$  – минимальный газовый поток через единицу сечения постели, кг/мин м<sup>2</sup>;

$d_s$  – диаметр частиц твердой фазы, м;

$\delta_a, \delta_s$  – плотность газа и твердой фазы, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – вязкость газа, Н с/м<sup>2</sup>.

Между плотностью фаз и кажущейся плотностью постели установлена эмпирическая зависимость, справедливая для момента начала флюидизации постели частиц:

$$\delta_{as} = (1 - \varepsilon) \delta_s + \varepsilon \delta_a. \quad (2)$$

$\delta_{as}$  – кажущаяся плотность постели частиц, кг/м<sup>3</sup>;



$\varepsilon$  – пустотность (пористость) постели, %.

В свою очередь пористость постели связана с разрыхленностью слоя прямо пропорциональной зависимостью. При увеличении скорости ламинарный режим движения потока переходит в турбулентный, что отрицательно сказывается на флюидизации постели и нарушает процесс сепарации.

Исследованию взаимосвязи параметров флюидизации и разрыхленности постели посвящен ряд работ зарубежных авторов при разделении различных материалов [11, с. 443]. При низких значениях разрыхленности флюидизация не происходит, а при высоких (при увеличении газового потока), возникают каналы в объеме постели и флюидизация нарушается. Возникает необходимость определения оптимальных значений разрыхленности постели.

В последние годы появились оригинальные конструкции сепараторов зигзагообразной формы (фирма Alpine, сепаратор Multiplex), которые обеспечивают высокое содержание металла в конечном продукте [10, с. 436].

Общим недостатком перечисленных методов является необходимость использования узкой шкалы классификации и додраблывания материала. Кроме того, установки рассчитаны на переработку кабеля и проводов только в резиновой и пластиковой изоляции, что ограничивает область их применения. Часто процесс внедрялся на основе эмпирического подхода - крупность исходного питания не контролировалась, шкала классификации не была обоснована, аэродинамические характеристики сырья не исследовались, отсутствовала методика выбора рациональных параметров.

Во всех описанных способах разделения применялись противоточные сепараторы, в которых имеется встречное движение разделительной среды и потока материала. Недостатком этих аппаратов является необходимость обеспечения перепада высот для разгрузки легкой и тяжелой фракций.

Указанного недостатка лишен поперечно-проточный сепаратор, в котором вектор скорости воздушного потока направлен под углом  $90^0$  к направлению действия гравитационных сил. Однако, такое решение вызвано исключительно конструктивными соображениями, без определения общих закономерностей воздушной сепарации вторичного сырья [10, с. 325].

Для повышения эффективности сепарации многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции следует изучить распределение частиц по крупности при использовании дробилок разного типа, а также аэродинамические характеристики частиц и влияние иных технологических параметров на показатели разделения [8, с. 98].

Исследования процессов, происходящих при воздушной сепарации, свидетельствуют о том, что одним из определяющих результаты разделения параметров является разрыхленность материала в рабочем пространстве сепаратора, которая определяет взаимодействие частиц при разделении.

Тем не менее, до настоящего времени механизм взаимодействия различных материалов в ходе воздушной сепарации изучен не достаточно полно. Исследование этих процессов весьма затруднено из-за размеров слоев, в которых происходит взаимодействие, процесс происходит быстро,

за сотые и тысячные доли секунды. При этом параметры взаимодействия значительно изменяются не только количественно, но и качественно.

Именно поэтому остаются вопросы, требующие уточнения и дополнения. Прежде всего аэродинамических характеристик зерен различной формы, определяющих их скорости и параметры взаимодействия друг с другом и стенками сепаратора [4, с. 69].

Отсюда вытекает, что без детального изучения динамики взаимодействия массы частиц с различными свойствами и режимами перемещения между собой невозможно уточнить параметры процесса сепарации, что отмечается и рядом исследователей. Одним из современных и продуктивных подходов для исследования процесса является рассмотрение его на микроуровне с помощью компьютерного моделирования [6, с. 64; 12, с. 787].

Необходимо иметь данные о перемещении частиц, их скоростях и ускорениях, что позволит глубже понять механизм взаимодействия, природу участвующих сил и составить теоретическую базу для практически важных выводов по совершенствованию технологии разделения.

#### Список литературы

1. Анохин В.Д. Вибрационные сепараторы / В.Д. Анохин, Д.А. Плинс, В.Н. Монахов.- М.: Недра, 1991. – 156 с.
2. Бредихин В.Н. Медь вторичная [монография]/ В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк, А.Я. Кафтоненко. Д.: ДонНТУ, 2006. – 416 с.
3. Букин С.Л. Разделение лома цветных и редких металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем / С.Л. Букин, В.Н. Бредихин, А.Н. Корчевский // Совершенствование технологии и оборудования по переработке лома и отходов, содержащих драгоценные металлы. Материалы IV н-т конференции 16-18 апреля 1996 г. Донецк. – ДонИЦМ, 1996. – С. 17-20.
4. Корчевский А.Н. Исследование свойств лома цветных металлов как объекта сепарации / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // Вестник Криворожского технического университета: сб науч. работ. – вып.6 – Кривой Рог: КТУ. - 2007 – С. 68-71
5. Корчевский А.Н. Исследование условий разделения лома цветных металлов гравитационными методами / А.Н. Корчевский // Научные работы Донецкого национального технического университета. Вып. 15(131), серия горно-электромеханическая. – Донецк: ДонНТУ. – 2008. – С. 98-104
6. Корчевский А.Н. Моделирование процесса пневматического разделения лома цветных металлов / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко// Вестник Криворожского технического университета: сб науч. работ. – вып. 21. – Кривой Рог: КТУ - 2008. - С. 62-66.
7. Лата В.А. Зарубежные технологии переработки аккумуляторного лома / В.А. Лата, Л.Д. Хегай, С.О. Соколовская и др. // Цветные металлы. – 2004. - №7. – С. 28-31.
8. Назимко Е.И. Использование отходов цветных металлов как фактор снижения техногенной нагрузки



- на окружающую среду. / Е.И. Назимко, М.Л. Яковенко, А.Н. Корчевский // Актуальные проблемы социального, гуманитарного и научно-технического знания. – 2015 - №2 - С. 97-99.
9. Назимко Е. Исследование разделения отходов на концентрационном столе. /Е. Назимко, А. Корчевский, К. Гуменюк. // *Proceedings of XII-th National Conference with International Participation of the open and underwater mining of minerals. – Bulgaria. – 2013. – P. 381-388.*
  10. Смирнов В.А. Обогащение руд и отходов цветных металлов [монография]/ В.А. Смирнов, В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев. – Донецк: Изд. Дом Кальмиус, 2008. – 500 с.
  11. Li Congmin. Compound Dry Cleaning Technique – Study and Practice. / Congmin Li // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 439-447.*
  12. Nazimko L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*

## ВЛИЯНИЕ КАРБИДНЫХ ФАЗ НА СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

**Намазов Субхан Надир оглы**

Доктор технических наук, профессор,  
Азербайджанский Технический Университет

**Сулейманова Сайяда Низами гызы**

Кандидат технических наук, доцент,  
Азербайджанский Технический Университет

**Гамдуллаева Илхама Гамдулла гызы**

Кандидат технических наук,  
Азербайджанский Технический Университет

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено - влияние карбидных фаз на структуры и свойства инструментальных сталей. Установлено, что сталь, легированная 1% ванадия, имеет более высокую износостойкость, чем сталь, легированная таким же количеством хрома, вольфрама или молибдена, соответственно. Карбиды ванадия, в отличие от карбидов титана, способны растворяться в аустените в сравнительно повышенных количествах. Это обеспечивает возможность значительного упрочнения закаленной стали, при ее отпуске вследствие их выделения в высокодисперсной форме при равномерном распределении в матрице.

**Ключевые слова:** карбид, ванадий, легирование.

## INFLUENCE ON THE PROPERTIES CARBIDE PHASES TOOL STEELS

**Namazov Subhan**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, professor, Azerbaijan Technical University

**Suleymanova Sayyada**

<sup>2</sup>Candidate of Technical Sciences, docent, Azerbaijan Technical University

**Hamdullayeva Ilhama**

Candidate of Technical Sciences, Azerbaijan Technical University

### ABSTRACT

In the article - the impact of carbide phases in the structure and properties of tool steels. It is found that the steel alloy of 1% vanadium, has much greater wear resistance than steel, alloyed with the same amount of chromium, molybdenum or tungsten, respectively. Vanadium carbides, unlike titanium carbide, can be dissolved in the austenite in relatively elevated amounts. This enables a significant hardening of hardened steel, with its holiday due to their isolation in finely divided form with a uniform distribution in the matrix.

**Keywords:** carbide, vanadium alloying.

Подбор новых марок инструментальных сталей, не требующих сложных технологических решений и специального оборудования при изготовлении и термическом упрочнении, на сегодняшний день представляет одну из актуальных задач современного материаловедения, что в свою очередь влечет за собой необходимость проведения поисковых работ в области оптимизации их легирующего комплекса и режимов термической обработки, позволяющих получить максимальное сочетание механических и эксплуатационных свойств.

Авторы [1, 2, 3] в качестве одной из причин выхода валков из строя приводят низкое качество валков, что, по их мнению, вызвано недостаточным карбидным упрочнением и высокими остаточными напряжениями в них в результате отклонений от технологии окончательной термообработки.

По данным работ [4, 5] преобладающими причинами выхода из строя молотовых и прессовых штампов являются износ, смятие и термическая усталость, трещины разгара. До 70-90 % штампов нельзя использовать вследствие износа и смятия гравюры. Как правило, хрупкое разрушение штампов является следствием неправильного выбора штамповой стали и режима ее термической обработки для конкретного технологического процесса [6].

Структурные изменения, происходящие в рабочей поверхности, характеризуются интенсивным развитием сдвиговой деформации, термической усталости и окисления. В поверхностном слое крупногабаритных тяжело нагруженных инструментов склонность к формированию структуры вторичной закалки зависит от количества карбидной фазы. В случае когда, скопление цементитных включений выступают в роли каркаса они и определяют износ. Разрушаясь, такие включения обеспечивают постоянное обновление поверхности. Наличие единичных и тонких включений не оказывают тормозящего влияния на формирование структур вторичной закалки. При этом важное значение имеет металлическая матрица, в которой расположены карбиды или другие твердые включения. В случае неблагоприятного типа основы сплава даже в сочетании со значительным количеством упрочняющей фазы в их структуре могут оказаться весьма малоизносостойкими [7, 8, 9].

В большинстве случаев карбидная фаза является одним из основных факторов, повышающих прочность и сопротивляемость сплавов разрушению при изнашивании, также отмечается, что не меньшее значение имеет металлическая матрица [7]. Поэтому изучение влияния карбидных фаз на структуры и свойства инструментальных сталей представляет особый интерес.

Современные легированные инструментальные стали представляют собой сложную многофазную систему, которая позволяет сочетать твердость и прочность со значительной пластичностью и вязкостью. При этом свойства

стали, естественно, определяются размерами, морфологией и характером распределения карбидных фаз и кристаллогеометрическими соотношениями на их границе с матрицей, представляющей собой твердый раствор железо-углерод.

Для создания высокопрочного состояния важно, чтобы частицы карбидных фаз отличались весьма малыми размерами, а расстояние между ними должно быть одного порядка с их размерами. При этом межфазные границы, являясь эффективными барьерами для движения дислокаций, должны оставаться полупроницаемыми для них, чтобы при нагружении и движении дислокаций не возникло значительного их скопления и, соответственно, зарождения очагов разрушения.

Весьма существенное значение имеет и сама матричная фаза, представляющая собой твердый раствор. Необходимо, чтобы она была мелкозернистого строения, отличалась высокой однородностью субструктуры, которая достигается в результате процесса полигонизации, и при этом была достаточно упрочнена легирующими элементами, введенными в состав твердого раствора, при возможно низком содержании углерода для повышения сопротивления хрупкому разрушению.

К основным упрочняющим фазам большинства высокопрочных теплоустойчивых сталей можно отнести карбиды:  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_2C$ ,  $MC$ .

Анализ структуры и свойств карбидных фаз приводит к заключению, что карбиды  $MC$ , благодаря комплексу свойств, должны быть основной упрочняющей фазой.

В таблице приведены литературные и расчетные данные о характеристиках карбидных фаз, упрочняющих сталь. Согласно приведенным данным, 1% ванадия образует в стали 1,66% (объемных) карбидов, что значительно больше, чем образует 1% вольфрама, молибдена или хрома. Кроме того, микротвердость карбидов ванадия практически в 2 раза выше, чем микротвердость карбидов  $W_2C$ ,  $Mo_2C$  и  $M_{23}C_6$ . Благодаря таким свойствам карбидов ванадия, сталь, легированная 1% ванадия, имеет износостойкость намного большую, чем сталь, легированная таким же количеством хрома, вольфрама или молибдена, соответственно.

Из карбидных фаз структурного типа  $MC-TiC-NbC$ ,  $TaC$ ,  $ZrC$ ,  $VC$ - наибольший интерес представляют карбиды ванадия и титана, а также сложные карбидные фазы на их основе. Однако карбиды ванадия, в отличие от карбидов титана, способны растворяться в аустените в сравнительно повышенных количествах, и это обеспечивает возможность значительного упрочнения закаленной стали при ее отпуске вследствие их выделения в высокодисперсной форме при равномерном распределении в матрице.

Таблица  
Характеристика карбидных фаз (для системы Fe-Me-C)

Характеристика карбидов	Карбидообразующий элемент			
	W	Mo	V	Cr
Тип карбида	M <sub>2</sub> C	M <sub>2</sub> C	MC	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>
Расход углерода на образование карбида (% мас./% ат.)	0,037/0,15	0,07/0,29	0,25/1,10	0,07/0,28
Количество карбидов, образуемых 1% (масс.) карбидообразования элемент, %	1,04	1,07	1,25	1,07
Плотность карбидов, 10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup>	9,5	9,2	6,0	7,0
Количество карбидов, % объемн.	0,87	0,93	1,66	1,22
Микротвердость карбидов, HV 0,02	1500	1500	3000	1300
Относительная износостойкость	2,5	5	10	1

### Литература

1. Геден, М.В. Термическая обработка валков холодной прокатки / М.В. Геден, Г.П. Соболев, И.В. Паисов. – М.: Металлургия, 1972. – 234 с.
2. Винокур, Б.Б. Структура конструкционной легированной стали / Б.Б. Винокур, В.Л. Пилюшенко, О.Г. Касаткин. – М.: Металлургия, 1983. – 216 с.
3. Винокур, Б.Б. Прочность и хрупкость конструкционной легированной стали / Б.Б. Винокур, В.Л. Пилюшенко. – Киев : Наукова думка, 1983. – 283 с.
4. Бельский Е. И. Стойкость кузнечных штампов. – Минск: Наука и техника, 1975. -239 с.
5. Состояние и пути развития штамповочного производства // Технология и оборудование кузнечно-штамповочного производства: Экспресс-информ. 1978-№33, реф. 171.-С. 1-8. 155
6. Журавлев, В. Н. Штампы для горячего деформирования, режимы и способы их изготовления. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1976. - 55 с.
7. Крылова, С.Е. Оптимизация состава и режимов термической обработки среднелегированной стали для условий сложного износа. Автореф. дис. на соиск. учен.степ. к.т.н. / С.Е. Крылова. – Оренбург, 2009. – 17 с.
8. Соколов, С.О. Экономнолегированная сталь для валков горячей прокатки высокопроизводительных станов: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Оренбург. – 2012. – 19 с.
9. Зинковский, М.М. Охрана труда в черной металлургии. Краткий справочник металлурга / М.М. Зинковский, В.Н. Бринза. – М.: Металлургия, 1982. – 336 с.

### References

1. Gedeon, M.V. Termicheskaya obrabotka valkov xolodnoy prokatki / M.V. Gedeon, Q.P. Sobol, I.V. Paisov. – M.: Metallurgiya, 1972. – 234 s.
2. Vinokur, B.B. Struktura konstrukcionnoy legirovannoy stali / B.B. Vinokur, V.L. Pilyushenko, O.Q. Kasatkin. – M.: Metallurgiya, 1983. – 216 s.
3. Vinokur, B.B. Prochnost i xrupkost konstrukcionnoy legirovannoy stali / B.B. Vinokur, V.L. Pilyushenko. – Kiev : Naukova dumka, 1983. – 283 s.
4. Belskiy E. I. Stoykost kuznechnix shtampov. – Minsk: Nauka i texnika, 1975. -239 s.
5. Sostoyaniya i puti razvitiya shtampovochnogo proizvodstva //Texnologiya i oborudovanie kuznechno-shtampovochnogo proizvodstva: Ekspres-inform. 1978-№33, ref. 171.-S. 1-8. 155
6. Juravlev, V. N. Shtampı dlya qoryachego deformirovaniya, rejimi i sposobi ix izgotovleniya. – M.: ChNİ-İTEİtraktoroselxozmash, 1976. - 55 s.
7. Krilova, S.E. Optimizachiya sostava i rejimov termicheskoy obrabotki srednelegirovannoy stali dlya usloviy slojnogo iznosa. Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. k.t.n. / S.E. Krilova. – Orenburq, 2009. – 17 s.
8. Sokolov, S.O. Ekonomnolegrovannaya stal dlya valkov qoryachey prokatki visokoproizvoditelnix stanov: Avtoref. dis. kand. texn. nauk. – Orenburq. – 2012. – 19 s.
9. Zinkovskiy, M.M. Oxrana truda v chernoy metallurgii. Kratkiy spravochnik metallurga / M.M. Zinkovskiy, V.N. Brinza. – M.: Metallurgiya, 1982. – 336 s.

## ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: ПОНЯТИЕ, ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, РОЛЬ И МЕСТО В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Стрих Николай Иванович*

*д.т.н., профессор Сургутского государственного университета*

## INDUSTRIAL SAFETY: CONCEPT, KEY ELEMENTS, ROLE AND PLACE IN THE SYSTEM OF LIFE SAFETY

*Strih Nikolay Ivanovich*

*Doctor of technical Sciences, professor Surgut state university  
Surgut*

### *АННОТАЦИЯ*

Анализ проблем обеспечения безопасности на промышленных предприятиях показывает необходимость разработки комплексной системы промышленной безопасности. Это и определило выбор цели и задач научного исследования. В статье рассмотрены основные элементы промышленной безопасности.

### *ABSTRACT*

Analysis of security problems at the industrial enterprises reveals the need to develop an integrated system of industrial safety. This determined the choice of the purpose and objectives of the research. The article describes the main elements of industrial safety.

**Ключевые слова:** опасный производственный объект, авария, промышленная безопасность, система промышленной безопасности.

**Key words:** hazardous production facilities, accident, industrial safety, industrial safety system.

Изучение сложившейся в нашей стране системы управления и организации работ по промышленной безопасности выявило ее несоответствие производственным целям, способам ведения работ и методам управления производством. Типичным в организации работ по промышленной безопасности явилось стремление к соблюдению не увязанных, иногда взаимоисключающих требований различных законодательных и нормативных документов без учета целей и задач производства, без системы мотивации и экономического стимулирования.

Низкая реальная стоимость жизни работника (прямые выплаты организаций в случае смертельного исхода редко превышали среднемесячную зарплату погибшего) делала экономически неоправданным и потому формальным вложение средств в промышленную безопасность на предприятиях.

При переходе к рынку возникают принципиально новые производственные отношения, новые формы организации работ, которые выявляют не только актуальность, но и научную и практическую потребность данного исследования, прежде всего – для руководителей предприятий разных форм собственности. Именно им надо определять для себя технологию обеспечения промышленной безопасности, которая включает подбор кадров для высокопроизводительной и безаварийной работы, учет влияния выбранной технологии обеспечения безопасности труда на основные технико-экономические показатели работы предприятия, а также пределы экономической и юридической ответственности в рамках выбранного подхода.

Современный уровень производства характеризуется наличием производственных объектов, представляющих потенциальную опасность жизни и здоровью людей, их имуществу, среде обитания.

Потенциальные опасности таких объектов заключаются в возможных выбросах едких, ядовитых или радиоактивных веществ, взрывах и пожарах, разрушений зданий, сооружений, технических устройств и массивов горных пород, а также других опасных явлениях, возникающих при авариях.

*Опасный производственный объект* – производственный объект (предприятие или его цех, участок, площадка, а также иной производственный объект), представляющий потенциальную опасность жизни и здоровью людей, их имуществу и природной среде, которая может реализоваться в результате аварии.

Составляющие опасного производственного объекта – участки, устройства, установки, цехи, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или административному признаку и входящие в состав опасных производственных объектов.

*Авария* – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, неконтролируемый взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Аварии на опасных производственных объектах представляют угрозу жизни и здоровью, как работников предприятий, так и других граждан, которые могут находиться

в зоне действия опасности. При подобных авариях может быть нанесен ущерб имуществу третьих лиц (граждан и организаций), природной среде.

Под промышленной безопасностью опасных производственных объектов понимается состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий.

*Промышленная безопасность* – система мер по защите жизни и здоровья персонала предприятий и других граждан, имущества граждан и организаций, окружающей природной среды от вредных и опасных факторов, имеющих место при авариях на опасных производственных объектах.

Основными задачами промышленной безопасности являются: предотвращение аварий; минимизация ущерба, наносимого вредными и опасными факторами, сопровождающими аварии; ликвидация последствий аварий и компенсация ущерба [3]. Решение данных задач базируется на законодательных и нормативных актах, в которых

сформулированы основные требования промышленной безопасности и обозначены механизмы обеспечения промышленной безопасности.

Правильное определение руководством предприятия направлений развития системы управления промышленной безопасностью является одним из главных условий для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Принять правильное управленческое решение возможно только, опираясь на точные, детально проработанные и проверенные данные [1, с.25].

*Система промышленной безопасности* – совокупность взаимосвязанных элементов, взаимодействующих между собой таким образом, чтобы производственный объект выполнял производственные функции при условии обеспечения безопасности персонала и населения, природной среды.

Основные элементы системы промышленной безопасности приведены на рисунке 1.

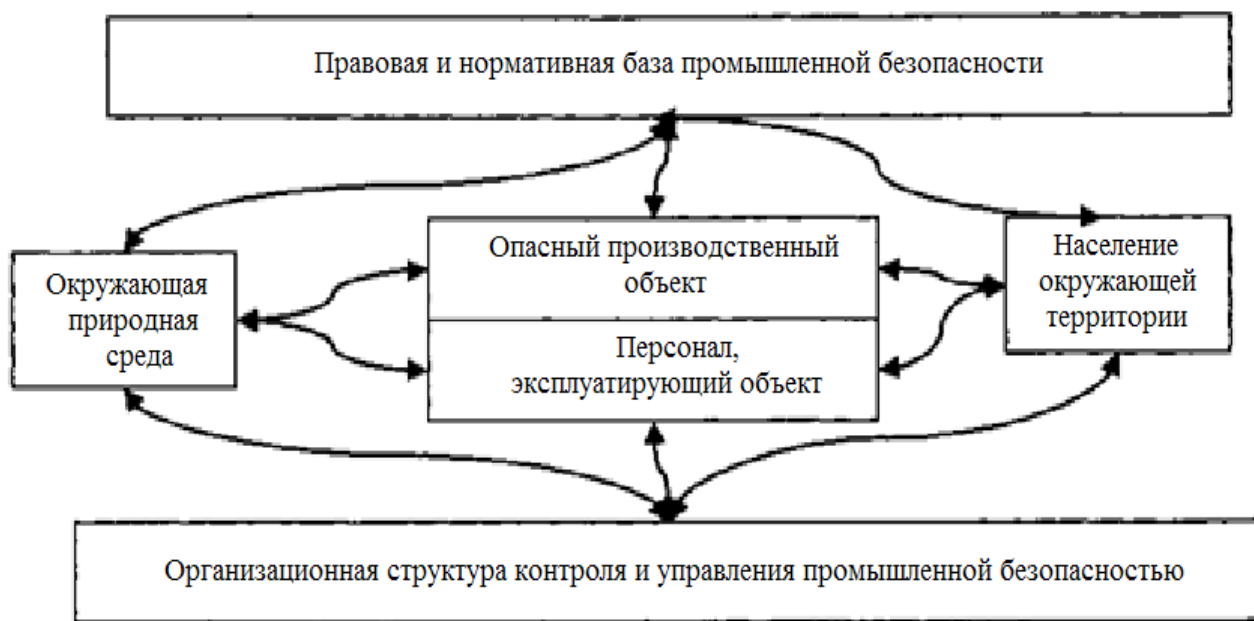


Рисунок 1. Система промышленной безопасности

*Персонал, эксплуатирующий опасный производственный объект* – квалификация, уровень трудовой и производственной дисциплины – непосредственно влияет на безопасное функционирование объекта. Ошибочные действия персонала, нарушение правил техники безопасности и требований промышленной безопасности могут явиться непосредственной причиной аварий. Одновременно аварии на опасном объекте в первую очередь представляют угрозу персоналу данного объекта.

*Правовая и нормативная база* – совокупность законодательных и нормативных актов, содержащих правила, нормы и требования промышленной безопасности. Состояние законодательной и нормативной базы определяется уровнем социально – экономических отношений в обществе.

*Организационная структура управления* включает государственные органы управления промышленной безопасностью; системы управления промышленной безопасностью в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты; надзор и контроль за состоянием опасных производственных объектов, выполнением требований безопасности; совокупность методов и механизмов управления промышленной безопасностью.

Функционирование системы промышленной безопасности следует рассматривать, учитывая, что все элементы, образующие систему, существуют совместно и влияют друг на друга [2].

Промышленная безопасность является неотъемлемым элементом системы безопасности жизнедеятельности [3].



Промышленная безопасность интегрирует некоторые аспекты охраны труда (поскольку решает проблемы защиты работников опасного производственного объекта), гражданской обороны (поскольку обеспечивает безопасность населения, находящегося в зоне потенциальной опасности) и экологии (поскольку предотвращает ущерб природной среде). Кроме того, промышленная безопасность тесно взаимосвязана с охраной труда, гражданской обороной и экологией, потому что причинами аварий могут быть нарушения требований техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной безопасности, стихийные бедствия, социально- и военно-полити-

ческие конфликты, террористические акты и т.п. Поэтому промышленная безопасность включает комплекс мер и средств обеспечения безопасности, входящих в состав охраны труда, гражданской обороны и экологии.

Вместе с тем промышленная безопасность решает специфические задачи. Сфера ее ограничена проблемами, связанными с чрезвычайными ситуациями на опасных производственных объектах, а также авариями (независимо от их причин) и их последствиями.

Роль и место промышленной безопасности в системе безопасности жизнедеятельности показаны на схеме, приведенной на рисунке 2.

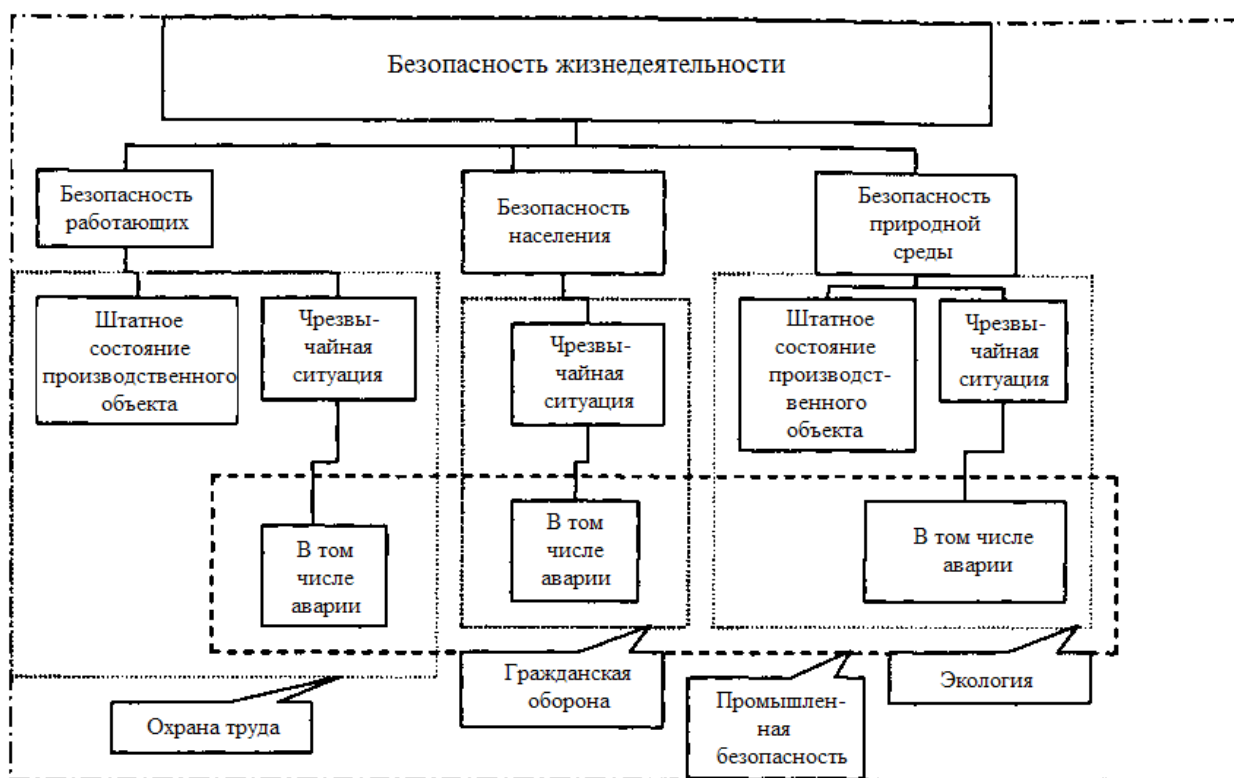


Рисунок 2. Система безопасности жизнедеятельности

Управление промышленной безопасностью – осознанный перевод опасного производственного объекта из опасного состояния в менее опасное, заключающийся в оптимизации деятельности по критериям промышленной безопасности.

#### Список литературы:

1. Ковалев, М.Н. Структура анализа функционирования системы управления промышленной безопасностью для принятия правильного управленческого решения / М.Н. Ковалев, А.И. Гусев // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 7. – С. 25-26.

2. Промышленная безопасность в условиях изменения законодательства // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 83-85.
3. Теплое, А. Промышленная безопасность предприятий / А. Теплое // Комбикорма. – 2006. – № 1. – С. 27-29.

## ВОЛЬТ-ФАРАДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДОБРОТНОСТЬ ВАРИКАПОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ GaAs СТРУКТУР

Сурайкин Александр Иванович

канд. техн. наук, доцент Мордовского Государственного Университета Саранск

## CAPACITANCE-VOLTAGE BEHAVIORS AND QUALITY FACTOR OF VARACTOR DIODES ON THE BASES MULTILAYER EPITAXIAL GaAs COMPOSITION

Suraykin Alexander

Candidate of Science, associate professor of Mordovian State University Saransk

### АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты разработки и исследования полупроводниковых, мезаэпитаксиальных GaAs-варикапов для широкого применения в высокочастотной аппаратуре. Приводятся общие технические требования к GaAs-варикапам, а также основные электрические параметры и характеристики экспериментальных образцов мезаэпитаксиальных GaAs-варикапов.

### ABSTRACT

The article provides results of design and research semiconductor, mesaepitaxial GaAs-varactor diodes for a consumer application in high-frequency equipments. Provides total technical features for GaAs-varactor diodes and purpose electrical characteristics of experimental mesaepitaxial GaAs-varactor diodes.

**Ключевые слова:** Арсенид галлия, варикап, мезаэпитаксиальная структура, ёмкость, добротность, вольт-фарадная характеристика.

**Keywords:** Gallium arsenide, varactor diode, mesaepitaxial conformation, capacitance, quality factor, capacitance-voltage behavior.

Полупроводниковые приборы с управляемой ёмкостью, работающие в широком диапазоне управляющего напряжения и широком диапазоне рабочих температур представляют собой одно из перспективных направлений развития электронной компонентной базы (ЭКБ) ВЧ-электроники. Разработка и производство подобных приборов возможно на основе многослойных эпитаксиальных GaAs-структур.

Применение GaAs для производства варикапов актуально ещё и тем, что он в некотором смысле отвечает приближению идеального полупроводника для варикапов. Идеальный полупроводник для варикапа должен иметь те или иные носители заряда с высокой подвижностью, обладать низкой диэлектрической проницаемостью, широкой запрещённой зоной, низкой энергией ионизации примесей и высокой теплопроводностью. Эти параметры обеспечивают минимальное сопротивление, минимальную ёмкость, небольшой ток насыщения, а также возможность работы при повышенных температурах.

Как за рубежом, так и на ряде Российских предприятий имеется технология производства многослойных эпитаксиальных GaAs-структур. На сегодняшний день на основе таких структур разработаны быстродействующие, высоковольтные *p-i-n*-диоды для преобразовательной и импульсной техники [1, с. 35-37]. Применение технологии производства быстродействующих, высоковольтных *p-i-n*-диодов для изготовления мезаэпитаксиальных GaAs-варикапов позволяет создать необходимые предпосылки для

разработки высокодобротных варикапов с широким диапазоном рабочего напряжения.

Использование в GaAs-диодных структурах зависимости барьерной емкости от приложенного обратного напряжения, с последующим нормированием этой зависимости, позволяет реализовать такой полупроводниковый прибор, как варикап. Характер этой зависимости, то есть вольт-фарадной характеристики (*ВФХ*), определяется видом распределения концентрации примесей в области объемного заряда *p-n*-перехода и, соответственно, методом его изготовления. Эти зависимости получены аналитически и достаточно известны как для резких *p-n*-переходов, так и для плавных *p-n*-переходов [2]. В данной работе приведены результаты разработки и исследования варикапов на основе технологии формирования мезаэпитаксиальных диодных GaAs-структур с резким *p-n*-переходом.

Основные требования к мезаэпитаксиальным GaAs-варикапам для ВЧ-аппаратуры кратко можно представить в следующем виде:

- ёмкость варикапа при обратном напряжении -  $U_R=4$  В: 220÷280 пФ (первый вариант исполнения - одиночные кристаллы), 55÷80 пФ (второй вариант исполнения - два варикапа на одном кристалле);
- добротность варикапа при обратном напряжении -  $U_R=4$  В: не менее 200 (первый вариант исполнения - одиночные кристаллы), не менее 120 (второй вариант исполнения - два варикапа на одном кристалле);

- коэффициент перекрытия по ёмкости варикапа (отношение ёмкости варикапа при  $U_R=4$  В к ёмкости варикапа при  $U_R=100$  В): не менее 3,5;
  - постоянный обратный ток варикапа при  $U_R=100$  В в рабочем диапазоне температур: не более 1 мкА;
  - рабочий диапазон температуры окружающей среды от -60 до +85 °С.
- Структура кристалла мезаэпитаксиального *GaAs*-варикапа приведена на рисунок 1.

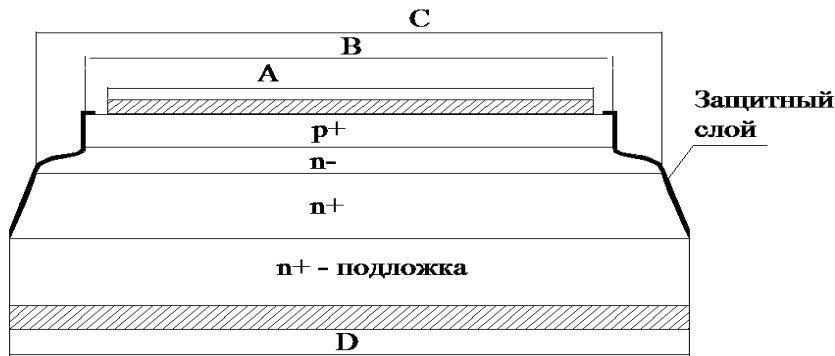


Рисунок 1. Структура кристалла *GaAs*-варикапа (A – контакт анода, B – анодная область ( $p^+$ ), C – высокоомная  $n^-$  – область, D – катод); в качестве защитного слоя могут использоваться диэлектрические плёнки  $SiO_2$  и  $Si_3N_4$ , а также полимерные материалы типа фотоимидов

Структура, приведённая на рисунке 1 формируется методами жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ). Полученные эпитаксиальные  $p^+ - n^- - n^+ - n^+$ -структуры имеют несколько металлургических переходов внутри структуры [3, с. 36-47].

Физическая структура и распределение концентрации в  $p^+ - n^- - n^+ - n^+$  - структуре кристалла варикапа приведена на рисунке 2. Принимая в расчёт общую протяжённость эпитаксиальных областей и подложки *GaAs*-варикапа такой, как показано на рисунке 2, то на переходах  $x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}$  возникают диффузионные потенциалы, сумма которых даёт полное диффузионное напряжение такое же, как и на *GaAs* *p-i-n*-диоде при  $T=300$  K [1, с. 35–37]:

$$U_D = U_{j1} + U_{j2} + U_{j3} \leq 1,2\hat{A}. \quad (1)$$

Так как варикап представляет собой, прежде всего, диодную структуру, то практически все параметры, включая присущие непосредственно варикапам, определяются удельным сопротивлением и толщиной высокоомного эпитаксиального слоя. В этом факте содержится как положительный момент (весь расчёт варикапа мы можем свести к расчёту параметров высокоомного эпитаксиального слоя), так и небольшой минус: неконтролируемое изменение параметров высокоомной эпитаксиальной плёнки, а также параметры всех остальных эпитаксиальных слоёв, включая паразитные сопротивления металлических контактов приводят к заметному разбросу ряда электрических параметров, таких как ёмкость, добротность.

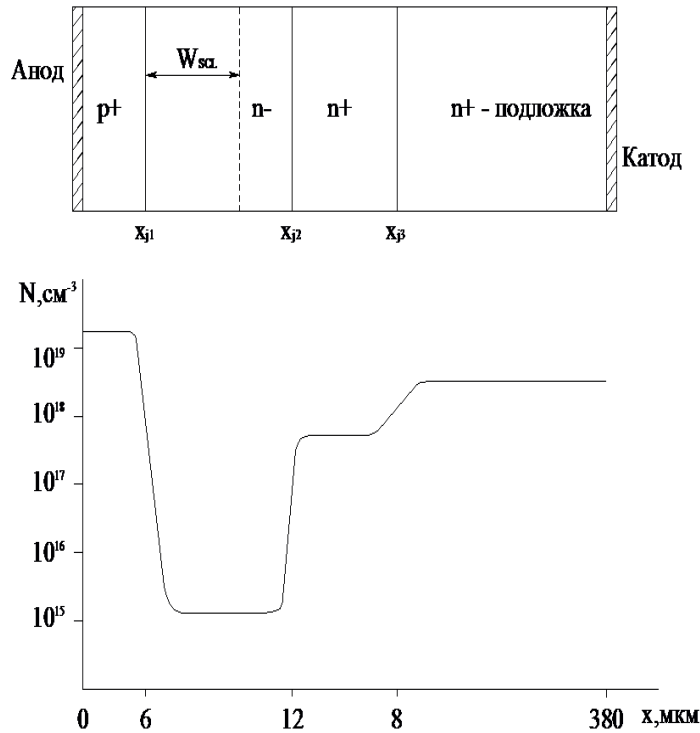


Рисунок 2. Физическая структура и распределение концентрации носителей заряда в структуре GaAs-варикапа ( $W_{SCL}$  – область пространственного заряда в высокоомном эпитаксиальном слое)

Поэтому, в конечном итоге только исследование экспериментальных образцов варикапов с последующей нормировкой значений электрических параметров позволяет оптимизировать структуру кристалла варикапа.

Используя формулу плоского конденсатора, для структуры, приведённой на рисунке 2 можно записать:

$$C_D = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S_p}{W_{SCL}(U_R)} \quad (2)$$

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость GaAs;  
 $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  
 $S_{pn}$  – площадь p-n-перехода варикапа;  
 $W_{SCL}$  – ширина области пространственного заряда высокоомного эпитаксиального слоя (базы), зависящая от приложенного обратного напряжения-  $U_R$ .

Учитывая, что разрабатываемые варикапы на основе GaAs выполнены полностью по эпитаксиальной технологии с разностью концентраций в несколько порядков, то вполне приемлемо приближение «Резкого» асимметричного p-n-перехода. Для такого перехода, в приближении обеднения (при обратных напряжениях), ёмкость можно аппроксимировать следующим соотношением [4, с. 80-88]:

$$C_D = S_p \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot N_D}{2 \cdot (U_p^* + U_R)}} \quad (3)$$

$N_D$  – концентрация донорной примеси в базовой области варикапа (высокоомном эпитаксиальном слое);

$U_{pn}^*$  – контактная разность потенциалов p-n-перехода варикапа.

Принимая во внимание то, что ёмкость варикапов ( $C_{VD}$ ) и диапазон обратных напряжений ( $U_R$ ), как правило, оговариваются в исходных технических требованиях, а контактную разность потенциалов –  $U_{pn}^*$  можно вычислить в соответствии с (1), то на основании (3) можно определить в первом приближении площадь варикапов при уровне легирования базовой области  $(1 \div 2) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ :

$$S_{pn} = C_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (U_p^* + U_R)}{q \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot N_D}} \quad (4)$$

Использование соотношения (4) при разработке варикапов удобно тем, что одну и ту же структуру мы можем использовать для изготовления двух типов варикапов.

а) При обратном напряжении  $U_R=4$  В и ёмкости  $C_{VD}=250$  пФ мы получим значение площади p-n-для первого варианта исполнения варикапа –  $S_{pn} \approx 5,5 \text{ мм}^2$ ;

б) При обратном напряжении  $U_R=4$  В и ёмкости  $C_{VD}=68$  пФ мы получим значение площади p-n-для второго варианта исполнения варикапа –  $S_{pn} \approx 1,6 \text{ мм}^2$ .

Толщину высокоомного эпитаксиального (базового) слоя  $h_{\text{Берп}}$  выберем исходя из условия, что данная величина должна быть больше ширины области пространственного заряда (ОПЗ)  $W_{SCL,max}$  при максимальном обратном напряжении  $U_{R,max}$  (5).

$$h_{Bepi} > W_{SCLmax} = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (U_p^* + U_{Rmax})}{q \cdot N_D}}$$

Согласно (5), при  $U_{Rmax} = 100$  В, получим  $W_{SCLmax} \approx 12$  мкм.

Таким образом, на основании полученных данных выбор толщины высокоомного эпитаксиального (базового) слоя  $h_{Bepi} > 12$  мкм вполне приемлем.

Все вышеприведённые параметры – концентрация донорной примеси в базовой области варикапа, толщина эпитаксиального слоя базовой области варикапа непосредственно связаны с величиной добротности (6).

$$Q = \frac{X_C}{R_D} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_D \cdot R_D} \quad (6)$$

$X_C = 1/(\omega \cdot C_{VD})$  – реактивное сопротивление варикапа;  
 $C_{VD}$  – общая ёмкость варикапа при некотором заданном обратном напряжении  $U_R$ ;

$f = 50$  МГц – частота переменного напряжения, на которой осуществляется измерение добротности при некотором заданном обратном напряжении  $U_R$ ;

$R_{VD}$  – общее активное сопротивление структуры варикапа, с приемлемой точностью можно принять равным сопротивлению базовой области варикапа (сопротивлением контактов и высоколегированных областей можно пренебречь).

С учётом вышесказанного, общее активное сопротивление структуры варикапа [5, с. 147–303]:

$$R_D \approx R_B = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_D} \cdot \frac{W_B}{S_p} = \rho_B \cdot \frac{W_B}{S_p}$$

$$\rho_B = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_D}$$

удельное сопротивление базовой области варикапа;  
 $S_{pn}$  – площадь  $p-n$ -перехода варикапа;  
 $W_B$  – толщина квазинейтральной области базы варикапа.

Толщину квазинейтральной области базы варикапа можно вычислить следующим образом (рисунок 2):

$$W_B = h_{Bepi} - W_{SCL} = x_{j2} - x_{j1} - W_{SCL}$$

$h_{Bepi}$  – толщина эпитаксиального слоя базовой области;  
 $W_{SCL}$  – ширина ОПЗ в базовой области варикапа.

Соотношение (7) показывает преимущества применения полупроводниковых материалов с высокой подвижностью носителей заряда для изготовления варикапов. В данном случае, применение *GaAs* для изготовления варикапов со структурой, приведённой на рисунке 1 обеспечивает подвижность электронов в базовой области –  $\mu_n \approx 5000$  см<sup>2</sup>/В.с (для сравнения, в кремнии –  $\mu_n \approx 1420$  см<sup>2</sup>/В.с). Это обеспечивает более низкие, по сравнению с *Si*, значения полного активного сопротивления варикапов и, как следствие, на основании (6), более высокие значения добротности *GaAs*-варикапов.

Следует отметить, что и при расчёте, и при измерении толщины и удельного сопротивления базового слоя варикапа имеет место существенная погрешность. Кроме всего, что связано непосредственно с объёмом структуры варикапов на параметры существенное влияние оказывает поверхность («Меза»-область), где имеют место нарушения кристаллической структуры и, как следствие, высокая плотность зарядовых состояний. Структура «Меза»-области приведена на рисунке 3.

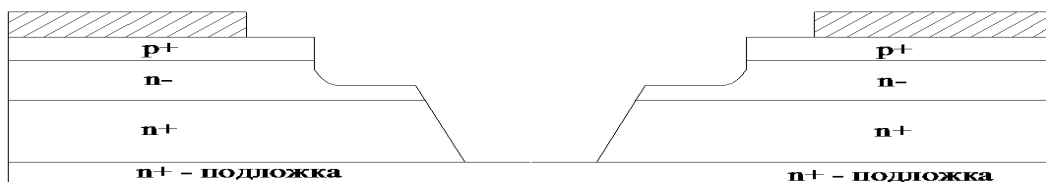


Рисунок 3. Структура «Меза»-области кристаллов варикапов



Поэтому на практике, чаще всего сопротивление  $R_{VD}$  устанавливают экспериментальным путём на основе измерения динамического сопротивления прямой ветви вольт-амперной характеристики ( $ВАХ$ ) варикапа.

После сборки экспериментальных образцов  $GaAs$ -варикапов (корпус типа ТО-251), было проведено исследо-

вание их  $ВАХ$  и  $ВФХ$ . Также было проведено измерение добротности.

$ВФХ$  10 шт. экспериментальных образцов варикапов первого типа (одиночные кристаллы) при  $T=300\text{ K}$  приведены на рисунке 4.

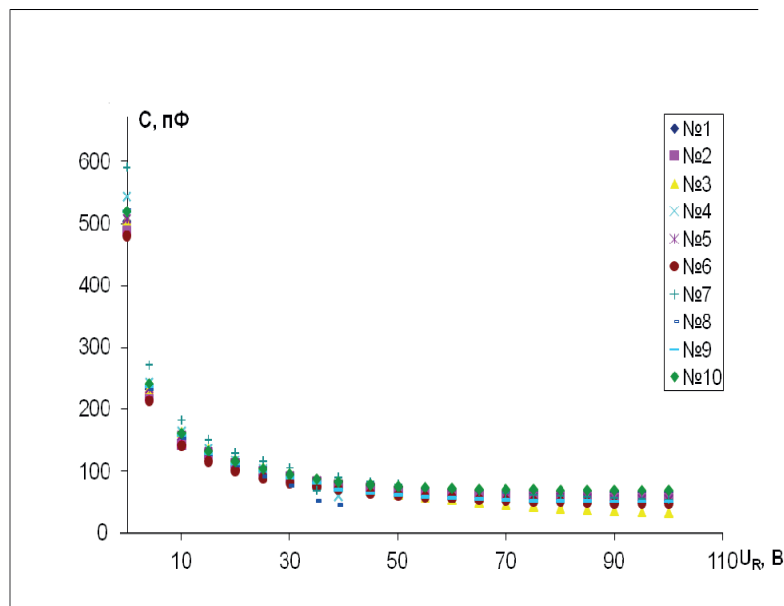


Рисунок 4.  $ВФХ$  10 шт. экспериментальных образцов  $GaAs$ -варикапов первого типа (одиночные кристаллы) при  $T=300\text{ K}$

Исследуя рисунок 4, можно отметить, что линейность  $ВФХ$  наблюдается практически во всём рабочем диапазоне обратных напряжений, начиная от 4 В и до 100 В. Лишь на участке менее 4 В наблюдается резкое возрастание ёмкости, но это не регламентированный для работы интервал обратных напряжений.

$ВФХ$  10 шт. экспериментальных образцов варикапов второго типа (сдвоенные кристаллы) при  $T=300\text{ K}$  приведены на рисунке 5.

Рисунок 5 показывает результат, аналогичный предыдущему (рисунок 4) с точки зрения линейности характеристики. Отличие в том, что величина ёмкости данного варикапа ниже, чем у предыдущего варианта (измерения проводились на одном, произвольно выбранном варикапе).

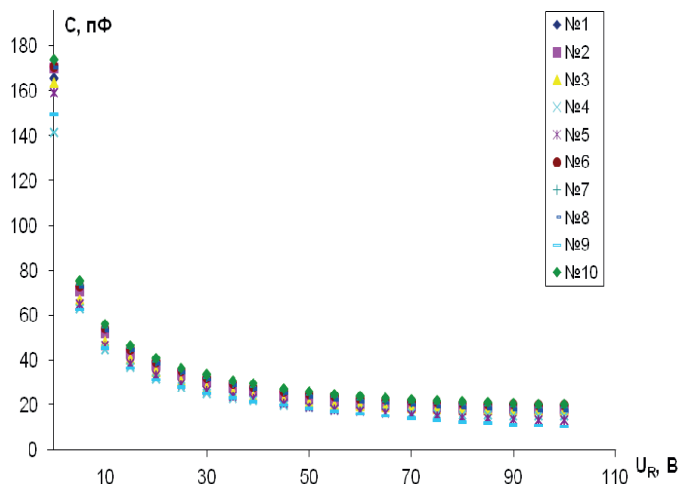


Рисунок 5.  $ВФХ$  10 шт. экспериментальных образцов  $GaAs$ -варикапов второго типа (два варикапа)

на одном кристалле) при  $T=300\text{ K}$

Измерение добротности варикапов, а также зависимости добротности от частоты проводилось измерителем добротности E4-11. результаты измерения приведены на рисунках 6 и 7.

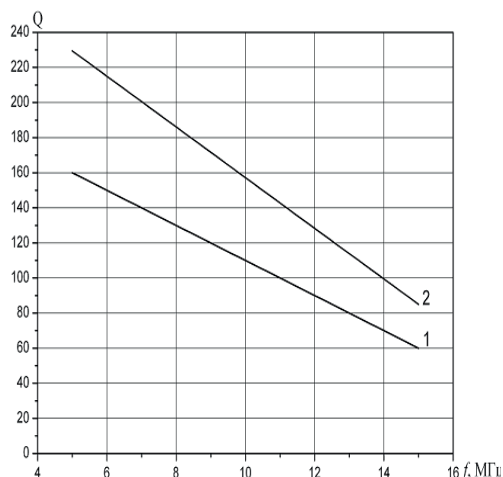


Рисунок 6. Аппроксимированная зависимость добротности варикапов первого типа от частоты (1-варикапы со средней ёмкостью 350 пФ, 2- варикапы со средней ёмкостью 250 пФ)

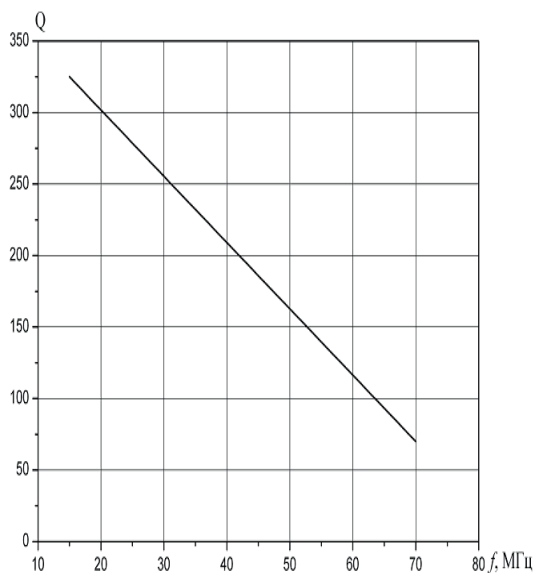


Рисунок 7. Аппроксимированная зависимость добротности варикапов второго типа от частоты (среднее значение ёмкости 68 пФ)

Таким образом, в проведённой работе выполнен расчёт физической структуры мезаэпитаксиальных *GaAs*-варикапов двух типов: однокристалльный вариант и вариант с двумя варикапами на одном кристалле. Изготовлены экспериментальные образцы мезаэпитаксиальных *GaAs*-варикапов, проведены исследования их электрических параметров и характеристик.

В результате исследования электрических характеристик мезаэпитаксиальных *GaAs*-варикапов, включая *ВАХ* и *ВФХ* установлено, что полученные зависимости позволяют использовать их наряду с кремниевыми варикапами в радиотехнической аппаратуре общепромышленного применения. Более широкий диапазон рабочих напряжений мезаэпитаксиальных *GaAs*-варикапов позволяет применять их более широко, включая высоковольтную аппаратуру. Полученные значения добротности варикапов, величины которых превосходят добротности аналогичных кремниевых варикапов обеспечивают возможность применения мезаэпитаксиальных *GaAs*-варикапов в *ВЧ*- и *СВЧ*-аппаратуре.

#### Список литературы:

1. А. И. Сурайкин. Быстродействующие высоковольтные *GaAs*-диоды для преобразовательной техники и импульсных устройств // Электроника и электрооборудование транспорта. № 2, 2015 – С. 35-37.
2. А. И. Сурайкин, Е. Н. Федотов. Быстродействующие, высоковольтные *GaAs* диоды для силовой электроники // Электронное периодическое издание «Огарев-online», Технические науки, вып. 22. Режим доступа: [http://appmath.mrsu.ru/ogarev\\_online](http://appmath.mrsu.ru/ogarev_online)
3. Арсенид галлия. Получение, свойства, применение / Под ред. Ф. П. Кесаманлы, Д. Н. Наследова. – М.: Наука, 1973. С. 36-47.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ.- 2-е перераб. и доп. изд.- М.: Мир, 1984. С. 80-88.

## НЕИЗВЕСТНАЯ РАНЕЕ ОБЪЕКТИВНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ

**Суторихин Владимир Анатольевич**  
Главный специалист ООО «ДИАД»

## UNKNOWN EARLIER OBJECTIVE REGULARITY

**Sutorihin Vladimir Anatolievich**  
Main specialist L.t.d "RIAD"

### АННОТАЦИЯ

Новое явление, обнаруженное авторами, названо «эффект Горбунова» в честь нашего руководителя, впервые предложившего новый метод дистанционного обнаружения сигналов Акустической Эмиссии на поверхности металла. Он не дождался окончания результатов наших опытов, но их результаты превзошли все ожидания. Впервые был обнаружен аномально высокий коэффициент преобразования ультразвуковых колебаний в «волны» поверхностной проводимости. Наблюдение открытия возможно при взаимодействии ультразвука с «активными» дефектами металлов. Время «жизни» составляет промежуток от нескольких минут до сотен часов.

### ABSTRACT

A new phenomenon discovered by the authors, called "the effect of Gorbunova" in honor of our leader, first proposed a new method of remote detection of Acoustic Emission signals on the surface of the metal. He did not live to see the end results of our experiments, but the results exceeded all expectations. For the first time was an anomalously high conversion factor of ultrasonic oscillations in the "wave" surface conductivity. Observation of the opening is possible if the interaction of ultrasound with active defects in metals. The life span is a period from several minutes to hundreds of hours.

**Ключевые слова:** волны поверхностной проводимости, эффект Горбунова, активные дефекты металла.

**Key words:** wave surface conductivity, the effect Gorbunov, active defects in the metal.

### Введение

Наиболее близким наблюдаемому явлению может служить хорошо известный эффект Азбеля-Кантора, феноменологически объясненный А. Пипардом [4]. Для температур жидкого гелия они продемонстрировали, что в магнитном поле, приложенном параллельно исследуемой металлической (медной) поверхности, можно наблюдать изменение коэффициента отражения СВЧ энергии (в несколько раз) от величины приложенного магнитного поля. Известное значение коэффициента отражения  $\rho = \text{mod}(\sigma, \omega, \epsilon)^{\varphi(\sigma, \omega, \epsilon)}$ , где  $\text{mod}(\sigma, \omega, \epsilon)$  - модуль  $\rho$ , проводимость- $\sigma$  (1/сек),  $\omega$ -частота СВЧ (Гц),  $\epsilon$ - диэлектрическая проницаемость металла,  $\varphi$ - фаза коэффициента отражения, функция тех же переменных  $(\sigma, \omega, \epsilon)$  [Users/Home/Desktop/коэффициент%20отражения.html, Отражение света от металлической поверхности. Оптические характеристики металлов.], является векторной величиной. Его изменение во времени было принято как следствие переменного значения поверхностной проводимости СВЧ ( $\sigma$ ,  $\omega = 25$  ГГц) при вариациях магнитного поля. Следует подчеркнуть, что переменная величина коэффициента отражения складывалась из двух величин, незначительного изменения модуля ( $d\rho/d\sigma \approx 0$ ) и значительного изменения фазы ( $d\varphi/d\sigma \neq 0$ ) коэффициента отражения. В нашем случае тоже наблюдается переменная величина фазы коэффициента отражения СВЧ поля (33 ГГц). Но нет условия сверхнизких температур и переменного магнитного поля. Необходимо лишь присутствие «активных» дефектов и ультразвука небольшой мощности (5-8 Вт/см<sup>2</sup>). Мы называем «активными» те области металла, которые генерируют акустиче-

ские (упругие) волны во время нагружения. Термин введен при описании параметров Акустической Эмиссии. Означает, что активность источника (скорость счета) линейная функция приложенных механических усилий. В процессе наших исследований оказалось, что эти области особым образом взаимодействуют с упругими колебаниями вспомогательного ультразвука. Являются причиной появления поверхностных волн проводимости. Таких, как в опытах Азбеля-Кантора.

Впервые убедившись в наличии волн проводимости (поверхностной проводимости), сопровождающих эффект Горбунова, авторы были удивлены простотой условий их появления, отсутствием сверхнизких температур, переменных магнитных полей.

### Практические результаты

Похожий результат не означает идентичность причин появления нового явления. Не следует забывать, что прежний феномен, обнаруженный в начале прошлого века (1930-1934), был возможен только при гелиевых температурах и переменном магнитном поле. Полностью исчезал для температур выше 20 градусов Кельвина. Наш эффект наблюдается при температурах до 600 градусов Цельсия (900 градусов Кельвина). Сохраняется для металлов получивших «активные» дефекты и после прекращения механических нагрузок в спокойном состоянии на протяжении от десятка секунд до сотен часов [3].

Наблюдаемое явление не может быть объяснено с точки зрения известной теории [1]. Существует лишь гипотеза, выдвинутая российскими учеными [2]. Они обосновали

появление электрических зарядов внутри металла, подверженного механическим деформациям на основе теоремы вириала. По их мнению тогда становится возможным появление волн поверхностной проводимости, возникающих в ответ на механическое воздействие (упругие колебания) заряженных областей. Поскольку скорость распространения электрического поля значительно выше скорости ультразвука (в тысячи раз) волны проводимости регистрируются без заметных изменений спектральной плотности на всей поверхности металла. Существующая гипотеза не объясняет, какой должна быть продолжительность «жизни» появившихся зарядов, плотность их распределения, возможность «реактивации» после исчезновения? Какая функциональная связь возможна между мощностью возбуждающего ультразвука и спектральной плотностью регистрируемой поверхностной волны проводимости? Излучается ли эта волна в пространство вокруг металлического объекта? Возможно ли «обратное преобразование»? Превращение поверхностной волны проводимости в упругие механические колебания металла?

Поставленные вопросы, пути их решения не исчерпываю всех вариантов исследования нового явления. Материала хватит на много лет работы небольшого коллектива. Некоторые из вопросов нам удалось решить уже сейчас. Множество экспериментальных результатов по определению «активных» дефектов, считающихся опасными, привели нас к необходимости совершенствования приборов. Если вначале исследований чувствительность СВЧ сенсора позволяла наблюдать полезный сигнал от имитатора переменной проводимости величиной 20-25 дБ выше шумов.

Учитывая те экономические трудности, проблемы в экономике проделанная работа может считаться достаточно полной для дальнейшего внедрения в практику. Новый метод диагностики металлов с помощью радара Доплера в настоящее время испытывает период освоения, определения преимуществ и недостатков. Мы считаем, что именно так, через быстрое внедрение результатов, можно ожидать скорейшего решения остальных задач теоретического плана.

В качестве примера рассмотрим процесс искусственного разрушения стальной полосы 450x40x4 мм на разрывном станке усилием 200 килоньютон (20 тонн) [5]. Для простоты понимания будем сравнивать результаты похожих испытаний методом Акустической Эмиссии (АЭ). Новый метод определения возникающих разрушений (метод Дистанционного Определения Активных Дефектов с помощью радара Доплера) будет описан с использованием необычного понятия – амплитуды спектральной плотности полезного сигнала. Для метода АЭ таким рабочим параметром обычно выбирается «Скорость счета» - непрерывно нарастающий параметр, число срабатываний счетчика регистрируемых акустических сигналов. Испытания начинаются с закрепления стальной полосы между специальными зажимами разрывного станка. Закрепления пьезочувствительного элемента на поверхности полосы. Отличие состоит в том, что для метода АЭ пьезочувствительный элемент выполняет роль приемника, в то время как для нового метода он является генератором ультразвуковой волны, выбранной частоты амплитудой 60-80 Вольт. Очевидно, одновременное использование обеих методов невозможно. Кроме того становится не обязатель-

ным сохранение «абсолютного молчания» так необходимого для метода АЭ. Другой особенностью нового метода является размещение в непосредственной близости от поверхности пластины (80-120 мм) СВЧ сенсора (33 ГГц). Этот прибор по сути является радаром Доплера. Регистрирует появление волны поверхностной проводимости, имеющую частоту ультразвука. Волна проводимости появляется только тогда, когда металлическая полоса начинает испытывать чрезмерную механическую нагрузку, генерирует акустические сигналы. В это же время можно было бы регистрировать эти сигналы методом АЭ. Продолжение процесса механического нагружения сопровождается изменением амплитуда спектральной составляющей ультразвука на выходе СВЧ сенсора. Амплитуда увеличивается. Для метода АЭ нарастает и «скорость счета». В начале пластической деформации амплитуда спектральной составляющей достигает максимума. После образования трещины спектральная плотность мощности снижается. Скорость счета в этом случае достигает максимума. Интересное свойство нового метода диагностики заключается в том, что амплитуда спектральной мощности не исчезает при сбросе нагрузки, как это происходит для скорости счета метода АЭ. Удивительно, но она остается на некотором уровне после значительного периода времени. Может быть обнаружена при вторичном возбуждении металла ультразвуком уже без дополнительного механического воздействия. Мало того, после того как эффект исчезнет его можно снова обнаружить для полученной трещины (опасного эффекта) воспользовавшись методом реактивации Бричкова [6]. Суть метода – нагрев области трещины с последующим быстрым охлаждением. Многочисленные эксперименты с различными металлическими объектами позволяют выявить некоторые особенности, связывающие размеры дефекта, размеры объекта, амплитуду полезной составляющей в спектре выходного сигнала. Размеры опасного дефекта связаны с полезного сигнала и размерами самого металлического объекта. Чем больше полезный сигнал, тем больше объем активных дефектов, но одновременно, чем больше объем исследуемого объекта тем меньше полезный сигнал. Самым большим по размерам является пара ЖД колес. Размер дефекта (искусственно изготовленной трещины) в этом случае составил 34x2x1 мм. Амплитуда сигнала составила 2-3 дБ сигнал/шум для полосы частот регистрации 30 Герц на анализаторе спектра фирмы Rode&Shvarc.

Действительное удивление вызывает то факт, что обнаруженное явление, обладающее рядом неоспоримых преимуществ не было известно раньше. Даже сейчас, критически рассматривая все результаты не перестаешь удивляться – почему не обнаружен аналогичный феномен при исследованиях тепловых волн. По существующей теории электромагнетизма облучение поверхности металла с лазером инфракрасного диапазона ( $10^{11}$ - $10^{14}$  Гц) должно вызывать модулирование отраженного излучения (монокромного, линейно поляризованного, имеющего одну фазу) ультразвуком малой мощности (менее 0,5 Вт/см<sup>2</sup>) если металл содержит активные дефекты. Поскольку частота дополнительного источника ультразвука не ограничена, вполне возможно проводить наблюдение с частотой 5-10 Гц. Следовательно, давно можно было заметить «фазовое

мерцание» такого металла обычным глазом, вооруженным инфракрасным премирником (камерой с инфракрасным объективом). Увы такой феномен пока не замечен. Вероятно это никого не интересует. А описанный эффект еще может быть обнаружен.

#### Список литературы:

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов: Учебное руководство. — Москва: Наука, 1987. — 520 с Б
2. Васильев Б.В., Любошиц В.Л.. Теорема вириала и некоторые свойства электронного газа в металлах (Сессия РАН 23.02.1994 г.), Успехи Физических Наук, 4,(164), 1994, С. 367-374
3. Gorbunov, V. I., & Sutorikhin, V. A. (2012). Microwave Nondestructive Testing Method. Applied Physics Research, 4(1), 206-210. <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v4n1p206>
4. Ландау Л.Д., Zs. Phys., **64**, 629 (1930), Собрание трудов, М., Наука, 1969, т.1., стр.47
5. The Effect Gorbunov In Practice Sutorikhin V. A., Shchedrivyi K. V. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology Vol. 2 Issue 10, October – 2015
6. The Usage of the Microwave Crack Detector for Fatigue Cracks Detection Sutorikhin V. A Applied Physics Research; Vol. 5, No. 5; **2013**, p. 60-66

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ВИНОГРАДНОЙ ВЫЖИМКИ НА ЭКСТРАКЦИЮ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Тихонова Анастасия Николаевна*

*аспирант Кубанского государственного технологического университета  
Краснодар*

## INFLUENCE OF WAYS OF TREATING OF GRAPE POMACE ON THE EXTRACTION OF HIGH-MOLECULAR COMPOUNDS

*Tikhonova Anastasia*

*Graduate of Kuban State Technological University  
Krasnodar*

#### АННОТАЦИЯ

Изучен механический состав выжимок различных сортов и технологий переработки. Выявлено, что наибольшее содержание кожицы ягод было в сладкой выжимке. Осуществлен подбор экстрагента для оптимального сохранения биологически ценных компонентов виноградной выжимки с целью получения продукта, идентичного пищевому волокну, которое в дальнейшем может быть использовано, как центр иммобилизации дрожжей при брожении виноградного сула. Для оптимального извлечения высокомолекулярных соединений и сохранения формы пищевого волокна рекомендовано проводить очистку раствором винной кислоты 2%.

#### ABSTRACT

**Studied mechanical composition of pomace of different varieties and processing technologies** It was found that the highest content of the skin was sweet berries squeeze are done extracting the selection for optimal conservation of biologically valuable components of grape pomace in order to obtain a product of identical dietary fiber, which can later be used as the center of immobilization of yeast during fermentation of grape must. For optimal extraction of high-molecular compounds and maintain the shape of dietary fiber recommended to be cleaned with a solution of tartaric acid 2%.

**Ключевые слова:** виноградные выжимки; экстракция; фенольные соединения; полисахариды; пищевое волокно.

**Keywords:** grape pomace; extraction; phenolic compounds; polysaccharides; dietary fibre.

На винодельческих предприятиях нашей страны актуальным является вопрос переработки отходов производства, 20 % которого составляют виноградные выжимки. Это сырье содержит большое количество биологически ценных компонентов [5]. В последнее время развиваются оригинальные направления использования виноградных

выжимок, например, при производстве виноградного порошка в хлебопечении [4] или полуфабрикатов в виде пасты из виноградных выжимок в кондитерском производстве [1].

Целью данной работы является получение из виноградной выжимки нового продукта, идентичного пищевому



волокну, которое в дальнейшем может быть использовано, как центр иммобилизации дрожжей при брожении виноградного сула. Важным является то, что для производства столового вина будут использованы только природные компоненты самого винограда, а не глинистые, минеральные или синтетические средства иммобилизации. При этом важную роль играет подбор реагентов, которые применяют для очистки кожицы от различных балластных примесей. Учитывая, что с одной стороны необходима максимальная очистка кожицы от фенольных соединений, полисахаридов, а с другой необходимо сохранение в кожице биологически ценных компонентов, которые будут составлять основу будущего пищевого волокна. Известно, что главным компонентом кожицы является целлюлоза [3, с.66], которая химически связана с полифенолами, катионами металлов, пектиновыми веществами, углеводами, в связи с этим необходимо осуществить подбор экстрагента с целью оптимального сохранения биологически ценных компонентов виноградной выжимки.

Объектом исследования были виноградные выжимки, полученные при переработке винограда с отделением гребней, варианты:

1 – белые выжимки из сортосмеси белых сортов винограда, полученные после отделения сока (сула); такие выжимки называют «сладкими», так как сахара не подвергались сбразиванию;

2 – розовые сладкие выжимки винограда сорта Пино Гри;

3 – красные сладкие выжимки винограда сорта Пино Нуар (после настаивания);

4 – красные сброженные выжимки сортосмеси красных сортов винограда.

Механический состав выжимки определяли путем ее разделения на отдельные компоненты с последующим взвешиванием. Массовую концентрацию фенольных соединений и полисахаридов определяли по методикам [2].

Исследуемые выжимки представляли собой смесь виноградной кожицы, семян, остатков гребней (основное количество гребней отделяется при переработке винограда в дробилках-гребнеотделителях). Виноградные выжимки, получаемые прессованием свежего, раздавленного в дробилках-гребнеотделителях винограда или прессованием выбродившей мезги при приготовлении красных или белых вин, несколько различаются по своему составу.

Результаты исследования механического состава виноградной выжимки (рисунок 1) свидетельствуют, что помимо основных компонентов варианты 1, 2 и 3 содержат часть виноградного сока, а вариант 4 – вино и выделившиеся из него осадки, состоящие из микроорганизмов, солей винной и других кислот, минеральных, белковых и пектиновых веществ.

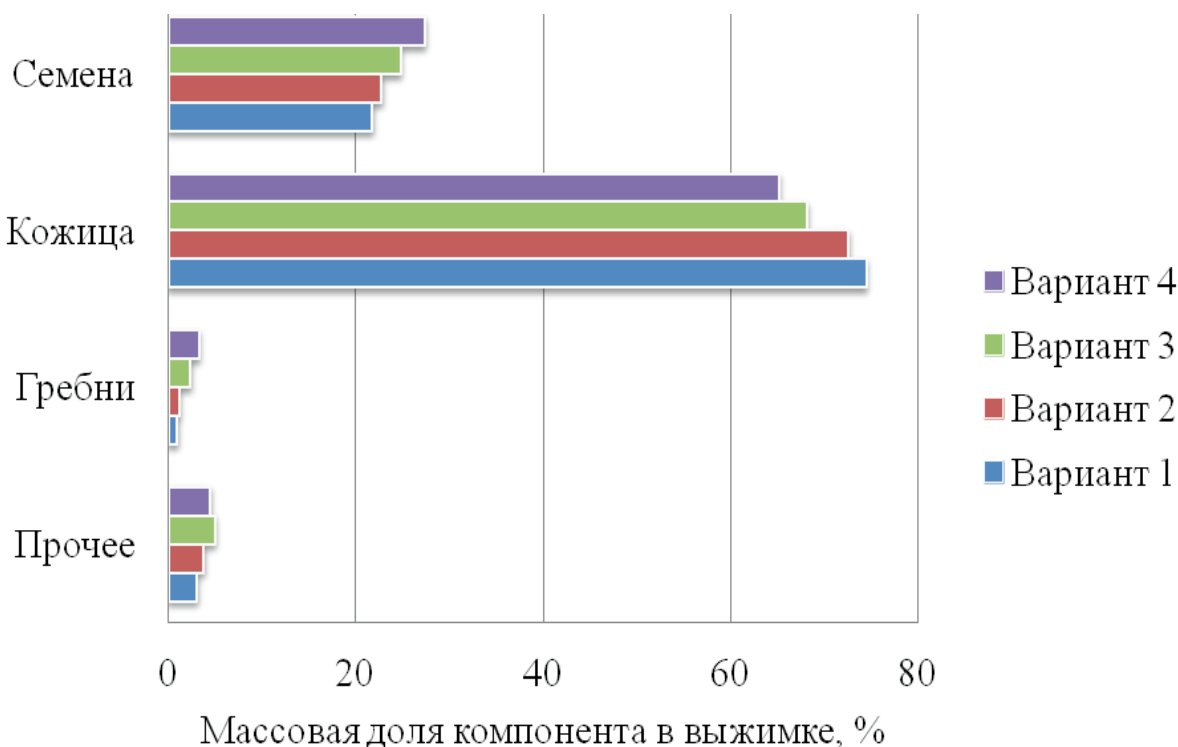


Рисунок 1. Механический состав виноградной выжимки

Полученные данные показывают, что наибольшее содержание кожицы ягод было в вариантах 1 и 2, т.е. в сладкой выжимке.

Для очистки поверхности виноградной выжимки использовали следующие реагенты:

1. Дистиллированная вода при температуре 70 °С.

2. Раствор винной кислоты 2%.

3. Щелочной раствор NaOH 2%.

4. Спирт этиловый 70% об.

Во всех случаях проводили настаивание в течение 30-60 минут при гидромодуле 1:1 по массе с последующим пересчетом показателей на 1 кг выжимки. Определяли кон-

центрацию высокомолекулярных соединений в экстракте. Выбор реагента обусловлен не только их различной химической природой, но и спецификой воздействия на отдельные компоненты виноградной выжимки, в том числе

кожицы. Таким образом мы получали ответ на следующий вопрос: какой из способов очистки способствует большому обеднению выжимки фенольными соединениями (рисунок 2) и полисахаридами (рисунок 3) при ее очистке.

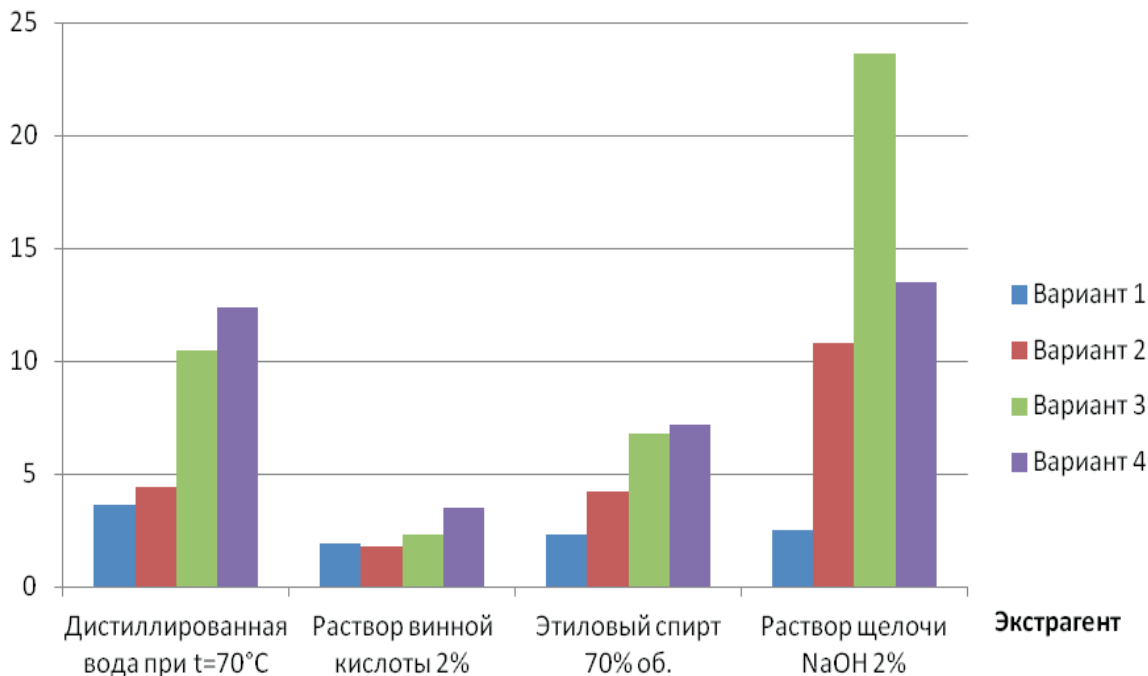


Рисунок 2. Массовая концентрация фенольных соединений в экстракте, г/кг

В результате анализа полученных данных (рисунок 2) установлено, что наименьшее извлечение фенольных соединений произошло при очистке раствором винной кислоты 2%. При этом раствор щелочи NaOH 2% максимально обеднил выжимки фенольными соединениями, но само пищевое волокно приобрело вид омыленной кашицы. А дистиллированная вода при температуре 70 °С при значительном извлечении фенольных веществ позволила пищевому волокну сохранить форму.

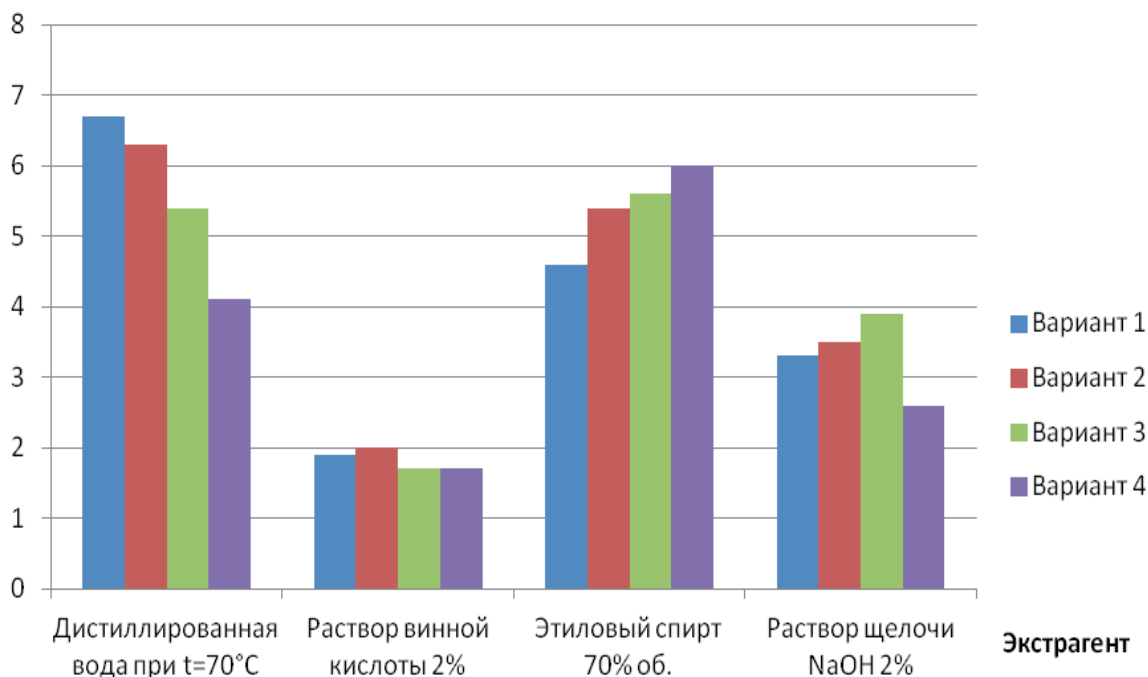


Рисунок 3. Массовая концентрация полисахаридов в экстракте, г/кг

Результаты определения массовой концентрации полисахаридов в экстракте (рисунок 3) свидетельствуют, что минимальное извлечение полисахаридов во всех вариантах наблюдается при очистке раствором винной кислоты 2%, при этом сохраняются полиозы, которые создают структуру пищевого волокна. А максимальное извлечение зависит от сорта винограда и технологии его переработки и, так в сладкой выжимке белого (вариант 1) и розового (вариант 2) сортов винограда достигается с помощью дистиллированной воды при температуре 70 °С, а красных сортов винограда при очистке этиловым спиртом 70%.

С целью оптимального извлечения высокомолекулярных соединений и сохранения формы пищевого волокна рекомендовано проводить очистку раствором винной кислоты 2%.

#### Список литературы:

1. Гапоненко, Ю.В. Изменение процианидинового комплекса виноградной выжимки при кулинарной обработке/Ю.В. Гапоненко, Г.М. Зайко, Н.М. Агее-

ва, М.Г. Марковский // Изв. вузов. Пищевая технология, № 2-3. – Краснодар, 2004. – С. 39-40.

2. Методы теххимического контроля в виноделии / Под ред. д-ра техн. наук В.Г. Гержиковой. – Симферополь.: Таврида. – 2002. – 258 с.
3. Риберо-Гайон, Ж. Теория и практика виноделия. Т. 2. Характеристика вин. Созревание винограда. Дрожжи и бактерии. /Риберо-Гайон Ж., Пейно Э., Риберо-Гайон П., Сюдро П./ пер. с франц. –М.: Пищевая промышленность, 1979. –352 с.
4. Сидоренко, А.В. Технологические особенности приготовления хлебобулочных изделий обогащенных порошком из кожицы виноградных выжимок / А.В. Сидоренко, О.Л. Вершинина, В.В. Деревенко, Д.В. Шаповалова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 4. – С. 26–28.
5. Тихонова, А.Н. Особенности физико-химического состава выжимки винограда различных сортов и технологий переработки / А.Н. Тихонова, Н.М. Агеева, А.П. Бирюков // Изв. вузов. Пищевая технология, № 4. – Краснодар, 2015. – С. 19-21.

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВОДНО-ВОЗДУШНАЯ ОЧИСТКА УЗЛА СОРТИРОВКИ УСТАНОВКИ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ МЕЛКОКУСКОВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Храмешин Алексей Валерьевич**

*кандидат технических наук, доцент Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*

**Храмешин Роман Алексеевич**

*студент Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*

**Арсланов Фанис Рашидович**

*кандидат технических наук, доцент Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*

## ULTRASOUND WATER-AIR CLEANING UNIT SORTING INSTALLATION FREEZE DRYING SMALL-SIZED PLANT MATERIAL

**Khrameshin Alexey**

*Candidate of science, associate professor of Izhevsk State*

**Agricultural Academy**

*Khrameshin Roman  
Student Izhevsk State Agricultural Academy*

**Arslanov Fanis**

*Candidate of science, associate professor of Izhevsk State  
Agricultural Academy*

#### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам повышения качества продукции при переработке картофеля и производстве картофельных продуктов. Проведено обоснование технологии очистки узла сортировки установки сублимационной сушки мелкокусковых растительных материалов.

**ABSTRACT**

The article is dedicated to enhancing the quality of products in the processing of potatoes and potato production. A study treatment technology node sorting installation freeze drying small-sized plant material.

**Ключевые слова:** картофель, параметр, процесс, линия, вакуум, среда, производство, эффективность, показатель.

**Keywords:** potatoes, parameter, process, line, vacuum, ambience, production, efficiency, factor.

**Введение**

Каждый год сельскохозяйственные предприятия России, начиная от малых фермерских хозяйств и заканчивая крупными агропромышленными холдингами, выращивают и собирают значительный урожай сельскохозяйственной продукции. Номинально в России есть десятки производителей сушеных продуктов, но они не формируют рынка, поскольку практически ничего не выпускают, а если и выпускают, то в небольших количествах. Поэтому найти в продаже подобную отечественную продукцию очень сложно, в силу этого необходимо привлечь внимание к этому вопросу, поскольку этот сегмент рынка развит, конечно же, недостаточно [8].

Анализ ситуации показывает, что производители пищевых продуктов – хлебобулочных и кондитерских изделий, мясных, рыбных, овощных консервов, соусов, приправ, колбас, - далеко не все и не всегда используют сушеные продукты как ингредиенты для изготовления

своей продукции. Почему это происходит? – возможно, из-за большой привязки зарубежных технологий к «своим» ингредиентам и оборудованию, недостатка информации о бесспорных преимуществах применения сушеных продуктов и отсутствия российского предложения их как такового.

**Объекты и методы исследований**

Существуют способы сушки дорогие по себестоимости, и менее затратные, но при этом имеющие низкое качество конечного продукта, а некачественный продукт на рынке не нужен, [1].

На сегодняшний день существует несколько промышленных технологий сушения: кондуктивная, сублимационная, акустическая, конвективная, высокочастотная, микроволновая, инфракрасная (ИК), [8].

*ИК-технология* - основана на использовании свойств инфракрасного излучения (рисунок 1), безвредного для окружающей среды и человека.



Рисунок 1- электромагнитный спектр излучения [11]

Такая технология обезвоживания позволяет сохранить витамины и прочие биологически активные вещества на уровне 80...90% от исходного продукта. В зависимости от исходного сырья, объем сухопродукта уменьшается в 3-4 раза, а масса - в 5-9 раз, что является важным плюсом при необходимости складирования и продолжительного транспортирования продуктов и в особенности при постоянном повышении транспортных тарифов,[6].

Учитывая эти факторы, можно сделать вывод, что использование ИК-технологии позволяет производить сушеные продукты такого качества, которого нельзя достичь при других рассмотренных методах сушения.

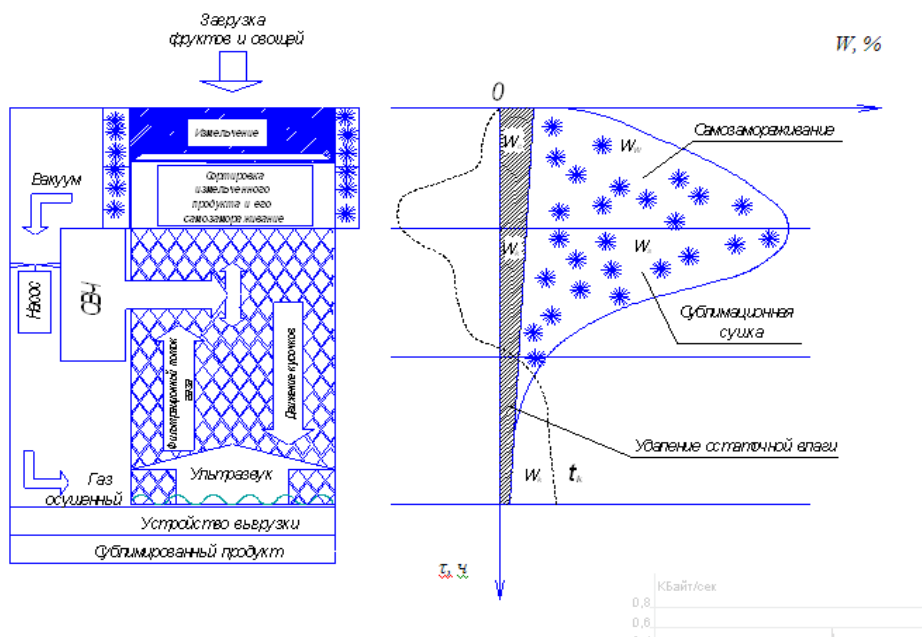
Интенсивный ИК-энергоподвод, позволяет за 90-110с испарить до 25% воды из обрабатываемого материала. При этом вода внутри материала переходит в пар, создающий повышенное давление внутри объекта сушки и вспучивающий его структуру. Таким образом, общее время сушки до влажности 12-14% не превышает 8-10 минут, [10]. В герметичной таре сухопродукт может храниться до 2-х лет без ощутимой потери своих свойств. При непродолжительном замачивании продукт восстанавливает все свои натуральные свойства: цвет, естественный аромат, форму, вкус, может употребляться в свежем виде или поддаваться каким-либо видам кулинарной обработки, [3,7].

Однако хотелось бы отметить и следующее: для того чтобы произвести качественный сушёный продукт совсем не нужно иметь изначально качественное сырьё. Гораздо выгодней, переработать «нестандарт» или «отходы» линий быстрозамороженных полуфабрикатов, которые просто выбрасывают или отдают на корм скоту, при этом платя деньги за вывоз. В таком случае их достаточно только высушить, так как не требуется линия подготовки, картофель уже очищен и нарезан, [5].

Объектом исследования является электротехнологический процесс сублимационной сушки мелкокусковых материалов.

Обоснование гипотезы объединения в единый вакуумный цикл технологии сублимационной сушки с предварительным измельчением и сортированием на установках непрерывного действия, рисунок 2:

- измельчение материала в вакууме;
- самозамораживание мелкокускового продукта при сортировке в вакууме;
- сублимационная сушка продуктов в сушильной камере.



$t_k$  - температура высушенного продукта;  $W_w$  - замороженная влага;  $W_c$  - незамороженная вода;  $W_s$  - сублимированная влага;  $W_k$  - масса остаточной влаги в высушенном продукте;  $\tau$  - продолжительность сушки, равная времени движения кубиков

Рисунок 2 – Принципиальная схема комбинированной сублимационной сушки

Все указанные процессы мало изучены, и поэтому их анализ представляет самостоятельный научный и практический интерес,[4].

Предметом исследования являются механизмы измельчения, сортирования в вакууме и сублимационной сушки под воздействием СВЧ-, УЗИ-полей и конвективного энергоподвода на установках непрерывного действия[12].

В период проведения исследований был использован картофель следующих сортов: «Свитанок-Киевский», «Луговской» и «Невский»,[2].

Принципиальная схема установки сублимационной сушки измельченных частиц в полях УЗИ- и СВЧ-энергий и в принудительном потоке газа показана на рисунке 3 [9].



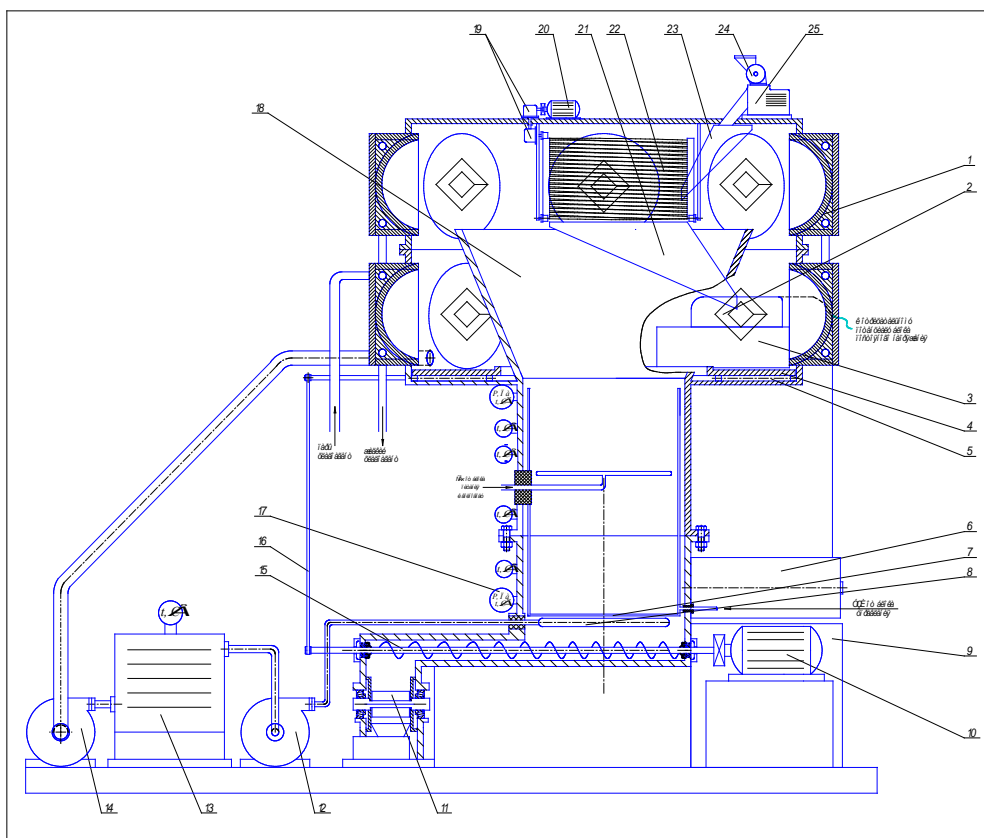


Рисунок 3 - Принципиальная схема установки сублимационной сушки мелкокусковых растительных материалов типа УСС-НД-КЭ-И непрерывного действия с комбинированным энергоподводом:

1 – охлаждаемый элемент десублиматора; 2 - окно для выгрузки льда; 3 - дека для съема льда с конвейера; 4 - конвейер карусельного типа для перемещения льда; 5 - ролик; 6,11,24 - вакуумные затворы; 7 – УЗ-излучатель; 8 - напуск агента сушки; 9 – бункер-плавитель льда; 10 - привод шнека и конвейера; 12 - насос подачи агента сушки; 13 - термостат; 14 - вакуумный насос; 15 - шнек выгрузки готового продукта; 16 - ременная передача; 17 - датчик давления и температуры; 18 - собирающая воронка; 19 - редуктор конический; 20 - привод; 21 - лоток обрезей; 22 - МКД ВСС; 23 - лоток загрузочный; 25 - резательная машина

Установка состоит из сушильной камеры цилиндрической формы с источниками СВЧ- и УЗИ-энергий. В верхней части сушильной камеры расположена резательная машина (25) для измельчения и машины комплексного действия вакуумно-сортировально-сушильной (22). В камере имеется собственный десублиматор (1), а также через шиберный затвор к установке подключен вакуумный насос (14). В нижней части через вакуумный затвор (11) сушильная камера соединена с выгрузным шнеком (15). Клубни подаются в резательную машину и измельчаются. Режим подачи контролируется и управляется субблоком управления системы измельчения (СУСИ).

Кусочки картофеля в процессе сортировки охлаждаются и замерзают за счет интенсивного испарения влаги в вакууме, после чего, самозамороженные кусочки летят вниз – в сушильную камеру. Агент сушки (газ или воздух) на стадии удаления остаточной влаги подается в нижнюю часть сушильной камеры из баллона через термостат. Расход газа регулируется натекателем по сигналам субблока управления вакуумным агрегатом (СУАВ). Одновремен-

но через натекатель производится подача агента сушки (инертного газа, воздуха), нагретого до температуры от +20 до +40°C. Количество подаваемого газа регулирует СУАВ так, чтобы давление в сортировальной камере не поднималось выше 100 Па. На практике СУАВ контролировал параметры на уровне (0), где давление колебалось в пределах 1200±10 Па, на уровне (300) в пределах 500±10 Па и на уровне (600) – 35±5 Па. При достижении продуктом в камере сушки уровня (500) включается СВЧ, на уровне (0) включается УЗИ, и при заполнении сушильной камеры продуктом до отметки (600 - верхний уровень) в нижней части установки вводится в действие шнек электроприводом и начинается выгрузка сублимированного продукта. Начинается непрерывный процесс сушки в СВЧ- и УЗИ-полях и в принудительном потоке газа. Совершенствование процесса. Во время работы машины комплексного действия вакуумно-сортировально-сушильной (МКД ВСС) на сортировальных нитях барабана камеры (CV) происходит осаждение мелких частиц сортируемого материала и крахмала, что в дальнейшем

препятствует качественной сортировке продукта. Для предотвращения данного негативного воздействия разработан комплекс мер, а именно – внедрение распылительно-фор-

суночного коллектора (RC) и его использование в конце рабочей смены для очистки сортирующей поверхности, рисунок 4,[9].

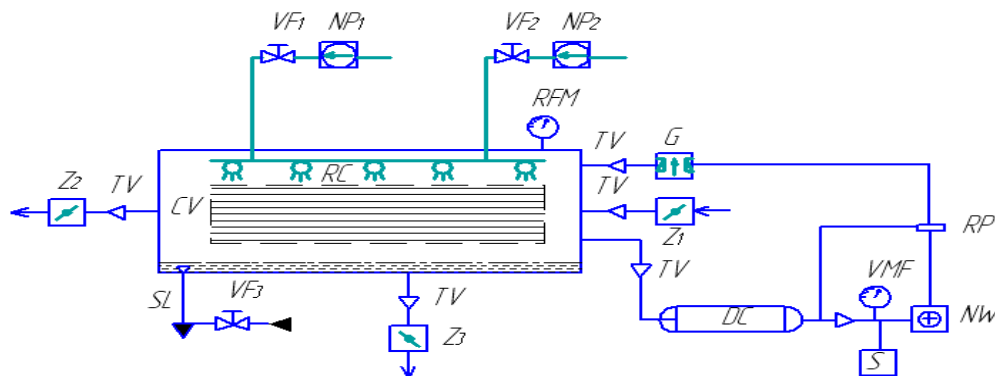


Рисунок 4 - Принципиальная схема МКД ВСС

NW- насос вакуумный водокольцевой; RC – распылительный форсуночный коллектор ультразвуковой водно-воздушной очистки; RFM – мановакуумметр; VMF – вакуумметр; G – течеискатель; CV – камера вакуумная сортировально-подсушивающая; TV – трубопровод вакуумный; Z – затвор поворотный шлюзовой; VF – запорно-регулируемый вентиль; S- масс-спектрометр; SL- сливная линия с переливной горловиной; NP- насосы подачи воды и воздуха; RP- реле давления; DC – десублиматор.

Измененный технологический процесс повышает качество готовых продуктов и производительность. Предложенный метод подразумевает внедрение ультразвуковой водно-воздушной очистки.

#### Список литературы

1. Установка для сортирования резаного картофеля при быстром замораживании /Л.Я. Лебедев, А.В. Храмышин, Ф.Р. Арсланов//Картофель и овощи. -2007. №3.- с.14.
2. Храмышин, А.В. Совершенствование технологии разделения частиц вороха резаного картофеля путём определения параметров и режимов работы барабанной сортировки: Дис. канд. техн. наук. – Кострома, 2003. – 153 с.
3. Выбор технологии и оборудования при переработке картофеля. Советы производителю. / А.В. Храмышин, Ф.Р. Арсланов, Л.Я. Лебедев– Ижевск: ОАО ИЭМЗ Купол, 2006.- 150с.: ил
4. Совершенствование технологий переработки картофеля /Л.Я. Лебедев, А.В. Храмышин, Ф.Р. Арсланов / Механизация и электрификация сельского хозяйства. -2009. № 6.- с.17-19.
5. Совершенствование процесса переработки картофеля / А.В. Храмышин, Ф.Р. Арсланов, Л.Я. Лебедев, Р.С. Марков /Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства: материалы научно-практической конференции «55 лет высшему агроинженерному образованию в Удмуртии».- Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010.- с. 26-31.
6. Сортирование резаного картофеля в разряженной среде /Арсланов Ф.Р., Поспелова И.Г., Лебедев Л.Я., Храмышин А.В., Игнатьев С.П. /Научное обеспечение реализации национальных проектов в сельском хозяйстве: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства, ФГОУ ВПО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. 2006. С. 26-29.
7. Патент RUS 2346626 Установка непрерывного действия для измельчения и сублимационной сушки кускообразных материалов /Касаткин В.В., Литвинок Н.Ю., Лебедев Л.Я., Храмышин А.В., Шумилова И.Ш., Арсланов Ф.Р., Поспелова И.Г., Касаткина М.В. Опубл. 29.01.2007. Бюл. №1 – 3с.:ил.
8. Вакуумно-сортировально сушильная машина в составе линии по производству продукции из картофеля. / Храмышин А.В., Храмышин Р.А. / Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия труды международной научно-практической конференции. Сер. «технические науки» Международный научный институт «EDUCATIO», ответственный редактор: Вершинин Б.М. 2015. С. 73-76.
9. Адаптивные технологии как инструмент прогнозирования урожайности, размерно-массовых и качественных характеристик корнеклубнеплодов. / Храмышин Р.А., Храмышин А.В. / Наука, образование, общество: тенденции и перспективы Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: В 7 частях. ООО «Ар-Консалт». Москва, 2014. С. 157-161.
10. К вопросу о совершенствовании технологии производства картофелепродуктов. / Хра-

- Храмешин А.В., Васильев А.Н., Волхонов М.С. / Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе сборник статей 63-й международной научно-практической конференции. Костромская государственная сельскохозяйственная академия. 2012. С. 144-147.
11. Качество полуфабрикатов из картофеля можно улучшить. / Храмешин А.В., Арсланов Ф.Р., Васильев А.Н. / Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 11. С. 41-44.
12. Выбор технологии и оборудования при переработке картофеля. / Арсланов Ф.Р., Лебедев Л.Я., Храмешин А.В. / советы производителю / Ижевск, 2006. (2-е издание, переработанное и дополненное)

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## О ВТОРОМ ВАРИАНТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРАВНЕНИЯ РИККАТИ

**Чочиев Тимофей Захарович**

кандидат физ. мат. наук, старший научный сотрудник

Южный Математический Институт Владикавказского Научного Центра Российской Академии Наук и Республики Северная Осетия – Алания, Россия

## ABOUT THE SECOND VERSION OF THE EQUATION OF RIKKATI

**Chochiev Timothy Zakharovich**

the candidate of physics and mathematics. Sciences, senior researcher

South Mathematical Institute of Vladikavkaz Scientific centre of the Russian Academy of Sciences and Republic of North Ossetia – Alania, Russia

### АННОТАЦИЯ

Более коротким и доступным путем изучается уравнение Риккати. Устанавливается решение. В данном варианте замечательны доказательства трех тождеств. Решается специальное уравнение Риккати. Решается линейное уравнение второго порядка.

### ABSTRACT

Shorter and more accessible by studying the Riccati equation. Is installed solution. In this embodiment, a wonderful proof of three identities. Solved a special Riccati equation. Solved linear equation of the second order.

**Ключевые слова:** дифференциальное уравнение, решение, выполнимость, линейность, понижение порядка, переменность коэффициентов, класс Риккати, тождества.

**Keywords:** differential equation, solution, feasibility, linearity, order fall, the variability of the coefficients, a class of Riccati, equation.

### II.1. О тождествах уравнения Риккати.

В работе [2. 394 – 403; 3.224 – 234] [2. 394 – 403; 3.224 – 234] подробно было изучено уравнение Риккати. Установлено условие, выполнимость которого гарантирует решение в квадратурах. Доказывается выполнимость условия. В настоящем продолжаем изучать то же уравнение, но в другом варианте, с решением которого связаны три тождества [4.10 – 12]. [4.10 – 12].

Упомянутое уравнение в общей форме дается [1. с. 468][1. с. 468]:

$$l' + A(x)l^2 + B(x)l + C(x) = 0,$$

где  $l$  – искомая функция,  $A, B$ , и  $C, A, B$ , и  $C$  заданные непрерывно дифференцируемые функции. (1.1.1)

допускает ещё представление вида

$$l' + A(l - \lambda_1)(l - \lambda_2) = 0 \left( \lambda = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, B^2 - 4AC > 0 \right), \quad (1.1.2)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  корни квадратного трёхчлена (1.1.1).

Пусть  $l$  даётся формулой

$$l = e^{-\int_0^x (A\lambda - h) dx} \left( l_0 + \int_0^x (A\lambda - h)\lambda e^{\int_0^x (A\lambda - h) dx} dx \right) =$$

$$= \begin{cases} e^{-\int_0^x (A\lambda_1 - h) dx} \left( l_0 + \int_0^x (A\lambda_1 - h)\lambda_1 e^{\int_0^x (A\lambda_1 - h) dx} dx \right) & \lambda = \lambda_1, \\ e^{-\int_0^x (A\lambda_2 - h) dx} \left( l_0 + \int_0^x (A\lambda_2 - h)\lambda_2 e^{\int_0^x (A\lambda_2 - h) dx} dx \right) & \lambda = \lambda_2, \end{cases} \quad (1.1.3)$$

где  $l_0 - l_0$  – постоянная, а  $h(x)h(x)$  решение нелинейного уравнения

$$h' - h^2 + A^*h + B^* = 0, \quad (1.1.4)$$

причем

$$A^* = A(\lambda_1 + \lambda_2) - \frac{A'}{A}, \quad B^* = -A^2\lambda_1\lambda_2 - A(\lambda_1 + \lambda_2)'$$

Справедлива следующая теорема.

**Теорема 1:** Если в равенстве (1.1.2)  $l(x)$  определяется формулой (1.1.3),  $h(x)$  удовлетворяет уравнению (1.1.4), то имеет место тождественная выполнимость равенств:

$$\begin{cases} 1) e^{-\int (A\lambda_1 - h) dx} \left( l_0 + \int (A\lambda_1 - h)\lambda_1 e^{\int (A\lambda_1 - h) dx} dx \right) \\ = e^{-\int (A\lambda_2 - h) dx} \left( l_0 + \int (A\lambda_2 - h)\lambda_2 e^{\int (A\lambda_2 - h) dx} dx \right) & (1.1.5) \\ 2) l' + A(l - \lambda_1)(l - \lambda_2) = 0, \\ 3) Al + h = A(\lambda_1 + \lambda_2). \end{cases}$$

Доказательство.

1) Первое равенство (1.1.5) переписывается

$$e^{-\int_0^x A(\lambda_1 - \lambda_2) dx} \left[ l_0 + \int_0^x (A\lambda_1 - h)\lambda_1 e^{\int_0^x (A\lambda_1 - h) dx} dx \right] = \\ = l_0 + \int_0^x (A\lambda_2 - h)\lambda_2 e^{\int_0^x (A\lambda_2 - h) dx} dx,$$

или, дифференцируя, а потом сгруппировав, получим:

$$-A(\lambda_1 - \lambda_2) \left[ l_0 + \int_0^x (A\lambda_2 - h)\lambda_2 e^{\int_0^x (A\lambda_2 - h) dx} dx \right] = \\ = [-A(\lambda_1^2 - \lambda_2^2) + h(\lambda_1 - \lambda_2)] e^{\int_0^x (A\lambda_2 - h) dx} dx.$$

Или, сократив на  $\lambda_1 - \lambda_2$  и ещё раз продифференцировав,

$$\frac{A'}{A} [h - A(\lambda_1 + \lambda_2)] - A(A\lambda_2 - h)\lambda_2 = \\ = [h - A(\lambda_1 + \lambda_2)]' + (A\lambda_2 - h)[h - A(\lambda_1 + \lambda_2)].$$

Отсюда после группировки следует:

$$h' - h^2 + \left[ A(\lambda_1 + \lambda_2) - \frac{A'}{A} \right] h - A^2\lambda_1\lambda_2 - A(\lambda_1 + \lambda_2)' = 0.$$

Но последнее есть уравнение (1.1.4), которое по условию удовлетворяет.

2) Второе равенство (1.1.5) умножим на  $(\lambda_1 - \lambda_2)$

$$(\lambda_1 - \lambda_2)l' = -A(\lambda_1 - \lambda_2)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2)$$

и снова его переписываем в равносильной форме

$$ll' - ll' + (\lambda_1 - \lambda_2)l' = -A(\lambda_1 - \lambda_2)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2) \Rightarrow \\ \Rightarrow l'(l - \lambda_2) - l'(l - \lambda_1) = -A(\lambda_1 - \lambda_2)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2). \quad (1.1.6)$$

Очевидно, последнее есть уравнение (1.1.2). С другой стороны, из (1.1.3) следует:

$$l' = \begin{cases} -(A\lambda_1 - h)l + (A\lambda_1 - h)\lambda_1 = -(A\lambda_1 - h)(l - \lambda_1) & \lambda = \lambda_1, \\ -(A\lambda_2 - h)l + (A\lambda_2 - h)\lambda_2 = -(A\lambda_2 - h)(l - \lambda_2) & \lambda = \lambda_2. \end{cases} \quad (1.1.7)$$

Отсюда замечая, что

$$\begin{aligned} l'(l - \lambda_2) &= -(A\lambda_1 - h)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2) & \lambda = \lambda_1, \\ l'(l - \lambda_1) &= -(A\lambda_2 - h)(l - \lambda_2)(l - \lambda_1) & \lambda = \lambda_2, \end{aligned} \quad (1.1.8)$$

и подставляя значения в левую часть (1.1.6) получим:

$$-(A\lambda_1 - h)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2) + (A\lambda_2 - h)(l - \lambda_2)(l - \lambda_1) = \\ = -A(\lambda_1 - \lambda_2)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2),$$

или, сокращая на  $(l - \lambda_1)(l - \lambda_2)(l - \lambda_1)(l - \lambda_2)$ , придём к тождеству

$$-A(\lambda_1 - \lambda_2) = -A(\lambda_1 - \lambda_2).$$

То есть, если  $h(x)$  удовлетворяет уравнению (1.1.4), то (1.1.3) является решением уравнения (1.1.2), или уравнения (1.1.1).

3) В третьем равенстве выражения (1.1.5),

$$Al + h = A(\lambda_1 + \lambda_2),$$

вместо  $ll$  подставим одно из значений выражения (1.1.3)

(пусть будет случай, когда  $\lambda = \lambda_2$ ) будем иметь:



$$Ae^{-\int_0^x(A\lambda_2-h)dx} \left( l_0 + \int_0^x (A\lambda_2-h)\lambda_2 e^{\int_0^x(A\lambda_2-h)dx} dx \right) = A(\lambda_1+h' - (h-\lambda_1^*)(h-\lambda_2^*)) = 0, \quad \lambda^* = \frac{A^* \pm \sqrt{A^{*2} + 4B^*}}{2}. \tag{1.1.9}$$

или

$$l_0 + \int_0^x (A\lambda_2-h)\lambda_2 e^{\int_0^x(A\lambda_2-h)dx} dx = \left( \lambda_1 + \lambda_2 - \frac{h}{A} \right) e^{\int_0^x (A\lambda_2-h)dx} \tag{1.1.10}$$

**II. 2. Решении уравнения (1.1.9).**

Решение уравнения (1.1.9) будем искать в виде

$$h(x) = \begin{cases} e^{\int_0^x(\lambda_1^*+h_0)dx} \left( C_1(x) - \int_0^x (\lambda_1^* + h_0)\lambda_1^* e^{-\int_0^x(\lambda_1^*+h_0)dx} dx \right), & \lambda = \lambda_1, \\ e^{\int_0^x(\lambda_2^*+h_0)dx} \left( C_2(x) - \int_0^x (\lambda_2^* + h_0)\lambda_2^* e^{-\int_0^x(\lambda_2^*+h_0)dx} dx \right), & \lambda = \lambda_2, \end{cases} \tag{1.2}$$

Отсюда после дифференцирования,

$$\left( \lambda_1 + \lambda_2 - \frac{h}{A} \right)' + (A\lambda_2 - h) \left( \lambda_1 + \lambda_2 - \frac{h}{A} \right) = (A \cdot h(x) - h(x)h'(x))'$$

и приведя подобные члены получим уравнение,

$$h' - h^2 - \left[ \frac{A'}{A} - A(\lambda_1 + \lambda_2) \right] h - A^2 \lambda_1 \lambda_2 - A(\lambda_1 + \lambda_2)' = 0, \quad \text{где } C_1(x) \text{ и } C_2(x) - \text{искомые функции, а}$$

совпадающее с (1.1.4) и которое удовлетворяет. Чтс требовалась.

$$h_0 - h_0 - \text{неизвестная постоянная. Из (1.2.1) следует:} \tag{1.2.2}$$

$$h'(x) = \begin{cases} (\lambda_1^* + h_0)(h(x) - \lambda_1^*) + C_1'(x) e^{\int_0^x(\lambda_1^*+h_0)dx}, \\ (\lambda_2^* + h_0)(h(x) - \lambda_2^*) + C_2'(x) e^{\int_0^x(\lambda_2^*+h_0)dx}. \end{cases}$$

Итак, если  $h(x)$  дается формулой (1.1.3),  $h(x)h(x)$  -решение уравнения (1.1.4), то (1.1.3) удовлетворяет уравнению (1.1.2), или (1.1.6);тождественно выполняются первое и третье равенства выражения (1.1.5).

Таким образом, остается установить выполнимость уравнения (1.1.4), допускающее представление вида

Или

$$\begin{aligned} \frac{h'}{h - \lambda_1^*} &= \lambda_1^* + h_0 + \frac{C_1'(x)}{h - \lambda_1^*} e^{\int_0^x(\lambda_1^*+h_0)dx} \\ \frac{h'}{h - \lambda_2^*} &= \lambda_2^* + h_0 + \frac{C_2'(x)}{h - \lambda_2^*} e^{\int_0^x(\lambda_2^*+h_0)dx} \end{aligned} \tag{1.2.2}$$

С другой стороны, уравнение (1.1.9) допускает себя переписать

$$hh' - hh' + (\lambda_1^* - \lambda_2^*)h' = (\lambda_1^* - \lambda_2^*)(h - \lambda_1^*)(h - \lambda_2^*),$$

или, сгруппировав левую часть,

$$(h - \lambda_2^*)h' - (h - \lambda_1^*)h' = (\lambda_1^* - \lambda_2^*)(h - \lambda_1^*)(h - \lambda_2^*),$$

и разделив обе части на  $(h - \lambda_1^*)(h - \lambda_2^*)(h - \lambda_1^*)(h - \lambda_2^*)$  получим равносильное (1.1.9) соотношение

$$\frac{h'}{h - \lambda_1^*} - \frac{h'}{h - \lambda_2^*} = \lambda_1^* - \lambda_2^*, \tag{1.2.3}$$

которое с учетом (1.2.2), переписывается

$$\frac{C_1'(x)}{h - \lambda_1^*} e^{\int_0^x(\lambda_1^*+h_0)dx} = \frac{C_2'(x)}{h - \lambda_2^*} e^{\int_0^x(\lambda_2^*+h_0)dx}. \tag{1.2.4}$$

Поскольку  $C_1'(x)C_1'(x)$  и  $C_2'(x)C_2'(x)$  неизвестны, то (1.2.4) будет тождеством (см. (1.2.1)), если

$$\frac{C_1'(x)}{h - \lambda_1^*} = e^{\int_0^x \lambda_2^* dx}; \quad \frac{C_2'(x)}{h - \lambda_2^*} = e^{\int_0^x \lambda_1^* dx}. \quad (1.2.4),$$

Или с учётом (1.2.1)

$$C_1'(x) = \left[ e^{\int_0^x (\lambda_1^* + h_0) dx} \left( C_1(x) - \int_0^x (\lambda_1^* + h_0) \lambda_1^* e^{-\int_0^x (\lambda_1^* + h_0) dx} dx \right) - \lambda_1^* \right] e^{\int_0^x \lambda_2^* dx},$$

$$C_2'(x) = \left[ e^{\int_0^x (\lambda_2^* + h_0) dx} \left( C_2(x) - \int_0^x (\lambda_2^* + h_0) \lambda_2^* e^{-\int_0^x (\lambda_2^* + h_0) dx} dx \right) - \lambda_2^* \right] e^{\int_0^x \lambda_1^* dx}.$$

Отсюда следуют дифференциальные равенства

$$\begin{cases} C_1'(x) - e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} C_1(x) = H_1(x), \\ C_2'(x) - e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} C_2(x) = H_2(x), \end{cases} \quad (1.2.5)$$

где

$$H_1(x) = -e^{\int_0^x \lambda_2^* dx} \left[ \lambda_1^* + e^{\int_0^x (\lambda_1^* + h_0) dx} \int_0^x (\lambda_1^* + h_0) \lambda_1^* e^{-\int_0^x (\lambda_1^* + h_0) dx} dx \right],$$

$$H_2(x) = -e^{\int_0^x \lambda_1^* dx} \left[ \lambda_2^* + e^{\int_0^x (\lambda_2^* + h_0) dx} \int_0^x (\lambda_2^* + h_0) \lambda_2^* e^{-\int_0^x (\lambda_2^* + h_0) dx} dx \right].$$

Следовательно,

$$\begin{cases} C_1(x) = e^{\int_0^x e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} dx} \left( \gamma_0 + \int_0^x H_1(x) e^{-\int_0^x e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} dx} dx \right), \\ C_2(x) = e^{\int_0^x e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} dx} \left( \gamma_0 + \int_0^x H_2(x) e^{-\int_0^x e^{\int_0^x (\lambda_1^* + \lambda_2^* + h_0) dx} dx} dx \right), \end{cases} \quad (1.2.6)$$

удовлетворяют соответственно уравнениям (1.2.5), или (1.2.4). Но тогда (1.2.4), или равенство (1.2.3), согласно (1.2.2), также удовлетворяет тождественно; то есть, (1.1.9) выполняется тождественно. Этим теорема 1 доказана.

Таким образом, функция  $h(x)$ , определенная формулой (1.2.1), где  $C_1(x)$  и  $C_2(x)$  выражаются соответственно через (1.2.6), удовлетворяет уравнению (1.2.3), или уравнению (1.1.9); функция  $l(x)$ , определенная через (1.1.3), удовлетворяет уравнению (1.1.6), или что тоже самое, уравнению (1.1.2), установлена тождественная выполнимость соотношений (1.1.5).

Нужно ещё уточнить  $h_0$  входящей в (1.2.1) и неизвестных постоянных  $\gamma_0$  и  $l_0$  (см. (1.1.3) и (1.2.6)), нахождение которых связано со значением функции  $h(x)$  и  $l(x)$  в нулевой точке.

Согласно (1.2.5) и (1.2.6)

$$\begin{cases} C_1'(0) = C_1(0) - \lambda_1^*(0) = \gamma_0 - \lambda_1^*(0), \\ C_2'(0) = C_2(0) - \lambda_2^*(0) = \gamma_0 - \lambda_2^*(0). \end{cases} \quad (1.2.7)$$

С другой стороны из (1.2.2) в нулевой точке имеем (см. (1.2.7)),

$$h'(0) = \begin{cases} [\lambda_1^*(0) + h_0][h(0) - \lambda_1^*(0)] + \gamma_0 - \lambda_1^*(0), \\ [\lambda_2^*(0) + h_0][h(0) - \lambda_2^*(0)] + \gamma_0 - \lambda_2^*(0). \end{cases}$$

Поскольку  $h(0)$  – неизвестна, то её будем искать совпадением значений  $h'(0)$  в нулевой точке

$$\begin{aligned} & [\lambda_1^*(0) + h_0][h(0) - \lambda_1^*(0)] + \gamma_0 - \lambda_1^*(0) = \\ & = [\lambda_2^*(0) + h_0][h(0) - \lambda_2^*(0)] + \gamma_0 - \lambda_2^*(0) \Rightarrow \\ & \Rightarrow [\lambda_1^*(0) - \lambda_2^*(0)]h(0) - \lambda_1^{*2}(0) + \lambda_2^{*2}(0) - h_0(\lambda_1^*(0) - \lambda_2^*(0)) = \\ & = \lambda_1^*(0) - \lambda_2^*(0) \Rightarrow h(0) - h_0 = 1 + \lambda_1^*(0) + \lambda_2^*(0). \end{aligned}$$

Считая, что  $h_0 = -h(0)$  для  $h(0)$  будем иметь:

$$h(0) = \frac{1 + \lambda_1^*(0) + \lambda_2^*(0)}{2}. \quad (1.2.7)_1$$

Третье тождество выражения (1.5) дает:

$$h(0) = A(0)[\lambda_1(0) + \lambda_2(0) - l(0)]. \quad (1.2.7)_2$$

Отсюда и из (2.7)<sub>1</sub> для  $l(0)$  ( $l_0 = l(0)$ ) устанавливаем:

$$l(0) = \lambda_1(0) + \lambda_2(0) - \frac{\lambda_1^*(0) + \lambda_2^*(0) + 1}{2A(0)}. \quad (1.2.8)$$

На основании (1.2.7) и (1.2.1)

$$C_1(0) = C_2(0) = \gamma_0 = h(0), \quad (1.2.9)$$

Таким образом, располагая значениями постоянных (1.2.8), (1.2.9), функции  $l(x)$  и  $h(x)$ , выраженные соответственно формулами (1.1.3) и (1.2.1) и удовлетворяющие (1.1.2) и (1.1.9), стали вполне определенными.

## §2. О решении специального уравнения Риккати.

Известным, распространенным частным случаем уравнения Риккати считается пример Риккати,

$$\frac{dl}{dx} + al^2 = bx^\alpha, \quad (2.1.1)$$

где  $a, b$  и  $\alpha$  – постоянные числа. Его называют специальным уравнением Риккати [2.1]. (2.1.1) запишем в виде

$$\frac{dl}{dx} + a \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) = 0, \quad (2.1.2)$$

где в данном случае

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 = \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}; \lambda_2 = -\sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}; \lambda_1 - \lambda_2 = 2\sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}; \lambda_1 + \lambda_2 = 0; \\ A\lambda_1 = \sqrt{abx^\alpha}; A\lambda_2 = -\sqrt{abx^\alpha}; \lambda_1\lambda_2 = -\frac{b}{a}x^\alpha; A = a; \\ A\lambda_1 - h = \sqrt{abx^\alpha} - h; A\lambda_2 - h = -\sqrt{abx^\alpha} - h; \\ A^2\lambda_1\lambda_2 = -abx^\alpha; A(\lambda_1 - \lambda_2) = 2\sqrt{abx^\alpha}; \\ A^* = A(\lambda_1 + \lambda_2) - \frac{A'}{A} = 0; B^* = -A^2\lambda_1\lambda_2 - A(\lambda_1 + \lambda_2)' = abx^\alpha; \\ \lambda_1^* = \sqrt{abx^\alpha}; \lambda_2^* = -\sqrt{abx^\alpha}; \\ \lambda_1^*\lambda_2^* = 0; \lambda_1^* - \lambda_2^* = 2\sqrt{abx^\alpha}; \lambda_1^*\lambda_2^* = -abx^\alpha \end{array} \right. \quad (2.1.2),$$

Следовательно, уравнение (1.1.4), или (1.1.9), будет иметь вид:

$$\begin{aligned} h' - h^2 + abx^\alpha &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow h' - (h - \sqrt{abx^\alpha})(h + \sqrt{abx^\alpha}) &= 0. \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

Имеет место теорема.

Теорема 2. Если  $h(x)$  решение уравнения (2.1.3), то  $l(x)$ , определенная формулой

$$l(x) = \begin{cases} -e^{\int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} - h) dx} \left( l_0 + \int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} - h) \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} e^{\int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} - h) dx} dx \right), \\ e^{\int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} + h) dx} \left( l_0 + \int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} + h) \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} e^{-\int_0^x (\sqrt{abx^\alpha} + h) dx} dx \right), \end{cases} \quad (2.1.4)$$

удовлетворяет уравнению (2.1.2).

Действительно, из (2.1.4) следует:

$$l'(x) = \begin{cases} -(\sqrt{abx^\alpha} - h) \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) & \lambda = \lambda_1 = \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}, \\ (\sqrt{abx^\alpha} + h) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) & \lambda = \lambda_2 = -\sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}, \end{cases} \quad (2.1.5)$$

Обе части (2.1.2) умножаем на  $2\sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha}$  и перепишем его в форме

$$ll' - ll' + 2l' \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} = -2\sqrt{abx^\alpha} \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right),$$

или, сгруппировав левую часть,

$$l' \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) - l' \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) = -2\sqrt{abx^\alpha} \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}x^\alpha} \right).$$

Последнее есть тождественный переход из уравнения (2.1.2). В левой части при первом члене вместо  $l'$  внесем первое его значение из (2.1.5), а при втором члене второе значение  $l'$  тоже из (2.1.5),

$$\begin{aligned} & -(\sqrt{abx^\alpha} - h) \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) - \\ & -(\sqrt{abx^\alpha} + h) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) = \\ & = -2\sqrt{abx^\alpha} \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow & - \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) [\sqrt{abx^\alpha} - h + \sqrt{abx^\alpha} + h] = \\ & = -2\sqrt{abx^\alpha} \left( l - \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right) \left( l + \sqrt{\frac{b}{a}} x^\alpha \right), \end{aligned}$$

или, после приведения,

$$-2\sqrt{abx^\alpha} = -2\sqrt{abx^\alpha}.$$

Что и требовалось.

Чтобы теорема 2 сохранила свою силу нужно установить выполнимость уравнения (2.1.3).

Докажем теорему.

Теорема 3. Если  $h(x)$  определяется формулой

$$h(x) = \begin{cases} e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} \left( C_1(x) - ab \int_0^x x^\alpha e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} dx \right) & \lambda_1^* = \sqrt{abx^\alpha}, \\ e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} \left( C_2(x) - ab \int_0^x x^\alpha e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} dx \right) & \lambda_2^* = -\sqrt{abx^\alpha}, \end{cases} \quad (2.1.6)$$

а  $C_1(x)$  и  $C_2(x)$  соответственно удовлетворяют уравнениям

$$\begin{cases} C_1'(x) - C_1(x) = H_1(x), \\ C_2'(x) - C_2(x) = H_2(x), \end{cases} \quad (2.1.7)$$

где

$$\begin{cases} H_1(x) = - \left( \sqrt{abx^\alpha} e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} + ab \int_0^x x^\alpha e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} dx \right), \\ H_2(x) = \sqrt{abx^\alpha} e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} - ab \int_0^x x^\alpha e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} dx, \end{cases} \quad (2.1.7),$$

то есть,



$$\begin{cases} C_1(x) = e^x \int_0^x H_1(x) e^{-x} dx, \\ C_2(x) = e^x \int_0^x H_2(x) e^{-x} dx, \end{cases} \quad (2.1.8)$$

то  $h(x)$ , выраженная через (2.1.6), удовлетворяет уравнению (2.1.3).

Доказательство. Из (2.1.6) найдём  $h'(x)$ ,

$$h'(x) = \begin{cases} \sqrt{abx^\alpha}(h(x) - \sqrt{abx^\alpha}) + C_1'(x) e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} & \lambda_1^* = \sqrt{abx^\alpha}, \\ -\sqrt{abx^\alpha}(h(x) + \sqrt{abx^\alpha}) + C_2'(x) e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} & \lambda_2^* = -\sqrt{abx^\alpha}. \end{cases}$$

Отсюда замечаем:

$$\begin{aligned} \frac{h'(x)}{h(x) - \sqrt{abx^\alpha}} &= \sqrt{abx^\alpha} + \frac{C_1'(x)}{h(x) - \sqrt{abx^\alpha}} e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} & \lambda_1^* &= \sqrt{abx^\alpha}, \\ \frac{h'(x)}{h(x) + \sqrt{abx^\alpha}} &= -\sqrt{abx^\alpha} + \frac{C_2'(x)}{h(x) + \sqrt{abx^\alpha}} e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} & \lambda_2^* &= -\sqrt{abx^\alpha}. \end{aligned} \quad (2.1.9)$$

Далее, обе части уравнения (2.1.3) умножаем на  $2\sqrt{abx^\alpha}$  и перепишем в форме

$$hh' - hh' + 2\sqrt{abx^\alpha}h' = 2\sqrt{abx^\alpha}(h - \sqrt{abx^\alpha})(h + \sqrt{abx^\alpha}),$$

или сгруппировав левую часть,

$$h'(h + \sqrt{abx^\alpha}) - h'(h - \sqrt{abx^\alpha}) = 2\sqrt{abx^\alpha}(h - \sqrt{abx^\alpha})(h + \sqrt{abx^\alpha}).$$

Или разделив на произведение  $(h - \sqrt{abx^\alpha})(h + \sqrt{abx^\alpha})(h - \sqrt{abx^\alpha})(h + \sqrt{abx^\alpha})$ ,

$$\frac{h'(x)}{h(x) - \sqrt{abx^\alpha}} - \frac{h'(x)}{h(x) + \sqrt{abx^\alpha}} = 2\sqrt{abx^\alpha},$$

и воспользовавшись значениями (2.1.9), придём к соотношению

$$\frac{C_1'(x)}{h(x) - \sqrt{abx^\alpha}} e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx} = \frac{C_2'(x)}{h(x) + \sqrt{abx^\alpha}} e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx},$$

являющемся тождеством; так как в (2.1.7) (см. (2.1.6) и (2.1.7)),

$$\frac{C_1'(x)}{h(x) - \sqrt{abx^\alpha}} = e^{-\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx}; \quad \frac{C_2'(x)}{h(x) + \sqrt{abx^\alpha}} = e^{\int_0^x \sqrt{abx^\alpha} dx},$$

оба равенства удовлетворяют тождественно относительно  $C_1(x)$  и  $C_2(x)$  (см. (2.1.7), (2.1.7), и (2.1.8)). Этим теорема 3 доказана, теорема 2 остается в силе; построено решение для специального уравнения Риккати, и оно дается формулой (2.1.4).

**§3 Решение линейного уравнения второго порядка с переменными коэффициентами методом понижения порядка производной**

Напомним, что решение линейного уравнения второго порядка с переменными коэффициентами тесно связано с решением нелинейного уравнения класса Риккати. В частности, если известно решение уравнения Риккати, то уравнение второго порядка легко привести к линейному уравнению первого порядка.

## II. 1. О понижении порядка производной.

Линейное уравнение второго порядка в общей форме имеет вид:

$$y'' + A(x)y' + B(x)y = f(x), \quad (3.1.1)$$

где  $A$  и  $B$  – заданные функции. Причем  $A(x)$  – непрерывно – дифференцируема,  $B(x)$  и  $f(x)$  непрерывны в области, где задано (3.1.1). Представим  $A$  и  $B$  в следующем виде

$$\begin{cases} A(x) = l + l_1, \\ B(x) = l' + ll_1, \end{cases} \quad (3.1.2)$$

тогда (3.1.1) допускает приведение к удобному виду

$$(y' + ly)' + l_1(y' + ly) = f(x), \quad (3.1.3)$$

где относительно  $l$  и  $l_1$  получаем равенства

$$\begin{cases} l' - l^2 + Al - B = 0, \\ l_1 = A - l. \end{cases} \quad (3.1.4)$$

Первое равенство есть частный случай уравнения Риккати. Поэтому  $l$  и  $l_1$  можно считать вполне определенными функциями, что позволяет в (3.1.3) сразу переходить к его дальнейшему упрощению. Обе части равенства (3.1.3)

умножим на  $e^{\int_0^x l_1 dx}$ . В результате получим производную произведения

$$\left[ (y' + ly)e^{\int_0^x l_1 dx} \right]' = f(x)e^{\int_0^x l_1 dx}.$$

Поскольку правая часть известна, то левая часть есть понижение порядка производной:

$$y' + ly = e^{-\int_0^x l_1 dx} \left( C_1 + \int_0^x f(x)e^{\int_0^x l_1 dx} dx \right) = F_1(x), \quad (3.1.5)$$

или окончательно для  $y$

$$y = e^{-\int_0^x l dx} \left( C_2 + \int_0^x F_1(x)e^{\int_0^x l dx} dx \right). \quad (3.1.6)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – произвольные постоянные.

Отсюда ясно видна зависимость решения  $y$  от решения уравнения Риккати (3.1.4) (см. (3.1.5) значение  $F_1(x)$ ). Формула (3.1.6) и представляет собой общее решение линейного уравнения второго порядка с переменными коэффициентами. Представленный результат новый, актуален, ибо такие дисциплины как математический анализ, курс обыкновенных дифференциальных уравнений, физика, уравнения математической физики, теоретическая механика и много технических дисциплин с динамическим уклоном получают определенный рывок в науку.

**Список использованной литературы:**

1. Степанов В. В. Курс дифференциальных уравнений. Госиздат тех. литературы. 1953. с. 468.
2. Чочиев Т. З. Условие, гарантирующее решение характеристического уравнения Эйлера в квадратурах. // Труды XV международного симпозиума. (МДОЗМФ-2011), Харьков-Херсон, 2011, с. 394-403.
3. Чочиев Т. З. О решении обыкновенных дифференциальных уравнений высшего порядка. Вестник Харьковского университета №1037, 2012, с. 224-234.
4. Чочиев Т.З. Об одном варианте исследования уравнения Риккати. // Актуальные проблемы естественных и математических наук в России и за рубежом, международная научно – практическая конференция. Сборник научных трудов по итогам конференции. Новосибирск, 2015. с.10-13.

## О РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ КОШИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

**Байзаков Асан Байзакович**

*Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института теоретической и прикладной математики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек*

**Айтбаев Кубат Асаналиевич**

*Научный сотрудник Института теоретической и прикладной математики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек*

## SOLVABILITY OF THE CAUCHY PROBLEM FOR A CLASS OF PARTIAL INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

*Baizakov Asan Bayzakovich*

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher at the Institute of Theoretical and Applied Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek*

*Aitbaev Kubat Asanaliievich*

*Researcher at the Institute of Theoretical and Applied Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek*

### АННОТАЦИЯ

Применением метода преобразования решений найдены достаточные условия разрешимости задачи Коши для интегро-дифференциальных уравнений в частных производных третьего порядка.

### ABSTRACT

Application of the method conversion solutions found sufficient conditions for the solvability of the Cauchy problem for integro-differential equations in partial derivatives of the third order.

**Ключевые слова:** Интегро-дифференциальные уравнения в частных производных; задача Коши; принцип сжатых отображений; условие Липшица; интегральное уравнение Вольтерра.

**Keywords:** Integro-differential equations in partial derivatives; Cauchy problem; the principle of contraction mapping; Lipschitz condition; Volterra integral equation.

Интегро-дифференциальные уравнения в частных производных, дающие возможность математического представления процессов с последствием, протекающих в пространстве и во времени играют важную роль в математике и ее приложениях. До сих пор остается малоисследованной областью проблема выяснения разрешимости задачи Коши для интегро-дифференциальных уравнений в частных производных. В [1-4] найдены разрешимость и структура решений задачи Коши для дифференциальных уравнений в частных производных. В этих работах предлагается аналитический метод построения решений клас-

сической задачи Коши для дифференциальных уравнений в частных производных. Сутью предложенного метода является преобразование решений исходной задачи Коши в эквивалентное ей интегральное уравнение Вольтерра, к которой применим принцип сжатых отображений. Целью настоящей работы является применение вышеуказанного аналитического метода к исследованию разрешимости задачи Коши для интегро-дифференциальных уравнений в частных производных третьего порядка.

Рассмотрим уравнение вида

$$u_{xx} + \alpha u_{xx} + 2\beta u_{xx} + 2\alpha\beta u_x + (\beta^2 + 1)u_t + \alpha(\beta^2 + 1)u = f(t, x, u) + \int_0^t K(t, s, u) ds \quad (1)$$

с начальным условием

$$u(0, x) = \varphi(x), \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta$  - некоторые положительные постоянные,  $f(t, x, u(t, x)), K(t, s, u)$  известные непрерывные функции;  $\varphi(x)$  - известная непрерывная функция равномерно ограниченная вместе со своими производными входящими в (1).

Решение задачи Коши (1)-(2) будем искать в виде

$$u(t, x) = c(t, x) + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(s, \rho) d\rho ds \tag{3}$$

где  $c(t, x)$  - известная непрерывная функция, при этом  $c(0, x) = \varphi(x)$ ,  $Q(t, x)$  - новая неизвестная функция, которую необходимо определить. Предположим, что функция  $c(t, x)$  равномерно ограничена вместе со своими производными в (1).

Для определения функции  $Q(t, x)$  необходимо подставлять (3) в (1). С этой целью, учитывая (3), последовательно вычислим нижеследующие соотношения. Получим:

$$u_t = c_t + \int e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho - \alpha(u - c) \tag{4}$$

Дифференцируя обе части (4) по  $x$  имеем

$$u_{tx} = c_{tx} - \beta \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho + \int e^{-\beta(x-\rho)} \cos(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho - (u_x - c_x) \cdot$$

Отсюда, получим

$$u_{tx} + \alpha u_x = c_{tx} + \alpha c_x - \beta(u_t + \alpha u - c_t - \alpha c) + \int e^{-\beta(x-\rho)} \cos(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho; \tag{5}$$

$$\alpha u_{xx} + u_{xxx} + \beta u_{tx} + \alpha \beta u_x = c_{xxx} + \alpha c_{xx} + \beta c_{tx} + \alpha \beta c_x + Q(t, x) -$$

$$-\beta \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \cos(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho - \int e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(t, \rho) d\rho, \tag{6}$$

где при вычислении учтено соотношение (5). Складывая почленно соотношения (4)-(6) имеем

$$u_{xxx} + \alpha u_{xx} + \beta u_{tx} + \alpha \beta u_x + \beta u_{tx} + \alpha \beta u_x + \beta^2 u_t + \beta^2 \alpha u = c_{xxx} + \alpha c_{xx} + 2\beta c_{tx} + 2\alpha \beta c_x + Q(t, x) + \beta^2 c_t + \beta^2 \alpha c - (u_t + \alpha u - c_t - \alpha c) \cdot$$

или

$$u_{xxx} + \alpha u_{xx} + 2\beta u_{tx} + 2\alpha \beta u_x + (\beta^2 + 1)u_t + \alpha(\beta^2 + 1)u = c_{xxx} + \alpha c_{xx} + 2\beta c_{tx} + 2\alpha \beta c_x + Q(t, x) + (\beta^2 + 1)c_t + \alpha(\beta^2 + 1)c \cdot$$

(7)

Заменяя правую часть (1) полученным уравнением из (7) имеем нелинейное интегральное уравнение относительно  $Q(t, x)$ :

$$Q(t, x) = f\left(t, x, c + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(s, \rho) d\rho ds\right) + \int_0^t K\left(\tau, s, c + \int_0^\tau e^{-\alpha(\tau-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(s, \rho) d\rho ds\right) d\tau + {}^0H(t, c), \tag{8}$$

где

$$H(t, c) = c_{tx} + c_{xx} + 2\beta c_{tx} + 2\alpha \beta c_x + (\beta^2 + 1)c_t + \alpha(\beta^2 + 1)c \cdot$$

Нелинейное интегральное уравнение (8) будем решать методом принципа сжатых отображений.

**Предположение (К):**

- 1) При всех  $\{0 \leq t \leq T, -\infty < c < \infty\}$  функция  $H(t, c)$  непрерывна и ограничена

$$\|H(t, c)\| \leq M_0 = const;$$

- 2) в области  $R = \{0 \leq t < \infty, -\infty < x < u < \infty\}$  функции  $f(t, x, u)$ ,  $K(t, s, u)$  непрерывны и ограничены

$$\|f(t, x, u)\| \leq M_1 = const; \|K(t, s, u(s))\| \leq M_2 = const. \tag{9}$$

Кроме того, в этой области функции  $f(t, x, u)$ ,  $K(t, s, u)$  удовлетворяют условию Липшица по третьему аргументу  $u$ :

$$\|f(t, x, u_2) - f(t, x, u_1)\| \leq L \|u_2 - u_1\|, \|K(t, s, u_2) - K(t, s, u_1)\| \leq L_1 \|u_2 - u_1\|, \tag{10}$$

где  $L, L_1$  - некоторые положительные постоянные.

Правую часть (8) рассмотрим как оператор  $A[Q]$ , действующий на функцию  $Q(t, x)$ , во множестве

$$\Omega = \{Q(t, x) : Q(t, x) \in C(R), \|Q(t, x)\| \leq M\} \cdot$$

Имеем  $\|A[Q]\| \leq \|f(t, x, u)\| + M_1 + M_0 + TM_2 \leq M$ , где  $M = const$ .

Итак, оператор  $AQ$  отображает множество  $\Omega$  в себя:  $A : \Omega \rightarrow \Omega$ . Докажем, что оператор  $A$  есть сжимающий оператор.

Учитывая (8)-(10) оценим разность



$$\begin{aligned} \|A[Q_1(t,x)] - A[Q_2(t,x)]\| &\leq \left\| f\left(t,x,c + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q_1(t,s) d\rho ds\right) - \right. \\ &\quad \left. - f\left(t,x,c + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q_2(t,s) d\rho ds\right) \right\| + \\ &\quad + \left\| \int_0^t \left[ K\left(t,s,c + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q_1(s,\rho) d\rho ds\right) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - K\left(\tau,s,c + \int_0^\tau e^{-\alpha(\tau-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q_2(s,\rho) d\rho ds\right) \right] d\tau \right\| \leq \\ &\leq L \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) \|Q_1(t,s) - Q_2(t,s)\| d\rho ds \leq \\ &\leq \left( L \frac{1}{\alpha\beta} + TL_1 \frac{1}{\alpha\beta} \right) \|Q_1(t,x) - Q_2(t,x)\| \leq \frac{1}{2} \|Q_1(t,x) - Q_2(t,x)\|, \end{aligned}$$

где  $\alpha, \beta$  - выбраны такими, что выполняется

$$\frac{L + TL_1}{\alpha\beta} \leq \frac{1}{2}.$$

Отсюда следует, что оператор  $A$  есть сжимающий оператор во множестве  $\Omega$ . Тогда по принципу сжатых отображений, отсюда следует, что нелинейное интегральное уравнение (8) при всех  $\{0 \leq t \leq T, -\infty < x < \infty\}$  имеет единственное непрерывное решение  $Q(t,x)$ .

Исследуем теперь дифференциальные свойства решений задачи Коши (1)-(2). Из (3) при всех  $\{0 \leq t \leq T, -\infty < x < \infty\}$  имеем неравенство

$$\|u(t,x)\| \leq \|c(t,x)\| + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} |\sin(x-\rho)| \|Q(s,\rho)\| d\rho ds \leq \tilde{n}_0 + \frac{M}{\alpha\beta} = M_{00} = const.$$

Из (4) имеем оценку

$$\|u_t\| \leq \|c_t\| + \int_{-\infty}^x e^{-\beta(x-\rho)} \sin(x-\rho) Q(t,\rho) d\rho + \|\alpha(u-c)\| \leq \bar{M}_0.$$

Итак, доказана

**Теорема.** Пусть 1) выполнено предположение (К) и при всех  $\{0 \leq t \leq T, -\infty < x < \infty\}$  функции  $c(t,x), c(0,x) = \varphi(x)$  равномерно ограничены вместе со своими производными входящими в (1);

2)  $\frac{L + TL_1}{\alpha\beta} \leq \frac{1}{2}.$

Тогда при всех  $\{0 \leq t \leq T, -\infty < x < \infty\}$  нелинейное интегро-дифференциальное уравнение (1) с начальными данными (2) имеет единственное ограниченное решение. Кроме, того, все производные входящие в уравнение (1) равномерно ограничены.

**Список литературы:**

1. Иманалиев М.И., Иманалиев Т.М., Какишов К. О задачах Коши для нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными шестого порядка // Исслед. по интегро-дифференц. уравнениям. – Бишкек: Илим, 2007. – Вып. 36. – С. 19–28.
2. Иманалиев М.И., Какишев К.К., Какишев Ж.К. Сингулярно возмущенное дифференциальное уравнение второго порядка с точкой поворота // Тез. докл. межд. научн. конф. «Актуальные проблемы дифференциальных уравнений математической физики». – Алматы, 2005. – с. 94.
3. Иманалиев М.И., Байзаков А.Б. О разрешимости задачи Коши для одного класса нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных // Поиск (научн.приложение междунард.журнала «Высшая школа Казахстана»), сер. ест.-техн.наук, №1, Алматы,2009.-С.209-213.
4. Imanaliev M.I., Baizakov A.B., Imanaliev T.M. Problem of Cauchy for the singularly-perturbed systems of the integro-differential equations with the turn point//Repots of the third Congress of the World mathematical Society of countries.- Almaty, 2009. V.1.- P.296-301.

## РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ТРОЙНОГО СОЕДИНЕНИЯ $TlInSe_2$ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{0,98}Ce_{0,02}Se_2$ И $TlIn_{0,96}Ce_{0,04}Se_2$

*Годжаев Э.М., Ахмед А.А., Османова С.С., Сафарова С.И.*

**РЕЗЮМЕ**

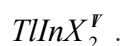
В работе излагаются результаты расчета оптических функций: реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, эффективного числа валентных электронов на атом, реальной и мнимой частей коэффициента преломления, коэффициента отражения, коэффициента поглощения, мнимой части обратной величины комплексной диэлектрической проницаемости, эффективной диэлектрической проницаемости, эффективной плотности, реальной и мнимой частей оптической электропроводности тройного соединения  $TlInSe_2$  и твердых растворов  $TlIn_{0,98}Ce_{0,02}Se_2$  и  $TlIn_{0,96}Ce_{0,04}Se_2$  при поляризациях  $e_{||c}$  и  $e_{\perp c}$  в интервале энергий 0-12эВ

**Введение**

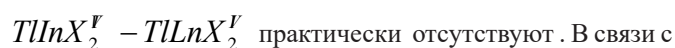
В последние десятилетия интенсивно исследуются цепочечные и слоистые соединения типа  $A^{III}B^{III}C^{VI}_2$  и твердые растворы на их основе. О соединениях вышеуказанного типа и их рентгеноструктурном исследовании сообщалось в работах [1, 2]. В литературе имеются многочисленные информации по исследованию комплексных свойств соединений типа  $A^{III}B^{III}C^{VI}_2$  и их твердых растворов. Зонные структуры этих соединений исследовались в работах [3-5].

Имеются сведения по исследованию многокомпонентных систем типа  $-TlInX_2^I - TlInX_2^I$ , где Ln- лантаноиды,  $X - S, \delta, \mathcal{F}$  [6-9].

В этих же работах методами дифференциально-термического, микроструктурного и рентгенофазового анализов построены диаграммы состояния вышеуказанных систем и выявлено, что в этих системах наблюдаются области растворимости на основе исходных соединений



Электрофизические и теплофизические свойства этих фаз исследовались в работах [10-15]. Однако исследования оптических свойств твердых растворов типа



практически отсутствуют. В связи с этим, в настоящей работе мы приводим результаты расчета оптических функций тройного соединения  $TlInSe_2$  и

твердых растворов  $TlIn_{1-x}E_x\delta_2$  на его основе.

**Результаты расчета и их обсуждение**

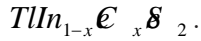
Исследование оптических явлений в твердых телах дает ценную информацию об их зонной структуре и поведении в них разного рода квазичастиц: электронов, экситонов, фононов, поляронов и др. Изучение кристаллов



находится на начальной стадии. Фазы данного типа привлекают большое внимание в связи с уникальными свойствами и возможностями практического

применения базового соединения  $TlInSe_2$ .

В этой работе рассматриваются теоретически рассчитанные оптические данные кристаллов типа



Известно, что оптические свойства твердого тела с конечной проводимостью полностью определяются частотной зависимостью комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon(\omega)$ , мнимая часть которой связана с электропроводностью ( $\sigma$ )

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_r(\omega) + i\epsilon_i(\omega) = \epsilon_r(\omega) + i\frac{4\sigma}{\omega} = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

или частотной зависимостью комплексного показателя преломления

$$\bar{n}(\omega) = n(\omega) + k(\omega) = \frac{c}{v}$$

где  $\epsilon_r$  и  $\epsilon_i$ -действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости,  $v$ -фазовая скорость света в веществе,  $n$ -показатель преломления,  $k$ -показатель поглощения.

Эти оптические постоянные определяют фазу и затухание световой волны в веществе. Амплитуда световой волны в веществе убывает как  $\exp(-\omega k / c)$ , поэтому интенсивность света пропорциональна  $|E^2|$ , где  $\vec{E}$ -электрический вектор световой волны и уменьшается как  $\exp(-2\omega k / c) = \exp(-K)$ .

$$K = \frac{2\omega k}{c} = \frac{4\pi k}{\lambda},$$

называется коэффициентом поглощения, и ее обратная величина равна глубине проникновения света в вещество волны, уменьшается в  $e$  раз.

Показатель преломления и показатель поглощения связаны с действительной  $\epsilon_r$  и мнимой  $\epsilon_i$  частями

диэлектрической постоянной соотношениями

$$\epsilon_r = n^2 - k^2$$

$$\epsilon_i = 2k = \frac{4\sigma}{\omega}$$

где  $\sigma$ -проводимость при данной частоте ( $\omega$ ).

Для определения оптических постоянных при данной частоте измеряется либо интенсивность прошедшей через образец, либо отраженной от его поверхности.

Коэффициент отражения определяется формулой [16]

$$R = \left| \frac{\bar{n} - 1}{\bar{n} + 1} \right|^2 = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2}.$$

В отсутствии интерференционных эффектов коэффициент пропускания определяется

$$T = \frac{(1 - R^2) \exp(-K)}{(1 + R^2) \exp(-2K)},$$

где  $d$ -толщина образца. Из последних выражений следует, что для определения  $n$  и  $k$  надо либо измерять на одном образце  $T$  и  $R$ , либо  $T$  на двух образцах разной толщины.

В области межзонных переходов коэффициент поглощения достигает значений  $0.4 - 0.6 \tilde{n}^{-1}$ , и приготовление тонких кристаллических образцов для осуществления измерений поглощения становится весьма трудной и часто невыполнимой задачей. Пленки, получаемые напылением или испарением в вакууме, гораздо менее пригодны для таких измерений из-за трудности их получения в кристаллическом виде со строго определенными параметрами, а также из-за необходимости учитывать поглощение подложкой. Поэтому для определения  $n(\omega)$  и  $k(\omega)$  в области межзонных переходов и других областях сильного поглощения, в настоящее время широко используются косвенные методы измерения коэффициента поглощения. Один из таких методов основан на измерении интенсивности отраженного света и его поляризации. Падающая на поверхность вещества под углом  $\Phi$  плоская

линейно-поляризованная световая волна преобразуется при отражении в эллиптически-поляризованную. Измеряя элементы эллиптической поляризации при помощи компенсатора и анализатора, можно определить оптические постоянные  $\mathbf{n}$  и  $\mathbf{k}$ . Применимость этого и других аналогичных методов в различных областях спектра существенно ограничивается наличием соответствующих компенсаторов и анализаторов.

Этого недостатка лишен метод определения оптических постоянных из анализа полного спектра отражения при нормальном падении при помощи дисперсионных соотношений Крамерса-Кронига, связывающих амплитуду и фазу отраженной волны. В связи с этим на основе зонной структуры мы определили оптические константы кристаллов  $\text{TlInSe}_2$  данной фазы.

Мы провели расчеты мнимой, реальной частей комплексной диэлектрической проницаемости и эффективного числа валентных электронов при поляризациях параллельной и перпендикулярной оптической оси.

Для определения частотной зависимости диэлектрической проницаемости было использовано соотношение:

$$\epsilon_i(\omega) = \frac{4\pi^2 e^2}{m_e^2 \omega^2} \sum_{\mathbf{r}} \int_{\mathbf{B}} \frac{2d^3k}{(2\pi)^3} |\mathbf{e} \cdot \mathbf{M}_v(\mathbf{k})| \delta(E_c(\mathbf{k}) - E_v(\mathbf{k}) - \hbar\omega), \tag{1}$$

где  $\mathbf{e} \cdot \mathbf{M}_v(\mathbf{k}) = \mathbf{e} \cdot \int \psi_k^*(\mathbf{r})(-i\hbar\nabla)\psi_k(\mathbf{r})d^3r$ ,

здесь интеграл обозначает матричный элемент оператора импульса  $\mathbf{p} = -i\hbar\nabla$ ; индексы  $v$  и  $c$  характеризуют состояния валентной зоны и зоны проводимости соответственно;  $\mathbf{k}$ - волновой вектор;  $\mathbf{e}$  - единичный вектор поляризации. В (1) интегрирование проводится по объему элементарной ячейки кристалла и интегрирование по зоне Бриллюэна заменено суммированием в элементарной ячейке обратной решетки. Элементарная ячейка была разделена на 27 равных по объему частей и в них случайным образом выбирались  $\mathbf{k}$  точки. Было взято 2754 точек и получилась плавная гистограмма. Гистограмма нормировалась выражением

$$\int_0^\infty \omega_i(\omega) d\omega = \frac{\pi}{2} \omega_p^2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{4\pi n_e e^2}{m_e},$$

где  $\omega_p$  - плазменная частота для электронов;  $n_e$  - средняя плотность электронов в кристалле. На основании проведенного расчета получено, что  $\hbar\omega_p = 14,90$  эВ.

Гистограмма строилась с шагом  $\approx 0,17$  эВ. Все переходы  $v \rightarrow c$  с энергией до 15 эВ были рассмотрены. Начиная с небольшой структуры в гисто-грамме, около 15 эВ, зависимость  $\epsilon_i(\omega)$  экстраполировалась по известной формуле

$$\epsilon_i(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow \infty} \sim \frac{1}{\omega^3}.$$

Для вычисления реальной части диэлектрической проницаемости использовали интегральное дисперсионное соотношение Крамерса-Кронига

$$\epsilon_r(\omega) = 1 + \frac{2}{\pi} P \int_0^\infty \omega' \epsilon_2(\omega') \cdot \frac{d\omega'}{\omega'^2 - \omega^2},$$

Символ  $P$  обозначает интеграл в смысле главного значения.

Эффективное число валентных электронов на атом, участвующих в переходах с энергией  $E \leq \hbar\omega$ , определено по формуле

$$n_{eff} = \frac{m_e}{2\pi^2 e^2} \cdot \frac{1}{n_a} \int_0^\omega \epsilon_i(\omega') \omega' d\omega',$$

$$n_a = \frac{N_{\ddot{a}\ddot{y}\ddot{z}\ddot{a}\ddot{e}\ddot{e}\ddot{a}}}{V_{\ddot{y}\ddot{z}\ddot{a}\ddot{e}\ddot{e}\ddot{z}}},$$

здесь  $n_a$  - плотность атомов в кристалле;  $e$  - заряд;  $m_e$  - масса электрона.

Расчеты вышеуказанных оптических констант в области энергий 0-12 эВ отражены в виде графиков (рис. 1-3). Максимум основного пика в спектре  $\epsilon_i(\omega)$  (рис.1б) при поляризации  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  находится при энергии  $\approx 3,6$  эВ, а при  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c} \approx 2,36$  эВ, в спектре  $\epsilon_r(\omega)$  (рис.1а) при  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c} \approx 2,68$  эВ, а  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c} \approx 2,2$  эВ. В спектре  $\epsilon_i(\omega)$  при поляризации  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c}$

имеются еще два пика с энергиями  $\approx 3,0$  эВ,  $\approx 5,6$  эВ. При поляризации  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  эти дополнительные пики расположены при энергиях  $\approx 3,5$  эВ,  $\approx 4,6$  эВ, но они слабо выражены. Согласно зависимости (рис.1с) эффективное число

валентных электронов  $n_{eff}$ , участвующих в переходах с энергией меньше 15 эВ, равно 3 при обеих поляризациях. При больших энергиях, как и следовало ожидать, это число стремится к 4.

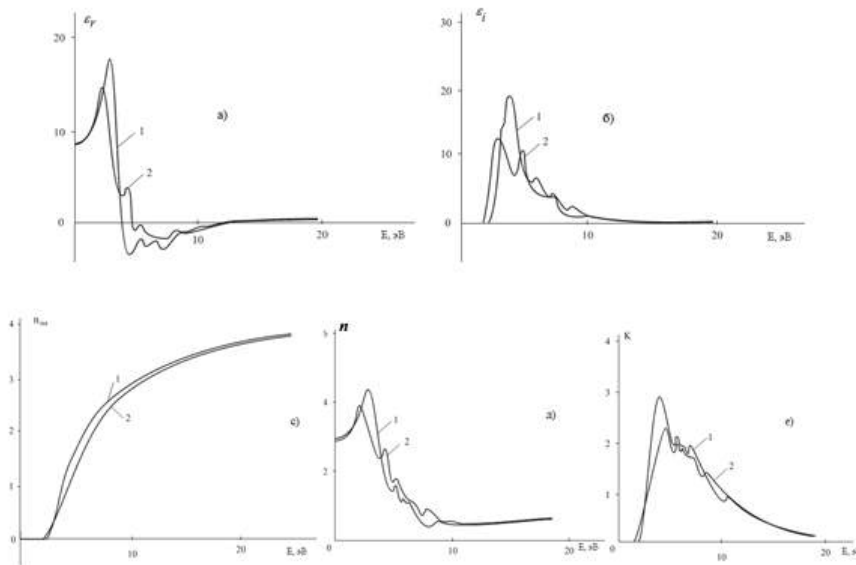


Рис. 1. Спектральные характеристики реальной (а) и мнимой (б) частей диэлектрической проницаемости, эффективного числа валентных электронов на атом (с); реальной части коэффициента преломления (д); мнимой части коэффициента преломления (е) соединения  $TlInSe_2$  при поляризациях  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  (1) и  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c}$  (2)

Максимальное значение  $\epsilon_i$  определяется при поляризации  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c} \approx 12,79$  и  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c} \approx 19,06$  и такое различие характерно для цепочечных кристаллов с сильной анизотропией,  $\epsilon_r(0) = 14,71$  при поляризации  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  и  $\epsilon_r(0) = 17,81$  при  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c}$ . Нами полученные теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными по оптическим свойствам тройных соединений цепочечной структуры типа  $TlSe$ .

Вещественная часть показателя преломления определялась выражением

$$n = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \epsilon_r + \sqrt{\epsilon_r^2 + \epsilon_i^2} \right)}$$

Энергетическая зависимость главного показателя преломления приводится на рис.1(д). При  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  зависимость  $n(E)$  начинается со значения  $n(0) = 3$  и достигает максимума при энергии 2,36 эВ (3,86), затем слабый

минимум при энергии 3,18 эВ (3,02) и снова небольшой пик при энергии 4,49 эВ (2,65), дальнейший спад зависимости  $n(E)$  до значения энергии равной 6,77 эВ (1,19). При  $E > 4.49$  эВ коэффициент преломления монотонно уменьшается. Что касается  $\mathbf{e} \perp \mathbf{c}$  поляризации, то здесь сначала проявляется ярко выраженный пик при 2,85 эВ (4,37), затем слабый минимум при 5,31 эВ (1,44) и снова, небольшой максимум при энергии 5,63 эВ (1,69), слабый минимум при 6,12 эВ (1,21) и не считая небольшого пика при 6,45 эВ (1,23) так же как и при  $\mathbf{e} \parallel \mathbf{c}$  наступает монотонное уменьшение коэффициента преломления.

Мнимая часть коэффициента преломления определяется формулой

$$k = \sqrt{\frac{1}{2} \left( -\epsilon_r + \sqrt{\epsilon_r^2 + \epsilon_i^2} \right)}$$

На рис.1(е) представлена спектральная зависимость мнимой части коэффициента преломления



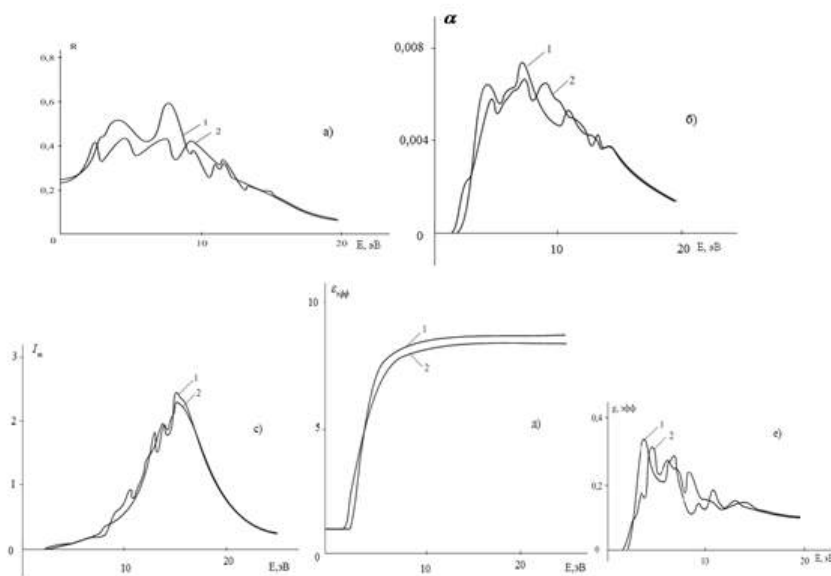
соединения  $TlInSe_2$ . Для  $e||c$  поляризации зависимость  $k(E)$  начинается с энергии равной 1,55 эВ, затем происходит увеличение мнимой части коэффициента преломления, достигая максимума при энергии 4,65 эВ (2,31), затем монотонное уменьшение остальных областей  $k(E)$  зависимости. При поляризации  $e\perp c$  зависимость  $k(E)$  начинается с энергии равной 1,71 эВ, при 3,02 эВ (1,72) образует плечо и далее увеличиваясь, достигает максимума при энергиях 3,84 эВ (2,92) и 4,16 эВ (2,85), а между максимумами находится минимум 4,0 эВ (2,85),

далее зависимость  $k(E)$  монотонно уменьшается и заметных структур не наблюдается.

Коэффициент отражения при нормальном падении света определяется выражением:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2}$$

На рис.2(а) приведена спектральная зависимость коэффициента отражения соединения  $TlInSe_2$  для  $e||c$  и  $e\perp c$  поляризаций.



**Рис 2.** Спектральные характеристики коэффициента отражения (а), коэффициента поглощения (б), мнимой части обратной величины комплексной диэлектрической проницаемости (с), эффективной диэлектрической проницаемости (д), эффективной плотности (е) соединения  $TlInSe_2$  при поляризациях  $e||c$  (1) и  $e\perp c$  (2)

Максимум коэффициента отражения при поляризации параллельной оптической оси кристалла находится при энергии  $\approx 4,65$  эВ (0,43), затем проявляются слабые пики при энергиях  $\approx 5,95$  эВ (0,37),  $\approx 6,45$  эВ (0,39),  $\approx 7,59$  эВ (0,43),  $\approx 9,38$  эВ (0,46),  $\approx 10,69$  эВ (0,36),  $\approx 11,67$  эВ (0,32). Основной минимум при энергиях  $\approx 4,16$  эВ (0,32) и  $\approx 8,24$  эВ (0,33). Наблюдаются слабые минимумы при энергиях  $\approx 3,02$  эВ (0,33),  $\approx 5,36$  эВ (0,35),  $\approx 5,95$  эВ (0,37),  $\approx 6,94$  эВ (0,38),  $\approx 8,73$  эВ (0,37),  $\approx 10,36$  эВ (0,36),  $\approx 11,34$  эВ (0,30). При поляризациях перпендикулярной оптической оси кристалла основные максимумы проявляются при энергиях  $\approx 4,32$  эВ (0,51),  $\approx 7,75$  эВ (0,59), слабые пики при энергиях  $\approx 5,95$  эВ (0,44),  $\approx 6,45$  эВ (0,45),  $\approx 9,71$  эВ (0,37),  $\approx 11,18$

эВ (0,29),  $\approx 11,84$  эВ (0,29). Яркие выраженные минимумы при энергиях  $\approx 5,47$  эВ (0,39),  $\approx 10,53$  эВ (0,24), слабо выраженные пики при энергиях  $\approx 8,16$  эВ (0,45),  $\approx 9,25$  эВ (0,42),  $\approx 9,90$  эВ (0,37).

Коэффициент поглощения определяется формулой

$$\alpha(\omega) = \frac{4\pi}{\lambda} k(\omega) = \frac{2}{\tilde{n}} \omega k,$$

здесь  $\tilde{n}$ -скорость света в вакууме.

Спектральная зависимость коэффициента поглощения приведена на рис. 2(б).

Для определения характеристической функции потерь энергии электронов использовали выражение

$$-I_m\left(\frac{1}{\epsilon}\right) = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i^2 + \epsilon_r^2}.$$

Спектральная характеристика мнимой части обратной величины комплексной диэлектрической проницаемости  $(I_m(-\epsilon^{-1}))$  представлена на рис.2(с). Как следует из рис.2(с) при поляризации  $e||c$  на зависимости наблюдаются два максимума при энергиях 13,47 эВ (1,94) (малый максимум) и 15,01 эВ (2,25) (большой максимум). При  $e\perp c$  поляризации ярко выраженный максимум при энергии 15,01 эВ (2,36).

Эффективная диэлектрическая проницаемость, возникающая за счет межзонных оптических переходов вычисляется формулой:

$$\epsilon_{y\delta\delta} = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega} (\omega')^{-1} \epsilon_i(\omega') d\omega'.$$

Полученные результаты расчета приведены на рис. 2(д).

Для вычисления эффективной плотности состояний пользовались формулой:

$$g_{y\delta\delta} = \epsilon_i(\hbar\omega)^2,$$

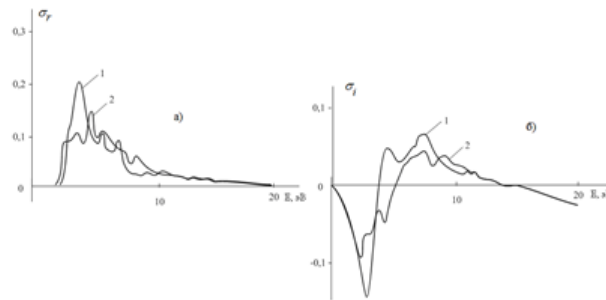
а результаты расчета приводятся на рис.2(е).

Реальная и мнимая части оптической электропроводности рассчитываются формулами:

$$\sigma_r = \frac{\omega_i}{4\pi}, \quad \sigma_i = -\frac{\omega_r}{4\pi}.$$

Зависимость  $\sigma_r(E)$  представлена на рис. 3(а), где для  $e||c$  поляризации наблюдается ярко выраженный максимум при энергии 4,65 эВ (0,15) и минимум при 5,30 эВ (0,09), затем небольшая структура при 5,63 эВ (0,11) и далее монотонное уменьшение зависимости  $\sigma_r(E)$ . Для  $e\perp c$  поляризации наблюдается ярко выраженный пик при энергии 3,67 эВ (0,205).

На рис.3 (б) представлена зависимость  $\sigma_i(E)$ . Отсюда видны два ярких минимума при энергиях 2,02 эВ

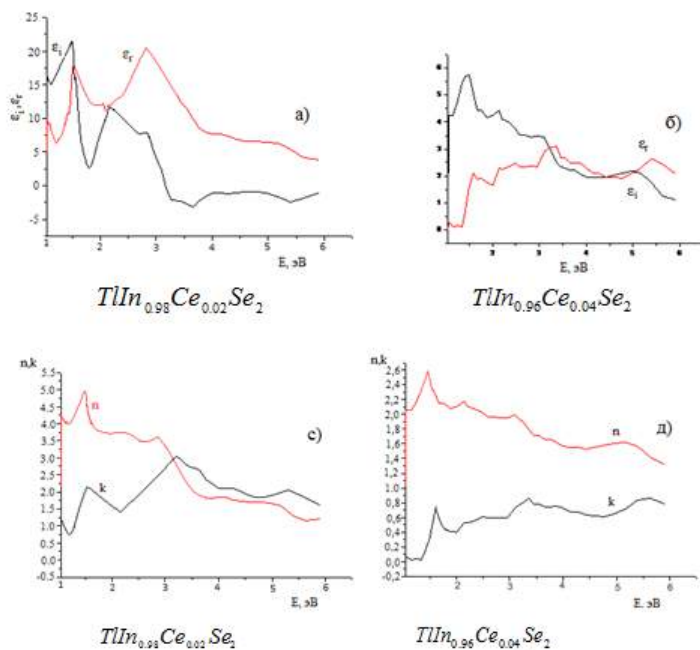


**Рис 3.** Спектральные характеристики реальной (а) и мнимой (б) частей оптической электропроводности соединения  $TlInSe_2$  при поляризациях  $e||c$  (1) и  $e\perp c$  (2)

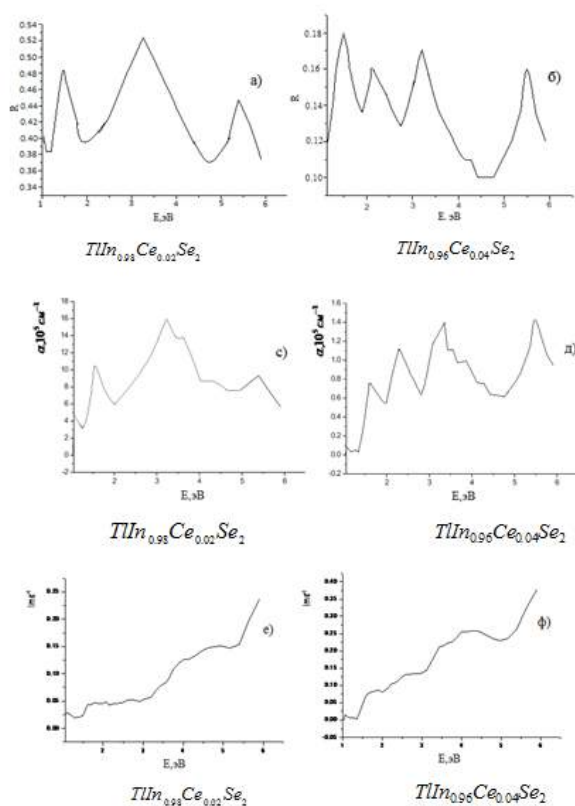
(-0,09), 3,18 эВ (-0,06) и ярко выраженные максимумы при энергиях 2,85 эВ (-0,05), 3,83 эВ (-0,032) (для  $e||c$ ). А для  $e\perp c$  поляризации, здесь наблюдается минимум при 2,85 эВ (-0,14), затем небольшое плечо при энергии 3,18 эВ (-0,12) и максимум при 7,59 эВ (0,058) и далее для обеих поляризацій происходит монотонное уменьшение  $\sigma_i(E)$ .

Результаты расчетов оптических констант твердых растворов  $TlIn_{1-x}E_xS_2$  в области 0-6эВ приведены на рисунках 4, 5. В спектре  $\epsilon_r(E)$  твердого

раствора  $TlIn_{0,8}E_{0,0}S_2$  (рис.4а ) при поляризации  $e||c$  максимумы находятся при энергиях 1,6 и 2,9 эВ, а минимумы при 1,2 и 2,15эВ. В спектре  $\epsilon_i(E)$  при той же поляризации для этого же твердого раствора яркие максимумы находятся при энергиях 1,51 и 2,14 эВ и слабый максимум при 2,9эВ, а минимумы наблюдаются при энергиях 1,81 и 3,6эВ.



**Рис.4.** Спектральные характеристики реальной (а) и мнимой (б) частей диэлектрической проницаемости, реальной (с) и мнимой частей коэффициента преломления (д) твердых растворов  $TlIn_{0.98}Ce_{0.02}Se_2$  и  $TlIn_{0.96}Ce_{0.04}Se_2$  при поляризации  $e||c$



**Рис.5.** Спектральные характеристики коэффициента отражения (а, б), коэффициента поглощения (с, д), мнимой части обратной величины комплексной диэлектрической проницаемости (е, ф) твердых растворов  $TlIn_{0.98}Ce_{0.02}Se_2$  и  $TlIn_{0.96}Ce_{0.04}Se_2$  при поляризации  $e||c$

Для твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  (рис.4б) слабые максимумы при поляризации  $e||c$  на кривой  $\varepsilon_r(E)$  находятся при энергиях 1,52 и 3,3эВ, а слабый минимум при энергии 2эВ, а на зависимости  $\varepsilon_i(E)$  яркий максимум наблюдается при энергии 1,52эВ, а слабые максимумы при энергиях 2,1 и 3,2 эВ. Из сравнения полученных данных следует, что с увеличением содержания церия в составе твердых растворов зависимости кривых  $\varepsilon_r(E)$  и  $\varepsilon_i(E)$  сглаживаются, т.е. дисперсия исчезает. На рис. 4(с) представлена энергетическая спектральная зависимость главного показателя преломления.  $n(E)$  твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  начинается со значения  $n(0) = 4,3$  и достигает максимума при энергии 1,61 эВ (4,8), затем слабый максимум при энергии 2,92эВ. Заметные минимумы на кривой  $n(E)$  не обнаружены. В целом, в исследованном интервале энергии  $n$  с увеличением энергии монотонно уменьшается. Что касается  $k(E)$  зависимости, то в этом случае на кривой  $k(E)$  максимумы находятся при энергиях 1,54 и 3,34 эВ и минимумы при 1,25 и 2,23 эВ. После энергии 2,23 эВ  $k(E)$  так же монотонно уменьшается. Для твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  (рис.4д) характер изменения реальной и мнимой частей коэффициентов преломления в зависимости от энергии одинаковы. На кривой  $n(E)$  яркий максимум находится при энергии 1,45эВ, а для  $k(E)$  зависимости 1,55 эВ и слабые максимумы при энергиях 3,18 и 3,36 эВ соответственно. На рис.5(а) приведена спектральная зависимость коэффициента отражения твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$ . Хорошо выраженные максимумы на кривой  $R(E)$  наблюдались при энергиях 1,5, 3,22, и 5,5эВ, а минимумы при энергиях 1,95, 4,62эВ. А для твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  (рис.5б) число максимумов увеличивается и наблюдается при энергиях 1,55, 2,31, 3,41 и 5,52эВ, а минимумы при 1,95; 2,75 и 4,6эВ. Как следует из рис.5(а) с увеличением содержания  $\mathcal{E}$  в составе

твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  пик при энергии 3,22 удваивается, а первый и третий максимумы остаются в тех же энергетических положениях. На рис.5(с) и (д) приводятся спектральные зависимости коэффициентов поглощения твердых растворов  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  и  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$ .

Как следует из рис.5(с) на кривой  $\alpha(E)$  наблюдаются три максимума при энергиях 1,62; 3,23; 5,31эВ и минимумы при энергиях 1,2 и 2,12 эВ.

Для твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  (рис.5д) максимумы наблюдались при энергиях 1,76; 2,38; 3,46 и 5,46эВ, а минимумы при энергиях 2,07; 2,92 и 4,77эВ. Отметим, что и в зависимостях  $\alpha(E)$  с увеличением церия в составе твердого раствора  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  средний пик при энергии 3,23эВ удваивается, а первый и третий максимумы наблюдаются при тех же энергиях. Спектральная характеристика мнимой части обратной величины комплексной диэлектрической проницаемости  $I_m \varepsilon^{-1}$  твердых растворов  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  и  $TlIn_{0,8} \text{ } \mathcal{E}_{0,8} \text{ } \mathcal{S}_2$  (рис.5 е и ф) монотонно увеличиваются с увеличением энергии.

#### Литература

1. Müller V., Eulenberger G., Hahn H. Über ternere Thallium chalcogenide mit Thallium-selenid-struktur // Z., anorg., allg.chem, 1973, v.398, №2, p.207-220.
2. Hann H., Wellman B. Über ternare Chalcogenide des Thalliums mit Gallium und Indium // Naturwissenschaften, 1967, B4, H.2, p.42.
3. Gojaev E., Jahangirli Z., Alieva P., Khalilova Kh., Musaev T. // The Growth of Single Crystals of InGaSe<sub>2</sub> Compounds, Their X-Ray-Phase Analysis, Electronic Structure and Optical Functions” Open Journal of Inorganic Non-metallic Materials, USA, vol.3, №1, January 2013., pp.1-5.
4. E.M.Godzhayev, Z.A.Dzhakhangirli, U.S.Abdurahmanova, Sh.M.Mehdieva Optical functions, band structure and effective masses of electrons and holes in InGaTe<sub>2</sub>, Open Journal of Inorganic Non-Metallic Materials, April 2014, 4, USA, 13-20

5. Orudzhev Guseyn, Mamedov Nazim, Uchiki Hisao, Jamamoto Nabuyuki, Iida Seishi, Toyota Hideyuki, Gojaev Eldar, Hashimzade Firudin. Band structure and optical functions of ternary chain  $TlInSe_2$  // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2003. V.64. P. 1703-1706
6. Годжаев Э.М., Аллаяхаров А.А., Османова С.С. Диаграмма состояния и электрические свойства сплавов системы  $TlInSe_2 - TlGdSe_2$  // Изв. РАН «Неорганические материалы», 2005, т.41, №9, с. 1061-1064
7. Годжаев Э.М., Джафарова Г.С. Диаграмма состояния и свойства фаз системы  $TlInSe_2 - TPrS_2$ . Изв. РАН «Неорганические материалы», Москва, 2003, т.39, №1, с.11-13
8. Годжаев Э.М., Мамедов В.А., Гусейнова Ш.М. Диаграмма состояния и исследования электрических свойств сплавов систем  $TlInTe_2 - TlSmTe_2$  // Изв. АН СССР, «Неорганические материалы», 1983, т.19, № 11, с.1813-1815
9. Годжаев Э.М., Оруджев Н.Д., Мамедов В.А. и др. Исследование систем  $TlInSe_2 - TlNdSe_2$  и  $TlInTe_2 - TlNdTe_2$  // Изв. АН СССР, «Неорганические материалы», 1981, т.17, № 8, с.1388-1391
10. Виноградов Е.А., Гасанлы Н.М., Джавадов Б.М. и др. Инфракрасные спектры отражения слоистых монокристаллов  $TlGaTe_2$ ,  $TlInTe_2$  и  $TlInSe_2$  // ФТТ, 1979, т.21, №9, с.2793-2796.
11. Гасанлы Н.М., Джавадов В.М., Тагиров В.И., Маврин Б.Н. Симметрия решеточных колебаний сложных кристаллов  $TlGaTe_2, TlInSe_2$  и  $TlGaTe_2$  // Изв.вузов, физика, 1979, №3, с 104-106.
12. Годжаев Э.М., Аллаяхаров Э.А., Рустамов В.Д. и др. Синтез, выращивание монокристаллов и исследование акустовольтаического эффекта в  $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$  и  $TlIn_{1-x}Pr_xTe_2$  // Неорган. материалы. 2004. Т. 40. № 9. С. 1021–1026.
13. Годжаев Э.М., Аллаяхаров Э.А., Садыхова Х.О. Тензометрические свойства монокристаллов  $TlInTe_2$  Изв.РАН, «Неорганические материалы», 1994, т.30.
14. Годжаев Э.М., Садыхова Х.О. Вольтамперные характеристики сплавов системы  $TlInTe_2 - InGaTe_2$  // Изв.РАН «Неорганические материалы», т.29, №3, 1993, с.337.
15. Годжаев Э.М., Сафарова С.И., Абдурагимов А.А. Тепловое расширение кристаллов  $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2 (0 \leq x \leq 0.04)$ . Изв.РАН «Неорганические материалы». Москва 2007, том 43, №9, с.1042-1043.
16. Уханов Ю.И.. Оптические свойства полупроводников., Москва, Наука, 1977, с. 335.



## АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ И ТРАНСЦЕНДЕНТНЫЕ ПОГРУЖЕНИЯ

Долгарев Артур Иванович

к.ф.-м.н., доцент Пензенского государственного университета

### ALGEBRAIC AND TRANSCENDENTAL IMMERSION

#### АННОТАЦИЯ.

В работе продолжается характеристика погружений в 3-мерное евклидово пространство, отыскиваются условные поверхности в погружениях. Ранее рассматривались условные поверхности в погружениях, описываемых алгебраическими функциями второго порядка. Имеется один пример у Фоменко В. Т. условной сферы в погружении третьего порядка. Ниже указаны алгебраические погружения произвольного  $k$  — порядка ( $k$  — натуральное число), в которых имеются условные поверхности  $k$  — порядка, таких погружений определено бесконечно много. Кроме того приведены трансцендентные погружения, в которых выделены условные поверхности. Имеются 1-параметрические поверхности, отличные от линий и имеются погружения, в которых 3-мерное пространство заполняется полностью. Рассмотрен вопрос об омбиличности погружений в связи с омбиличностью условных поверхностей в погружении, омбиличность погружения не обеспечивается омбиличностью условных поверхностей в погружении.

#### ABSTRACT.

Work is ongoing in the characterization of immersions into 3-dimensional Euclidean space, be found in conditional surface dives. Earlier it was considered a notional surface in dives, the described grade algebraik functions of the second order. There is one example, Fomenko V. T. conditional sphere in the immersion of the third order. Following are algebraic immersion of arbitrary  $k$  — order ( $k$  natural number), in which there are conditional surface right, dives is defined infinitely many. Also presented are the transcendental immersion, in which the conditional surface. There is a 1-parametric surfaces from lines and there is immersion, in which 3-dimensional space is completely filled. Considered ombilicale dives in connection with the conditional ombilically surfaces in the dip, ombilicale immersion is not achieved the conditional ombilically surfaces in the dive.

Ключевые слова: алгебраические погружения произвольного порядка; трансцендентные погружения; условные поверхности в погружениях; омбилические погружения.

Keywords: algebraic immersion of arbitrary order; transcendental immersion; conventional surface dives; ombilic immersion.

Общепринятое определение  $n$  — параметрической поверхности  $m$  — мерного евклидова пространства,  $n < m$ , состоит в следующем. Поверхность  $n$  параметров есть погружение  $F^n : R^n \rightarrow E^m$   $n$  — мерного многообразия  $R^n$  в пространство  $E^m$ , рассматриваемое совместно с образом погружения, [1, с. 5].  $R^n$  состоит из кортежей  $x = (x^1, \dots, x^n)$ , точки в  $E^m$  есть  $u = (u^1, \dots, u^m)$ . Другими словами, поверхность есть пара: погружение  $F^n : R^n \rightarrow E^m$ , и образ  $F^n$  многообразия  $R^n$  в погружении. Возможно:  $R^n = E^n$ .

Поверхность  $F^n$  может быть описана векторной функцией

$$r(x, u) = (x^1, \dots, x^n, z^1(x), \dots, z^k(x), u^{n+k+1}, \dots, u^m), \quad (1)$$

параметры  $u^a$ ,  $a = n + k + 1, \dots, m$ , от параметров

$x^i$  не зависят, [2]. Существуют примеры поверхностей, не удовлетворяющие приведенному определению, в этих примерах происходит погружение на все пространство

$E^m$ . Ниже приведены примеры и такого вида. Напомним известное погружение.

#### 1. Линейное погружение

Задано линейное погружение  $\lambda : E^2 \rightarrow E^3$  скалярной функцией

$$z = kx + my, \quad k^2 + m^2 \neq 0,$$

равнозначно векторной функцией:

$$r(x, y) = (x, y, kx + my). \quad (1)$$

Точки  $(x, y)$  плоскости  $E^2$  отображаются на точки  $(u, v, w)$  пространства  $E^3$ , в (1):

$u = x, v = y, w = kx + my$ , Погружение  $\lambda$  определяет плоскость в  $E^3$ , уравнение плоскости  $\lambda$  таково:

$$z = kx + my, \quad \text{или} \quad kx + my - z = 0.$$

В соответствии с (1) вычислим выражение:

$$ku + mv + w = kx + my + kx + my = 2(kx + my) \tag{2}$$

Рассматриваем прямые  $ku + mv = a$  в  $E^2$ . Всякая прямая  $ku + mv = a$ ,  $a \in R$ , плоскости  $E^2$  в погружении (1) отображается, согласно (2), на плоскость  $kx + my + z = 2a$  в пространстве  $E^3$ , мы имеем условную поверхность  $kx + my + z = 2a$  в погружении (1) при условии  $ku + mv = a$ . Выполняется следующая ТЕОРЕМА. Пучок параллельных прямых  $ku + mv = a$  плоскости  $E^2$ , при непрерывном изменении величины  $a$ , в погружении (1) отображается на пучок параллельных плоскостей  $kx + my + z = 2a$  пространства  $E^3$ . Следовательно, имеет место

ТЕОРЕМА. Область определения погружения  $r(x, y) = (x, y, kx + my)$  совпадает с  $E^2$ , область значений рассматриваемого погружения совпадает с  $E^3$ . Указанные свойства погружения (1) неотъемлемы от его задания, они выполняются независимо от того, замечаем мы их или не замечаем. Погружение (1), согласно теореме 2, не выделяет в  $E^3$  подмногообразия, являющегося поверхностью в  $E^3$ , хотя общеизвестно, что погружение (1) описывает плоскость.

**2. Сферы Веронезе.**

Вместе с тем изучаются поверхности в евклидовых пространствах, получаемые в погружениях при выполнении некоторого условия в области определения погружения. Это так называемые условные поверхности. В [4, с. 246] сфера Веронезе в погружении  $E^3 \rightarrow E^5$  описывается следующими функциями:

$$u^1 = \frac{1}{\sqrt{3}} yz, \quad u^2 = \frac{1}{\sqrt{3}} xz, \quad u^3 = \frac{1}{\sqrt{3}} xy, \\ u^4 = \frac{1}{2\sqrt{3}}(x^2 - y^2), \quad u^5 = \frac{1}{6}(x^2 + y^2 - 2z^2). \tag{3}$$

В этом погружении сфера  $S^2(\sqrt{3})$  радиуса  $\sqrt{3}$  пространства  $E^3$  отображается на сферу  $S^4(1)$  радиуса 1 пространства  $E^5$ . Интересные свойства сферы Веронезе приведены в [4]. Т.к.  $S^2(\sqrt{3})$  сфера в  $E^3$ , то для точек  $(x, y, z)$  прообразов в погружении (3) выполняется условие

$$x^2 + y^2 + z^2 = 3, \tag{4}$$

для точек  $(u^1, u^2, \dots, u^5)$ , образов точек  $(x, y, z)$  в погружении (3) выполняется, как легко проверить, равенство

$$(u^1)^2 + (u^2)^2 + \dots + (u^5)^2 = 1, \tag{5}$$

которое позволило сделать заключение о том, что равенства (3) описывают сферу. Исследования в [4] и в других работах выявляют такие свойства погружения (3), которые не свидетельствуют в пользу сферы. В действительности, выполняется следующая

ТЕОРЕМА. Равенства (3) не сферу описывают, а говорят том, что сфера пространства  $E^3$  в (3) отображается на сферу пространства  $E^6$ . Легко доказать

ТЕОРЕМА. Равенства (3) задают в пространстве  $E^6$  коническую поверхность.

# Действительно, координаты начала координат  $O(0, \dots, 0)$  удовлетворяют уравнениям поверхности (3). Если точка  $P(u^1, \dots, u^5)$  лежит на поверхности (3), то и точка  $Q(su^1, \dots, su^5)$ ,  $s$  действительное, лежит на поверхности (3), т.к. каждая из функций в (3) однородна порядка 2. Сказанное означает, что прямая  $OP$ , проходящая через начало  $O$  и точку  $P$ , содержит и точку  $Q$  при любом  $s \in R$ . Т.е. прямая  $OP$  лежит на поверхности (3), следовательно, поверхность (3) является конической поверхностью. # Другие примеры условных поверхностей содержатся в [4], среди них рассматривается погружение  $E^2 \rightarrow E^3$ , [4, формулы (5)]:

$$(4xy, 2x^2 - 2y^2, x^2 + y^2), \tag{6}$$

в котором окружность  $x^2 + y^2 = a^2$  плоскости  $E^2$  отображается на однополостный гиперболоид  $u^2 + v^2 - w^2 = 5a^2$  пространства  $E^3$ , т.к.

$$u^2 + v^2 - w^2 = \\ 16x^2y^2 + 4x^4 - 8x^2y^2 + 4y^4 - x^4 - 2x^2y^2 - y^4 = \\ 3(x^2 + y^2)^4 = 3a^2.$$

Вместе с тем, окружность  $x^2 + y^2 = a^2$  в погружении (6) отображается на сферу  $u^2 + v^2 + w^2 = 5a^2$ . Выполняется

ТЕОРЕМА. Множество концентрических окружностей  $x^2 + y^2 = a^2$ , заполняющих плоскость  $E^2$ , отображается на множество сфер  $u^2 + v^2 + w^2 = 5a^2$ , а равно на множество гиперболоидов  $u^2 + v^2 - w^2 = 3a^2$ , и указанные сферы заполняют пространство  $E^3$ .

В [6] приведена сфера Веронезе в  $E^4$ , описываемая функцией

$$r(x, y) = (\sqrt{22}xy, x^2 - 2y^2, -2x^2 + y^2, x^2 - y^2), \tag{7}$$

В этом погружении сфера  $S^1(1)$   $x^2 + y^2 = 1$  отображается на сферу  $S^3(\sqrt{6})$ :

$$(u^1)^2 + (u^2)^2 + (u^3)^2 + (u^4)^2 = 6(x^2 + y^2)^2 = 6.$$

Погружения (3), (6), (7) – сферы Веронезе соответственно в пространствах  $E^5, E^3, E^4$ , описываются многочленами второго порядка. В них сферы одного пространства отображаются на сферы другого пространства; однако, формулы погружений (6), (7) однородны, поэтому в пространствах  $E^3$ , соответственно  $E^4$ , определяют конические поверхности; доказательство этого факта такое же, как доказательство теоремы 4.

**3. Погружения более высоких порядков**

В [5, с. 60, формулы (33)] указано погружение  $E^3 \rightarrow E^7$ :

$$\begin{aligned} u^1 &= \frac{K}{4}x(x^2 + y^2 - 4z^2), \quad u^2 = \frac{K}{4}y(x^2 + y^2 - 4z^2), \\ u^3 &= \frac{\sqrt{6}K}{12}z(3x^2 + 3y^2 - 2z^2), \\ u^4 &= \frac{\sqrt{15}K}{12}x(x^2 - 3y^2), \quad u^5 = \frac{\sqrt{15}K}{12}y(y^2 - 3z^2), \\ u^6 &= \frac{\sqrt{10}K}{4}z(x^2 - y^2), \quad u^7 = \frac{\sqrt{10}K}{2}xyz, \end{aligned} \tag{8}$$

в котором сфера  $S^2(1/\sqrt{K})$  отображается на сферу  $S^2(1/\sqrt{6K})$ . Т.е. выполняются равенства

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1/K \text{ и } \sum u_i^2 = 1/6K \tag{9}$$

Погружение (8) описано многочленами третьего порядка. Приведем еще примеры алгебраических погружений более чем второго порядка. Укажем погружение  $E^2 \rightarrow E^3$ , описываемое функциями:

$$u = \sqrt{2(1+p^2)}x^5y^5, v = x^5 - py^5, w = px^5 + y^5, \quad x, y > 0, \tag{10}$$

введем условие  $x^2 + y^2 = a^2$ , вычислим:

$$u^2 + v^2 + w^2 = (1+p^2)(x^5 + y^5)^2 = (1+p^2)a^2;$$

при условии  $x^2 - y^2 = a^2$ , находим

$$-u^2 + v^2 + w^2 = (1+p^2)(x^5 - y^5)^2 = (1+p^2)a^2.$$

Таким образом, в погружении (10) окружность

$x^2 + y^2 = a^2$  отображается на сферу  $u^2 + v^2 + w^2 = (1+p^2)a^2$ , а гипербола  $x^2 - y^2 = a^2$  отображается на гиперboloид  $-u^2 + v^2 + w^2 = (1+p^2)a^2$ . Выполняется ТЕОРЕМА. При непрерывном изменении величины  $a$  множество концентрических окружностей  $x^2 + y^2 = a^2$ , заполняющих плоскость  $E^2$  в погружении (10) отображается на множество концентрических сфер  $u^2 + v^2 + w^2 = (1+p^2)a^2$ , заполняющих пространство  $E^3$ . Поверхность (10) является конической в пространстве  $E^3$ .

По поводу последнего утверждения см. доказательство теоремы 4.

В погружениях  $E^2 \rightarrow E^3$ , описываемом функциями  $k$ -го порядка,  $k$  натуральное число,

$$u = x^k - y^k, v = x^k + y^k, w = 4x^k y^k, \tag{11}$$

каждая линия  $k$ -го порядка  $x^k + y^k = a^k$ , обобщающая окружность, отображается на параболоид  $u^2 + v^2 + w = 2a^{2k}$ , т.к.

$$(x^k - y^k)^2 + (x^k + y^k)^2 + 4x^k y^k = 2(x^k + y^k)^2 = 2a^{2k}$$

В (11) определено, бесконечно много погружений, в зависимости от значения величины  $k$ .

ТЕОРЕМА. Параболоиды  $w = 2a^{2k} - u^2 - v^2$  являются условными поверхностями в погружениях (11). Зададим погружения

$$u = x^k - y^k, v = x^k + y^k, w = 2\sqrt{x^k y^k}$$

(12)

при нечетных  $k$  считаем, что  $xy > 0$ ,

ТЕОРЕМА. В алгебраических погружениях (12)  $k$ -го порядка линия  $x^k + y^k = a^k$ , обобщающая окружность, отображается на сферу

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2(x^k + y^k)^2 = 2a^{2k}.$$

Каждая линия  $k$ -го порядка  $x^k + y^k = a^k$ , отображается на сферу  $u^2 + v^2 + w^2 = 2a^{2k}$ . Это условные поверхности в погружениях  $k$ -го порядка (12). Как в отображениях (3), (6), (7), их можно считать сферами Веронезе соответствующих пространств. В погружениях (11), (12) пространство  $E^3$  заполняется полностью, тем самым, (10) и (11) не определяют поверхностей в  $E^3$ . Погружения (12) являются коническими.

**4. Трансцендентные погружения**

Хорошо известно погружение:  $F^1 : E^1 \rightarrow E^2$ , где

$E^1 \supset x \rightarrow (u, v) \in E^3$ , описываемое формулами:

$$u = a \cos x, v = a \sin x, \tag{13}$$

Выполняется соотношение  $u^2 + v^2 = a^2$ , т.е. прямая

$E^1$  отображается на окружность  $S^1(a)$  плоскости  $E^2$ .

Погружение (13) является 1-параметрическим, и плоскость  $E^2$  в (13) заполняется окружностями полностью (как и в линейном погружении, выше). В погружении

$F^1 : E^1 \rightarrow E^3$ , где

$$u = a \operatorname{ch} x, v = a \operatorname{sh} x \tag{14}$$

прямая  $E^1$  отображается на гиперболу

$$u^2 - v^2 = a^2(\operatorname{ch}^2 x - \operatorname{sh}^2 x = a^2).$$

Погружения (12) и (13) являются трансцендентными, задаются трансцендентными функциями; в них плоскость  $E^2$  заполняется полностью.

Кроме приведенных известных трансцендентных погружений укажем трансцендентное погружение

$F^2 : E^2 \rightarrow E^2$ , где

$$u = a^x, v = a^y, \tag{15}$$

$a \neq 1$ , выбрав условие  $x + y = c$ , находим

$$uv = a^x a^y = a^{x+y} = a^c,$$

в погружении (15) прямые  $x + y = c$  плоскости  $E^2$  отображаются на гиперболы

$$uv = a^c \text{ в } E^2.$$

ТЕОРЕМА. В трансцендентном погружении

$$F^2 : E^2 \rightarrow E^3$$

$$u = a^x, v = a^y, w = a^{x+y}, a \neq 1, \tag{16}$$

прямые  $x + y = c$  отображаются на поверхности

$$uvw = a^{2c}.$$

Действительно,

$$uvw = a^x a^y a^{x+y} = a^{2(x+y)} = a^{2c}.$$

В погружении  $F^2 : E^2 \rightarrow E^3$

$$u = a^x, v = a^y, w = a^{2xy} \tag{17}$$

при условии  $x + y = c$  находим:

$$u^2 v^2 w^2 = a^{2x} a^{2y} a^{4xy} = a^{2(x+y)^2} = a^{2c^2}.$$

Прямые  $x + y = c$  плоскости  $E^2$  в (17) отображаются

на поверхности  $(uvw)^2 = a^{2c^2}$  пространства  $E^3$ .

Укажем еще трансцендентное погружение

$$u = \ln x, v = \ln y, w = \ln xy \tag{18}$$

Имеем при условии  $xy = c$  поверхность:

$$u + v + w = \ln c^2 \text{ в } E^3, \text{ т.к.}$$

$$u + v + w = \ln x + \ln y + \ln xy = \ln(xy)^2 = \ln c^2,$$

Выполняется

ТЕОРЕМА. В погружении (18) гиперболы  $xy = c$  плоско-

сти  $E^2$  отображаются на плоскости  $u + v + w = \ln c^2$

пространства  $E^3$ .

Погружение (18) является распрямляющим.

**5. Об омбиличности погружений**

В [5, с.6] выписаны условия омбиличности евклидовых поверхностей, среди них условие «3. Каждая точка поверхности  $\Phi$  является омбилической, т.е. кривизна нормального сечения поверхности  $\Phi$  в каждой ее точке не зависит от направления на поверхности в этой точке и отлична от нуля.» И в [5, с. 43, 50] приведены примеры омбилических поверхностей, выписанные нами выше формулами (3) и (8). В этих примерах омбилических погружений сферы одного евклидова пространства отображаются на сферы другого евклидова пространства, т.е. выполняются равенства (4) и (5), а также (9). Однако функции (3) и (8) описывают конические поверхности евклидовых пространств  $E^5$  и  $E^7$ , см. доказательство теоремы 4. Коническая поверхность в каждой точке имеет нулевую кривизну: одно из главных направлений на конической поверхности определяется ее образующей прямой, кривизна ее равна нулю и на поверхностях (3) и (8) кривизна зависит от направления. Тем самым, нарушаются условия омбиличности поверхности, сформулированные в [5, с. 6]. Видимо, поверхность надо считать омбилической в случае, если знак ее кривизны в каждой точке постоянен и не зависит от точки. Условные поверхности в погружениях в евклидово пространство могут быть омбилическими. Имеются очень интересные погружения в евклидово пространство, например, рассмотренное выше погружение (6), условными поверхностями в этом погружении являются сферы и однополостные гиперboloиды, полученные при одном и том же условии. Сфера омбилическая поверхность с положительной кривизной, а гиперboloид – с отрицательной кривизной. Поэтому по омбиличности условных поверхностей в погружениях очень трудно судить об омбиличности погружения.

**Список литературы**

1. Иванова-Каратопраклиева И., Марков П.Е., Сабитов И.Х. Изгибание поверхностей. III. – Фундаментальная и прикладная математика, том 12. (2006), № 1, С. 3 – 56.
2. Долгарев А.И. Многомерные поверхности I. Выражение коэффициентов второй квадратичной формы евклидовой поверхности через коэффициенты первой квадратичной формы.// Materialy X Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji

- “Moderní vymoženosti vedy – 2014”, díl 34. Matematika. Fyzika. – Praha. Publishing House “Education and Science”. s.r.o. – 2014. С. 30 – 40.
3. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 360 с.
  4. Долгарев А.И. Сферы, омбилические поверхности и их отображения. // Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке. Ежемесячный научный журнал «Prospero». № 2(14). М.: МНО Prospero, 2015. – С. 5 – 8.
  5. Фоменко В.Т. Омбилические поверхности евклидовых пространств.– Таганрог, ТПИ, 2009. – 142 с.
  6. Долгарев А.И., Долгарев И.А. Избранные поверхности пространства размерности 4. // XII Международная научно-практическая конференция «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени», Национальная ассоциация ученых, ежемесячный научный журнал, часть 3, № 7(12), Екатеринбург – 2015, С. 9 – 15.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В ЦЕМЕНТОБЕТОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Белых Антон Геннадьевич**

Старший научный сотрудник

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

**Кукарских Любовь Алексеевна**

Кандидат физико-математических наук

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

## MATHEMATICAL MODEL DISTRIBUTION OF ELASTIC WAVES IN CONCRETE WITH USAGE HIS PHYSICAL-MECHANICAL RESPONSE

**Belikh Anton Gennadievich**

senior research fellow

Military Educational Research Centre of Air Force «Air Force Academy after professor N.E. Zhykovsky and Y.A. Gagarin»  
Voronezh

**Kukarskikh Liubov Alekseevna**

candidate of Physico-Mathematical Science

Military Educational Research Centre of Air Force «Air Force Academy after professor N.E. Zhykovsky and Y.A. Gagarin»  
Voronezh

### АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ исследований процессов затухания волн с позиции физической природы строения среды и кинетики ее пластического деформирования под нагрузкой. Построена модель распространения упругих волн в цементобетоне с учетом его физико-механических характеристик.

### ABSTRACT

In article analysis researches process attenuation of wave with position of physical character environment structure and kinetics her plastic deformation under loading. Construct the model propagation of elastic waves for concrete with accounting its physical-mechanical response.

**Ключевые слова:** упругие волны, цементобетон, модель.

**Keywords:** elastic waves, concrete, model.



В области ударно-волновых процессов накоплен большой фактический материал экспериментального и теоретического характера. Необходимо этот материал обосновать в целях прогнозирования свойств материалов при обработке их ударными упругими волнами различной природы. Дальнейшее моделирование процессов, происходящих в материалах под воздействием волн, также невозможно без систематизации и анализа уже имеющихся уравнений движения двухкомпонентных сред.

В теории упругости, даже в линейном случае, ситуация оказывается более сложной, поскольку исходная система уравнений приводит к двум волновым уравнениям для двух функций и двух скоростей, отвечающим движению продольных и поперечных волн (волн сжатия и сдвига). При решении краевых задач теории упругости и пластичности интерес представляют нестационарные поверхности (сингулярные), на которых некоторые физические характеристики претерпевают разрыв. Такие поверхности и представляют собой ударные упругие волны.

Описанный процесс деформирования характерен для задач высокоскоростного соударения пластин, при взрыве заряда на поверхности пластины, в задачах пробивания преграды (мишени) ударниками (бойками) и в других. Не последнюю роль при этом играют и сдвиговые напряжения. Они появляются, например, в результате отражения упругой волны от свободной поверхности пластины, как волной растяжения, так и волной сдвига.

Структура и профиль упругой волны тесно связаны с вопросами затухания этих волн при распространении. Анализ затухания немислим без рассмотрения физической природы строения пористой среды, кинетики её пластического деформирования. На основе предложенных Нигматулиным Р.И. моделей упругопластического твердого тела с фазовыми превращениями проведен численный анализ процессов распространения ударных волн различной интенсивности в железе. Отмечено при этом, что сильные ударные волны всегда сопровождаются фазовыми переходами [5].

Различные модели среды, описывающие затухание волн, рассмотрены Быковцевым Г.И., Вервейко Н.Д., Косачевским Л.Я., Артемовым М.А., Баскаковым В.А., Слепяном Л.И.[6]. В их работах делается вывод о том, что максвелловское затухание (в результате релаксации касательных напряжений) является наиболее хорошей моделью для описания затухания. Проводится численный эксперимент, даны математические постановки о соударении пластин. Представлены различные возможности математического описания поведения среды при динамическом деформировании, как для упругопластических, так и для нелинейных вязко-упругопластических моделей, учитывающих микроструктурные механизмы пластичности. Из расчетов видно, что фронт волны плотности подвижных дислокаций растет с волнами нагрузки и разгрузки. Сделан вывод о том, что затухание упругого предвестника объясняется взаимодействием упругой волны сжатия с волной разгрузки, возникающей сразу за упругим предвестником, за счет релаксации напряжений. Вследствие эффекта задержки текучести переход в пластическое состояние среды осложняется тем, что напряжение за упругим предвестником превышает предел текучести и изменяется во времени.

Математически достаточно сложно описать физические реальные процессы в материалах под действием приложенного к нему импульса давления, поэтому строятся модели, способные более или менее адекватно отражать особенности поведения материала в реализующихся условиях. При этом моделируется процесс деформирования и реологические свойства пористых сред.

Рассмотрим цементобетонное аэродромное покрытие, которое постоянно подвергается динамической нагрузке при взаимодействии с воздушными судами. В физическом смысле цементобетон представляет собой двухкомпонентную насыщенную газом пористую среду. Распространение волн в неограниченной насыщенной газом однородной упругой пористой среде описывается системой уравнений [1, 2, 3]:

$$\begin{aligned} \rho_1 \frac{\partial^2 \dot{\epsilon}_i^{(1)}}{\partial t^2} + \rho_2 \frac{\partial^2 \dot{\epsilon}_i^{(2)}}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda \frac{\partial \dot{\epsilon}_j^{(1)}}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i^{(1)}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( Q \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial x_j} \right) \\ \rho_2 \frac{\partial^2 u_i^{(1)}}{\partial t^2} + \rho_2 \frac{\partial^2 u_i^{(2)}}{\partial t^2} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left( Q \frac{\partial u_j^{(1)}}{\partial x_j} \right) + R \frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial x_j} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $u^{(\alpha)}$  – компоненты векторов смещения фаз (упругой и газа).

Уравнение затухания продольных и поперечных волн для сильных разрывов запишем в виде

$$\begin{aligned} \left( \lambda + \frac{(1-m)^2}{m} R_0 \right) [U_{k,k}^{(1)}] \delta_j v_j + \mu [U_{i,j}^{(1)}] v_j + \mu [U_{j,i}^{(1)}] v_j + (1-m) R_0 [U_{k,k}^{(2)}] \delta_j v_j = \\ = -\rho_1 c [V_i^{(1)}] - \rho_2 c [V_i^{(2)}] \end{aligned}$$

$$(1 - m)R_0 [U_{k,k}^{(1)}] v_i + \mathbb{R}_0 \cdot [U_{k,k}^{(2)}] v_i = -\rho_1 c [V_i^{(1)}] - \rho_2 c [V_i^{(2)}] \tag{2}$$

где  $m$  – пористость,  $R_0$  – модуль сжимаемости газа,  $\delta_j$  – символ Кронекера. Введем обозначения:

$$\frac{(1 - m)^2}{m} R_0 = a_1; (1 - m)R_0 = a_2; \mathbb{R}_0 = a_3. \tag{3}$$

Учитывая (3) и то, что  $\delta_j v_j = v_i$  при  $i=j$ , уравнения (2) примут вид:

$$\begin{aligned} (\lambda + a_1) [U_{k,k}^{(1)}] v_i + \mu [U_{i,j}^{(1)}] v_j + \mu [U_{j,i}^{(1)}] v_j + a_2 [U_{k,k}^{(2)}] v_i + \rho_1 c [V_i^{(1)}] + \rho_2 c [V_i^{(2)}] &= 0 \\ a_2 [U_{k,k}^{(1)}] v_i + a_3 \cdot [U_{k,k}^{(2)}] v_i + \rho_1 c [V_i^{(1)}] + \rho_2 c [V_i^{(2)}] &= 0 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $v_i, v_j$  – координаты единичного вектора, направленного в невозмущенную часть пористой среды;  $c$  – скорость движения волновой поверхности;  $V_i^{(\alpha)}, (\alpha = 1, 2)$  – компоненты скорости перемещения фаз;  $\lambda, \mu$  – коэффициенты Ламе;  $\rho_1, \rho_2$  – эффективные плотности фаз;  $\rho_2$  – динамической коэффициент связи фаз.

При переходе через волновую поверхность  $\Sigma(t)$  выполняются геометрические и кинематические условия совместности первого порядка

$$\left[ \frac{\partial U_i^{(\alpha)}}{\partial x_j^{(i)}} \right] = [U_{i,j}^\alpha] = \omega_i^{(\alpha)} v_j \quad \left[ \frac{\partial U_i^{(\alpha)}}{\partial t} \right] = [V_{i,j}^{(\alpha)}] = -c \omega_i^\alpha, \tag{4}$$

где  $\omega_i^{(i)}$  – скачки первых производных скоростей перемещений фаз.

Заменим  $k$  на  $j$ , применим (4) к (3).

$$\begin{aligned} (\lambda + a_1) \omega_j^{(1)} v_j v_i + \mu \omega_i^{(1)} v_j v_j + \mu \omega_j^{(1)} v_i v_j + a_2 \omega_j^{(2)} v_j v_i - \rho_1 c^2 \omega_i^{(1)} - \rho_2 c^2 \omega_i^{(2)} &= 0 \\ a_2 \omega_j^{(1)} v_j v_i + a_3 \cdot \omega_j^{(2)} v_j v_i - \rho_1 c^2 \omega_i^{(1)} - \rho_2 c^2 \omega_i^{(2)} &= 0 \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь  $v_j v_j = 1$ .

Найдем уравнения для распространения продольных волн. Умножаем (5) на  $v_i$  и вводим обозначения:  $\omega_j^{(1)} v_j = \omega_1, \omega_j^{(2)} v_j = \omega_2, \omega_i^{(1)} v_i = \omega_1, \omega_i^{(2)} v_i = \omega_2$ .

Получим однородную систему уравнений относительно  $\omega_\alpha$ .

$$\begin{aligned} (\lambda + a_1 + 2\mu - \rho_1 c^2) \omega_1 + (a_2 - \rho_2 c^2) \omega_2 &= 0 \\ (a_2 - \rho_2 c^2) \omega_1 + (a_3 - \rho_2 c^2) \omega_2 &= 0 \end{aligned} \tag{6}$$

Коэффициенты Ламе  $\lambda$  и  $\mu$  выражаются через коэффициент Пуассона  $\nu$  и модуль Юнга  $E$  следующим образом [4]:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{E \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \\ \mu &= \frac{E}{2(1 + \nu)} \end{aligned} \tag{7}$$

Подставим (7) в (6). Решим однородную систему уравнений.

$$\tilde{n}^4(\rho_1 \rho_2 - \rho_2^2) - c^2 \left( a_3 \rho_1 + \left( \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + a_1 + \frac{E}{(1+\nu)} \right) \rho_2 - 2a_2 \rho_2 \right) + \left( a_3 \left( \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + a_1 + \frac{E}{(1+\nu)} \right) - a_2^2 \right) = 0 \tag{8}$$

В двухкомпонентной упругой насыщенной газом пористой среде распространяются два типа продольных волн. Обозначим в (8)  $c^2$  через  $c_p$ , то есть  $c_p = c^2$ .

Скорости распространения продольных волн определяются формулами:

$$\tilde{n}_{\partial 1,2}^2 = \frac{\left( a_3 \rho_1 + \left( \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + a_1 + \frac{E}{(1+\nu)} \right) \rho_2 - 2a_2 \rho_2 \right) \pm \sqrt{\left( a_3 \rho_1 + \left( \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + a_1 + \frac{E}{(1+\nu)} \right) \rho_2 - 2a_2 \rho_2 \right)^2 - 4(\rho_1 \rho_2 - \rho_2^2) \cdot \left( a_3 \left( \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} + a_1 + \frac{E}{(1+\nu)} \right) - a_2^2 \right)}}{2(\rho_1 \rho_2 - \rho_2^2)} \tag{9}$$

Из уравнений (5) получим систему уравнений распространения волн сдвига относительно  $\omega_i^{(\alpha)}$  при условии, что  $\omega_j^{(1)} \nu_j = 0, \omega_j^{(2)} \nu_j = 0$ .

$$\begin{aligned} \left( \frac{E}{2(1+\nu)} - \rho_1 c^2 \right) \omega_i^{(1)} - \rho_2 c^2 \omega_i^{(2)} &= 0 \\ -\rho_2 c^2 \omega_i^{(1)} - \rho_2 c^2 \omega_i^{(2)} &= 0 \end{aligned} \tag{10}$$

Вместо  $\mu$  в (10) использовано выражение (7).

Решим систему уравнений (10).

$$\tilde{n}^4(\rho_1 \rho_2 - \rho_2^2) - c^2 \frac{E}{2(1+\nu)} \rho_2 = 0 \tag{11}$$

В упругой насыщенной газом пористой среде распространяется одна поперечная волна.

Уравнение (11) разделим на  $c^2$  и получим скорость распространения поперечной волны.

$$\tilde{n} = \sqrt{\frac{\frac{E}{2(1+\nu)} \rho_2}{\rho_1 \rho_2 - \rho_2^2}} \dots \dots \dots (12)$$

Анализируя выражения (9) и (12) можно сделать вывод о том, что распространение продольных и поперечной волн учитывает физические характеристики среды. Используя значения коэффициента Пуассона и модуля Юнга для цементобетона, получим скорости распространения волн в цементобетонной пористой среде.

Математическое моделирование последствий динамических нагрузок на цементобетонное покрытие позволяет прогнозировать и улучшать его эксплуатационные характеристики.

#### Список литературы:

1. Biot M.A. Theory of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. J. Acoust. Soc. America, V. 28, №2, 1959. – P.168-178.
2. Косачевский Л.Я. О распространении упругих волн в двухкомпонентных средах. ПММ. – 1959. – Т.23. – Вып.6, 1959. – с.1115-1123.
3. Быковцев Г.И., Вервейко Н.Д. О распространении волн в упруго-вязко-пластической среде. Москва: Изв. АН СССР. МТТ.– 1966. – №4. – с. 111-123.
4. Томас Т. Пластическое течение и разрушение в твердых телах. М.: Мир, 1964. – 308 с.
5. Нигматулин Р.И. Ударные волны и фазовые превращения в железе / Р.И. Нигматулин, Н.Х. Ахмадеев // ПМТФ. -1976. -№5. -С. 128-135
6. Слепян Л.И. Нестационарные упругие волны. Л.: Судостроение, 1972, 374 с.

УДК 534.113

## О ПРИНЦИПАХ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

**Мясников Алексей Андреевич**

К.Т.Н., С.Н.С.,

Институт физико-технических проблем и материаловедения  
Национальная академия наук Кыргызской Республики, г. Бишкек

## ABOUT PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF MODELS OF THE LONGITUDINAL DYNAMIC DEFORMATION OF RODS VARIABLE CROSS-SECTION SECTION

**Myasnikov Aleksey Andreevich**

candidate of technical science, senior scientific employer

Institute of Physical & Technical Problems and Materials Science  
National Academy of Science of Kyrgyz Republic, Bishkek

#### АННОТАЦИЯ

Описываются принципы построения моделей упругого динамического деформирования неоднородных прямых стержней.

#### ABSTRACT

Principles of construction of models of elastic dynamic deformation of non-uniform direct rods are described.

**Ключевые слова:** продольные колебания; неоднородный стержень.

**Keywords:** longitudinal vibrations; non-uniform rods.

Теоретические основы инженерных расчетов ударных систем технологического назначения базируются на моделях продольного динамического деформирования стержней. Модели динамического деформирования твердых тел не могут быть построены аксиоматическими методами. Такие модели имеют следующие компоненты: закон или принцип динамики; гипотезы или базовые допущения; метод или методы формирования модели.

Теоретически строгой является модель продольного динамического деформирования одномерной материальной линии. Смещение точки материальной линии с координатой  $x$  в момент времени  $\tau$  определяется функцией  $u(x, \tau)$ . Скорость смещения точки линии определяется частной производной функции смещения  $u(x, \tau)$  по времени  $\tau$ :

$$v(x, \tau) = \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial \tau}; \quad \text{ускорение} - \text{второй:}$$

$$a(x, \tau) = \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2}.$$

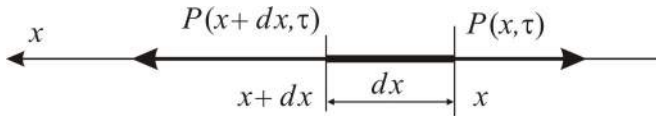


Рис. 1. Расчетная схема к модели продольных колебаний одномерной материальной линии

Для построения уравнения продольного динамического деформирования двумя поперечными сечениями с координатами  $x$  и  $x + dx$  вырезается бесконечно малый элемент стержня длиной  $dx$ , рис. 1.

Действие отброшенных частей материальной линии заменяется равнодействующими силами  $P(x + dx, \tau)$  и  $P(x, \tau)$ .

В качестве основного используется второй закон Ньютона, записанный для вырезанного элемента:  $F(x, \tau) = dm a(x, \tau)$ .

Равнодействующая сил действующих на выделенный элемент определится формулой:

$$F(x, \tau) = P(x + dx, \tau) - P(x, \tau).$$

Масса выделенного элемента  $dm$  определится формулой:

$$dm = \rho_l dx, \quad \text{где } \rho_l - \text{линейная плотность материальной линии.}$$

Из приведенных зависимостей следует соотношение:

$$P(x + dx, \tau) - P(x, \tau) = \rho_l dx \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2}, \quad \text{или:}$$

$$\frac{P(x + dx, \tau) - P(x, \tau)}{dx} = \rho_l \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2}$$

Левая часть соотношения представляет собой частную производную по  $x$ , следовательно уравнение продольной динамической деформации материальной линии примет

$$\frac{\partial P(x, \tau)}{\partial x} = \rho_l \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2}$$

вид:

Для перехода к расчету инженерных задач на базе одномерной материальной линии необходимо введение понятия бесконечно малой, но постоянной площади поперечного сечения  $\Delta s_x = const$ . Тогда линейная плотность определится формулой:  $\rho_l = \Delta s_x \rho$ , где  $\rho$  - объемная плотность материала стержня.

Поскольку величина  $\Delta s_x$  бесконечно мала, то можно ввести понятие продольного на-

пряжения в сечении:  $\sigma_x(x, \tau) = \frac{P(x, \tau)}{\Delta s_x}$ . В результате получается уравнение:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\Delta s_x \sigma_x(x, \tau)) = \Delta s_x \rho \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2},$$

$$(1) \quad \frac{\partial \sigma_x(x, \tau)}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2},$$

поскольку  $\Delta s_x = const$ . Сформировано уравнение продольного динамического деформирования элементарного параллелепипеда площадью поперечного сечения

$\Delta s = const$  и длиной  $dx$ , элемент  $B$  на рис. 2, по модели материальной линии.

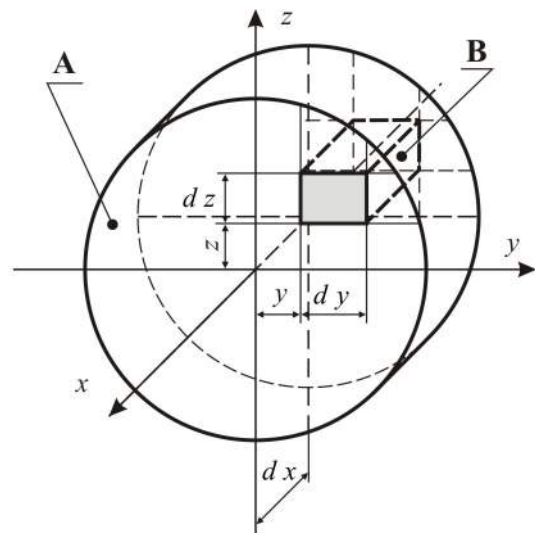


Рис. 2. Расчетная схема к моделям продольной динамической деформации стержней. По теории твердого деформируемого тела уравнение продольного динамического деформирования элементарного объема стержня описывается иным уравнением:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2}, \quad (2)$$



где  $\tau_{kl}$  - касательное напряжение по направлению оси  $k$  на площадке элементарного объема с нормалью  $l$ . Уравнение записано в декартовой системе координат с осью  $X$  ориентированной вдоль оси стержня. Положение элементарного объема  $V$  в поперечном сечении определяется координатами  $Y, Z$ , рис. 2.

Модели продольного динамического деформирования реальных деталей типа стержней получаются интегрированием уравнений (1) или (2) по объему  $A$  ограниченному двумя поперечными сечениями с координатами  $x$  и  $x + dx$  и боковой поверхностью.

В теории продольного динамического деформирования деталей типа стержней наибольшее распространение получила модель, в которую вводится гипотеза плоских сечений: *первоначально плоские поперечные сечения остаются плоскими в процессе динамического деформирования*. Данная гипотеза эквивалентна требованию однородности материала по сечению или равенства напряжений по всему поперечному сечению. В этом случае уравнение продольного динамического деформирования стержня принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} (s(x) \sigma_x(x, \tau)) = s(x) \rho \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2},$$

где:  $s(x)$  - площадь поперечного сечения стержня с координатой  $x$ .

Если относительные деформации упругие и линейные, то напряжение определится формулой:

$$\sigma_x(x, \tau) = E \varepsilon_x(x, \tau), \text{ где: } E - \text{модуль упругости}$$

первого рода;  $\varepsilon_x(x, \tau) = \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x}$  - относительная деформация.

В результате уравнение продольной динамической деформации стержня переменного поперечного сечения по гипотезе плоских сечений принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E s(x) \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} \right) = s(x) \rho \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2}$$

Если модуль упругости и плотность материала стержня величины постоянны,  $E = const, \rho = const$ ; то уравнение

может быть представлена в виде:  $s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{ds(x)}{dx} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - s(x) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c^2 \partial \tau^2} = 0$ , или:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{d \ln(s(x))}{dx} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{c^2 \partial \tau^2} = 0, \tag{3}$$

где:  $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  - скорость распространения продольной динамической деформации по анализу Эйлера.

Данная модель абсолютно не учитывает граничные условия на боковой поверхности стержня.

Интегрирование уравнения (2) производится по объему  $A$  при фиксировании длины элемента  $dx$  приводит к соотношению:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{(s(x))} \sigma_x ds_x \right) dx + \left( \int_{(s(x))} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} ds_x \right) dx + \left( \int_{(s(x))} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} ds_x \right) dx - \left( \int_{(s(x))} \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} ds_x \right) dx = 0.$$

Поскольку  $dx \neq 0$ , то уравнение преобразуется к виду:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{(s(x))} \sigma_x ds_x + \int_{(s(x))} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} ds_x + \int_{(s(x))} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} ds_x - \int_{(s(x))} \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} ds_x = 0 \quad (4)$$

Кроме уравнения (2) динамическое деформирование элементарного параллелепипеда в декартовой системе координат описывается следующими формулами:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)], \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)],$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)];$$

$$\frac{\tau_{xy}}{G} = \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y}, \quad \frac{\tau_{yz}}{G} = \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z}, \quad \frac{\tau_{zx}}{G} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x};$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 u_y}{\partial \tau^2}, \quad \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial \tau^2}; \quad (5)$$

где:  $G$  - модуль упругости второго рода;  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

В замкнутом виде неизвестны решения системы уравнений (4) и (5). Для построения модели предлагается использовать метод последовательного приближения, при базовом предположении: *в нулевом приближении радиальные нормальные напряжения равны нулю:  $\sigma_y = 0, \sigma_z = 0$* . При статическом продольном деформировании стержня справедливость этого утверждения определяется формулировками обобщенного закона Гука. При динамическом деформировании, как будет показано ниже, эти радиальные напряжения могут быть приняты равными нулю приближенно.

При  $\sigma_y = 0, \sigma_z = 0$  из первых трех уравнений (5) следуют соотношения:  $\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{\sigma_x}{E}, \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\mu \frac{\sigma_x}{E}$

$$, \quad \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\mu \frac{\sigma_x}{E}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\mu \frac{\partial u_x}{\partial x},$$

$$, \quad \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\mu \frac{\partial u_x}{\partial x}.$$

Интегрирование последних двух уравнений соответственно по  $y$  и  $z$  определяет составляющие функции смещения в радиальном к оси  $X$  направлении:  $u_y = -\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} y; u_z = -\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} z$ .

При интегрировании принималось, что ось стержня не искривляется, т.е. точки оси стержня не смещаются в радиальном направлении в силу симметрии. С учетом соотношений:

$$\frac{\partial u_x}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u_y}{\partial x} = -\mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} y, \quad \frac{\partial u_y}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial u_z}{\partial x} = -\mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} z;$$

касательных напряжений определяются формулами:

$$\tau_{xy} = -\mu G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} y, \quad \tau_{yz} = 0, \quad \tau_{zx} = -\mu G \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} z.$$

Подстановкой полученных выражений в предпоследние два уравнение системы (5) и интегрированием определяются

$$\text{формулы радиальных напряжений: } \sigma_y = \mu \left( G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \frac{y^2 - y_*^2}{2},$$

$$\sigma_z = \mu \left( G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \frac{z^2 - z_*^2}{2},$$

где  $y_*$ ,  $z_*$  - координаты произвольной точки на контуре сечения.

На основании полученных зависимостей нормальное напряжение  $\sigma_x$  в первом приближении определится формулой:

$$\sigma_x = E \frac{\partial u_x}{\partial x} + \mu^2 \left( G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \frac{(y^2 - y_*^2) + (z^2 - z_*^2)}{2}.$$

Подстановка приведенных формул в (4) определяет уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\mu^2}{2} [J_\rho(x) - r_*^2 s(x)] \left( G \frac{\partial^3 u_x}{\partial x^3} - \rho \frac{\partial^3 u_x}{\partial x \partial \tau^2} \right) \right] - \\ - 2 \mu G s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0, \quad (6) \end{aligned}$$

где:  $J_\rho(x) = \int_{(s(x))} r^2 ds_x$  - полярный момент инерции,

$r_* = \sqrt{y_*^2 + z_*^2}$  - расстояние от оси  $X$  до произвольной точки на внешнем контуре сечения.

Если удерживать в уравнении производные только второго порядка, как в модели с гипотезой плоских сечений, то урав-

$$\text{нение преобразуется к виду: } \frac{\partial}{\partial x} \left( E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - 2 \mu G s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0.$$

На основании формулы:  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ ; уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E s(x) \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) - E \frac{\mu}{1+\mu} s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - \rho s(x) \frac{\partial^2 u_x}{\partial \tau^2} = 0.$$

Если материал стержня однороден,  $E = const$ ,  $\rho = const$ ,  $\mu = const$ ; то уравнение преобразуется к виду:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + (1 + \mu) \frac{ds(x)}{dx} \frac{1}{s(x)} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\tilde{n}_1^2 \partial \tau^2} = 0, \quad (7)$$

где:  $c_1 = \sqrt{\frac{E}{(1 + \mu)\rho}}$  - скорость распространения продольной динамической деформации по данной модели.

Уравнение (7) для определенности называется ОРН (RSA) уравнением продольной динамической деформации стержня переменного поперечного сечения. ОРН – отсутствие радиальных напряжений; RSA – radial stresses are absent.

Алгоритм построения уравнения данной модели может быть использован для построения уравнений продольной

динамической деформации стержней любой точности с любыми неоднородностями. В этом случае уравнения (4) и (5) должны быть соответствующим образом скорректированы. Геометрические неоднородности и частично граничные условия на боковой поверхности могут быть учтены при построении уравнения.

## ПОСТРОЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОРБИТЫ ИСЗ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ ХИЛЛА

**Шинибаев Махсут Даниярович**

*д.ф.-м.наук, профессор Южно-Казахстанского государственного педагогического института, шымкент*

## CREATION OF THE INTERMEDIATE ORBIT OF AES IN THE HILL'S CENTRAL GRAVITATION FIELD

**Mahsut Shinibaev**

*Doctorate physical and Mathematical sciences, full professor of South-Kazakhstan State Pedagogical Institute, Shymkent*

### АННОТАЦИЯ

При изучении движения летательного аппарата в космическом пространстве кроме тяготения к центральному телу, часто оказывается необходимым учитывать и другие действующие на него факторы: тяготение к другим небесным телам, сопротивление атмосферы, несферическую структуру центрального тела, световое давление, электромагнитные силы и др. Хотя каждый из этих возмущающих факторов порождает силу, существенно меньшую, чем поле притяжения центрального тела, в целом, на большом интервале времени они оказывают заметное влияние на движение рассматриваемого объекта [1, с.87].

Принимая центральное тело за «шар» со сферическим распределением плотности, можно исходное движение летательного аппарата аппроксимировать коническим сечением – Кеплеровским эллипсом.

Но, приняв за промежуточную орбиту ИСЗ кеплеров эллипс, мы должны иметь в виду:

1. Промежуточная орбита пригодна только в случае  $e < e_p$ , то есть пока эксцентриситет орбиты меньше предела Лапласа.
2. Промежуточная орбита пригодна только в случае  $\cos u \cos \lambda \neq \sin u \sin \lambda \cos i$ , где:  $u$  – аргумент широты,  $\lambda$  – долгота восходящего узла,  $i$  – наклон орбиты.
3. Имея точные параметры орбиты, мы получим лишь приближенные значения координат ИСЗ.
4. В случае 1-2 метод оскулирующих элементов приводит к сомнительным результатам.

В статье построена «некеплеровская» промежуточная орбита ИСЗ, которая пригодна и в случаях 1-3.

### ABSTRACT

In the study of the motion of the aircraft in a spacecraft in outer space, in addition to of gravitation to the central body is often necessary to take into account other factors acting on it: attraction to other celestial bodies atmospheric drag, the spherical structure of the central body of the pressure of light and other electromagnetic forces at each of these disturbing factors generates a force substantially less than the gravitational field of the central body, as a whole, a large time interval, they exert a significant influence on the motion of the object [1, P.87]. Taking the central body of the “ball” spherical density distribution can be the initial motion of the aircraft approximate conic – Kepler ellipse. But taking the intermediate orbit artificial Earth satellite Kepler ellipse, we should have:

1. The intermediate orbit is suitable only for  $e < e_p$ , that is, until the eccentricity is less than Laplace.
2. The intermediate orbit is only suitable in the case of  

$$\cos u \cos \lambda \neq \sin u \sin \lambda \cos i$$
 where:  $u$  – argument of latitude,  $\lambda$  – ascending node,  $i$  – orbit inclination.

3. With the precise orbital parameters, we get only an approximate position for artificial Earth satellite.
4. In the case of 1-2 method of osculating elements leads to questionable results.

The article is based not “Kepler” intermediate orbit of artificial Earth satellite, which is suitable in cases 1-3.

**Ключевые слова:** промежуточная орбита, центральное поле тяготения, спутник Земли, решение в квадратурах, сферическая система координат.

**Keywords:** intermediate orbit, central gravitational field of the earth satellite, the decision in quadrature, a spherical coordinate system.



Пусть ИСЗ совершает орбитальное движение в поле тяготения Хилла [2]

$$(1) \quad U = \frac{\mu}{r} + \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{2}(v' - v)z^2,$$

где:  $\mu$  – гравитационный параметр;  $x, y, z$  – геоцентрические координаты ИСЗ;  $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ ; параметры  $v$  и  $v'$  подбираются так, чтобы получались наблюдаемые движения узла и перигея орбиты.

Поле тяготения центрального и внешнего тела, например, Земли и Луны, с учетом аппроксимирующего потенциала (1) будет нецентральной.

Пусть орбита ИСЗ имеет малый наклон к основной плоскости Оху, тогда

$$z^2 \approx 0, z \neq 0, r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \approx \sqrt{x^2 + y^2},$$

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \approx x^2 + y^2 = \rho^2,$$

поэтому (1) примет вид

$$U = \frac{\mu}{r} + \frac{v}{2}\rho^2 \approx \frac{\mu}{r} + \frac{v}{2}r^2 \quad (2)$$

и поле тяготения становится центральным.

С этой силовой функцией дифференциальные уравнения движения ИСЗ примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{x}{r^3} = \mathfrak{x}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} + \mu \frac{y}{r^3} = \mathfrak{y}, \quad \frac{d^2z}{dt^2} + \mu \frac{z}{r^3} = \mathfrak{z} \end{aligned} \right\}$$

так как  $z \neq 0, z^2 \approx 0, \mathfrak{z} \neq 0$ .

В векторной форме (3) имеет вид

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + \mu \frac{\vec{r}}{r^3} = v\vec{r}. \quad (4)$$

Найдем первые интегралы дифференциального уравнения (4). Вначале проверим наличие интеграла площадей.

Умножим  $\vec{r}$  векторно на (4)

$$\vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} + \mu \frac{1}{r^3}(\vec{r} \times \vec{r}) = v(\vec{r} \times \vec{r}),$$

здесь

$$\vec{r} \times \vec{r} = r^2 \sin 0^0 = 0,$$

$$\vec{v} \times \vec{v} = v^2 \sin 0^0 = 0,$$

поэтому

$$\vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} = 0,$$

$$\frac{d}{dt} \left( \vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \vec{v} \times \vec{v} + \vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} = 0,$$

отсюда

$$\vec{r} \times \vec{v} = \vec{c}. \quad (5)$$

Из свойств векторного произведения (5) следует, что  $\vec{c} \perp \text{пл.}(\vec{r}, \vec{v})$ , т.е.  $\vec{c}$  перпендикулярно плоскости орбиты.

Равенство (5) представляет собой интеграл площадей, где  $\vec{c}$  – постоянная интеграла площадей.

Теперь найдем интеграл энергии, для этого умножим обе части (4) скалярно на  $2\vec{v}$

$$2\vec{v} \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{\mu}{r^3}(2\vec{v} \cdot \vec{r}) = 2\vec{v}\vec{r}v, \quad (6)$$

здесь учтем

$$\vec{r}^2 = r^2, \quad \vec{v}^2 = v^2,$$

тогда имеем

$$2\vec{v} \frac{d\vec{v}}{dt} = 2 \frac{d}{dt} \frac{v^2}{2} = \frac{d}{dt}(v^2),$$

$$2\vec{v}\vec{r} = 2\vec{r} \frac{d\vec{r}}{dt} = 2 \frac{d}{dt} \left( \frac{r^2}{2} \right) = \frac{d}{dt}(r^2),$$

$$2\vec{v} \cdot \vec{r}v = \frac{d}{dt}(v^2),$$

$$\frac{\mu}{r^3} \left( 2 \frac{d\bar{r}}{dt} \cdot r \right) = \frac{2\mu}{r^3} \left( \frac{d}{dt} \frac{r^2}{2} \right) = -\frac{d}{dt} \left( \frac{2\mu}{r} \right).$$

Перепишем (6)

$$\frac{d}{dt} (v^2) - \frac{d}{dt} \left( \frac{2\mu}{r} \right) = \frac{d}{dt} (v^2)$$

или

$$\frac{d}{dt} \left( v^2 - \frac{2\mu}{r} - v^2 \right) = 0, \quad v^2 = \frac{2\mu}{r} + v^2 + h.$$

Равенство (7) – интеграл энергии, где  $h$  – постоянная интеграла энергии.

Найдем интеграл Лапласа. Для этого векторно

умножим  $\bar{c} = \bar{r} \times \bar{v}$  на обе части (4):

$$\bar{c} \times \frac{d\bar{v}}{dt} + \frac{\mu}{r^3} [\bar{r} \times \bar{v}] \times \bar{r} = [\bar{r} \times \bar{v}] \times \bar{r} v. \tag{8}$$

Используя векторное равенство

$$\bar{a} \times (\bar{b} \times \bar{c}) = \bar{b}(\bar{a} \cdot \bar{c}) - \bar{c}(\bar{a} \cdot \bar{b}),$$

выполним следующие преобразования:

$$[\bar{r} \times \bar{v}] \times \bar{r} v = -[\bar{r} \times (\bar{r} \times \bar{v})] v = -[\bar{r}(\bar{r} \cdot \bar{v}) - \bar{v}(\bar{r} \cdot \bar{r})] v,$$

далее учтем, что  $\bar{r} \cdot \bar{r} = r^2$ , а  $\bar{r} \cdot \bar{v} = r \cdot v$ ,  $\bar{r}_0 \cdot \bar{r}_0 = 1$ ,

$$\bar{r}_0 \frac{d\bar{r}_0}{dt} = 0, \text{ тогда}$$

$$\begin{aligned} -[\bar{r}(\bar{r} \cdot \bar{v}) - \bar{v}(\bar{r} \cdot \bar{r})] v &= -[\bar{r}(r\bar{v}) - \bar{v}r^2] v = -v^2 v (\bar{r}_0 - \bar{v}_0) \cdot \frac{\bar{r}_0}{\bar{r}_0} = \\ -v^2 v \cdot \left( \bar{r}_0^2 - \bar{r}_0 \frac{d\bar{r}_0}{dt} \right) \cdot \frac{1}{\bar{r}_0} &= -v^2 v \bar{r}_0 = -v \bar{r}(rv) = -v \bar{r} \left( \bar{r} \frac{d\bar{r}}{dt} \right) = -v \bar{r}^2 \frac{d\bar{r}}{dt} = \\ &= -v \cdot \frac{1}{3} \frac{d\bar{r}^3}{dt} = \frac{d}{dt} \left( -\frac{v \bar{r}^3}{3} \right). \end{aligned} \tag{9}$$

Далее,

$$\frac{\mu}{r^3} [\bar{r} \times \bar{v}] \times \bar{r} = -\frac{\mu}{r^3} [\bar{r} \times (\bar{r} \times \bar{v})] = -\mu \frac{(\bar{r}\bar{v} - \bar{v}\bar{r})}{r^2} = \mu \frac{d}{dt} \left( \frac{\bar{r}}{r} \right);$$

$$\bar{c} \times \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} (\bar{c} \times \bar{v}), \text{ здесь } \bar{c} - const.$$

Теперь (8) примет вид

$$\frac{d}{dt} (\bar{c} \times \bar{v}) + \frac{d}{dt} \left( \frac{\mu \bar{r}}{r} \right) = \frac{d}{dt} \left( -\frac{v \bar{r}^3}{3} \right),$$

отсюда интеграл Лапласа можно записать в векторной форме

$$\frac{v\bar{r}^3}{3} + (\bar{c} \times \bar{v}) + \frac{\mu\bar{r}}{r} = -\lambda, \quad (10)$$

$\lambda$  – постоянная интеграла Лапласа.

Из (10) следует, что уравнение орбиты

$$c^2 = r \left( \mu + \frac{v}{3} r + \lambda \cos \vartheta \right)$$

«некеплеровская».

Для построения новой «некеплеровской» промежуточной орбиты введем геоцентрическую сферическую систему координат

$$x = r \cos \varphi \cdot \cos \lambda, \quad y = r \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \quad z = r \sin \varphi, \quad (11)$$

и воспользуемся методом Гамильтона-Якоби.

Запишем выражения для кинетической энергии и функции Гамильтона

$$T = \frac{1}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{\lambda}^2 r^2 \cos^2 \varphi), \quad (12)$$

$$H = T - U = \frac{1}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 + \dot{\lambda}^2 r^2 \cos^2 \varphi) - \frac{\mu}{r} - \frac{1}{2} v^2. \quad (13)$$

Найдем импульсы:

$$p_r = \frac{\partial T}{\partial \dot{r}} = \dot{r}, \quad p_\lambda = \frac{\partial T}{\partial \dot{\lambda}} = \dot{\lambda} r^2 \cos^2 \varphi = \alpha_2 = const, \quad p_\varphi = \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = r^2 \dot{\varphi},$$

здесь:  $p_r, p_\lambda, p_\varphi$  – импульсы по обобщенным координатам  $r, \lambda, \varphi$ .

Перепишем гамильтониан через импульсы:

$$H = \frac{1}{2} \left( p_r^2 + \frac{1}{r^2 \cos^2 \varphi} p_\lambda^2 + \frac{1}{r^2} p_\varphi^2 \right) - \frac{\mu}{r} - \frac{1}{2} v^2. \quad (14)$$

Канонические уравнения возмущенного движения ИСЗ в центральном поле тяготения Хилла:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_r}, & \frac{d\lambda}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_\lambda}, & \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_\varphi}, \\ \frac{p_r}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial r}, & \frac{p_\lambda}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \lambda}, & \frac{p_\varphi}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \varphi}, \end{cases} \quad (15)$$

здесь  $\frac{\partial H}{\partial t} \equiv 0$ , следовательно, уравнение Гамильтона-Якоби

$$\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)^2 + \frac{1}{r^2 \cos^2 \varphi} \left(\frac{\partial v}{\partial \lambda}\right)^2 + \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi}\right)^2 - \frac{2\mu}{r} - v^2 - 2\alpha_1 = 0, \quad (16)$$

допускает разделенные переменные.

В (16)  $\alpha_1$  – постоянная энергии. Общее решение (16) следует искать в виде

$$v = -\alpha_1 t + w_1(r) + w_2(\lambda) + w_3(\varphi), \quad (17)$$

где:  $v$  – полный интеграл уравнения (16);  $w_1(r)$   $w_2(\lambda)$   $w_3(\varphi)$  – неизвестные функции обобщенных координат  $r, \lambda, \varphi$ .

Подставив (17) в (16), имеем

$$\left(\frac{dw_1}{dr}\right)^2 + \frac{1}{r^2 \cos^2 \varphi} \left(\frac{dw_2}{d\lambda}\right)^2 + \frac{1}{r^2} \left(\frac{dw_3}{d\varphi}\right)^2 - \frac{2\mu}{r} - v^2 - 2\alpha_1 = 0. \quad (18)$$

Умножим (16) на  $r^2$ , введем обозначение  $\frac{dw_2}{d\lambda} = \alpha_2$  и сгруппируем следующим образом:

$$\left[ r^2 \left(\frac{dw_1}{dr}\right)^2 - 2\mu r - v^4 - 2\alpha_1 r^2 + \alpha_3 \right] + \left[ \left(\frac{dw_3}{d\varphi}\right)^2 + \frac{\alpha_2^2}{\cos^2 \varphi} - \alpha_3 \right] = 0,$$

отсюда

$$\left(\frac{dw_1}{dr}\right)^2 - \frac{2\mu}{r} - v^2 + \frac{\alpha_3}{r^2} - 2\alpha_1 = 0,$$

$$\left(\frac{dw_3}{d\varphi}\right)^2 + \frac{\alpha_2^2}{\cos^2 \varphi} - \alpha_3 = 0, \quad \left(\frac{dw_2}{d\lambda}\right)^2 - \alpha_2 = 0,$$

следовательно, (17) имеет вид

$$v = -\alpha_1 t + \int \sqrt{\frac{2\mu}{r} - v^2 + \frac{\alpha_3}{r^2} + 2\alpha_1} dr + \alpha_2 \lambda + \int \sqrt{\alpha_3 - \alpha_2^2 / \cos^2 \varphi} d\varphi.$$

В соответствии с [2, С.379]

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial \alpha_1} = \beta_1, & \frac{\partial v}{\partial \alpha_2} = \beta_2, & \frac{\partial v}{\partial \alpha_3} = \beta_3, \\ \frac{\partial v}{\partial r} = p_r, & \frac{\partial v}{\partial \lambda} = p_\lambda, & \frac{\partial v}{\partial \varphi} = p_\varphi, \end{cases}, \quad (19)$$

отсюда имеем следующее решение канонических уравнений (15):

$$\int \frac{d}{\sqrt{v^2 + \frac{2\mu}{r} - \frac{\alpha_3}{r^2} + 2\alpha_1}} = \beta_1 + t, \quad (20)$$

$$\int \frac{\alpha_2 / \cos^2 \varphi}{\sqrt{\alpha_3 - \alpha_2^2 / \cos^2 \varphi}} d\varphi = \lambda - \beta_2, \quad (21)$$

$$\int \frac{(1/r^2)d}{\sqrt{v^2 + \frac{2\mu}{r} - \frac{\alpha_3}{r^2} + 2\alpha_1}} + \int \frac{\alpha_2 / \cos^2 \varphi}{\sqrt{\alpha_3 - \alpha_2^2 / \cos^2 \varphi}} d\varphi = \beta_3, \quad (22)$$

$$\int \frac{v - \frac{\mu}{r^2} + \frac{\alpha_3}{r^3}}{\sqrt{v^2 + \frac{2\mu}{r} - \frac{\alpha_3}{r^2} + 2\alpha_1}} d = p_r, \quad (23)$$

$$\alpha_2 = p_\lambda, \quad \int \frac{(\alpha_2^2 \sin \varphi / \cos^3 \varphi) d\varphi}{\sqrt{\alpha_3 - \alpha_2^2 / \cos^2 \varphi}} = p_\varphi, \quad (24)$$

где:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  – постоянные интегрирования.

Полученные квадратуры дают решение задачи о движении ИСЗ в центральном поле тяготения Хилла. Квадратуры полностью решают проблемы, которые указаны в аннотации, и представляют собой новую промежуточную орбиту, которая аппроксимирует движение далеких ИСЗ в поле тяготения центрального и внешнего тела.

#### Список литературы:

1. Шинибаев М.Д. Метод промежуточных орбит в теории движения ИСЗ. Монография. Palmarium academic publishing. Saarbrücken.– Deutschland, 2015.- 132 с.
2. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Динамика: Учебник для технических вузов.- М.: Высшая школа, 1984.- Ч.2.- 423 с.



## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

### ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С ЦЕЛЬЮ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ООО «ЛУКОЙЛ – ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ»

**Баталов Дмитрий Альфалович**

*Заместитель главного инженера – начальник ЦДУ  
ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь»; г.Когалым*

**Мухаметшин Вячеслав Вячеславович**

*кандидат технических наук, руководитель проектного офиса «Ранняя нефть» ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь»,  
г.Когалым.*

**Дубинский Геннадий Семенович**

*кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Государственное автономное научное учреждение «Институт нефтегазовых технологий и новых материалов Республики  
Башкортостан», г. Уфа*

**Андреев Вадим Евгеньевич**

*доктор технических наук, директор,  
Государственное автономное научное учреждение «Институт нефтегазовых технологий и новых материалов Республики  
Башкортостан», г. Уфа.*

### THE STUDIES OF THE COMPOSITION ON THE BASIS OF POLYACRYLONITRILE WITH THE PURPOSE OF ADAPTING TECHNOLOGY TO CONDITIONS FIELDS OF LLC "LUKOIL – WESTERN SIBERIA"

**Batalov Dmitry Alphalovich**

*Deputy chief engineer – head of CDU  
LLC "LUKOIL – Western Siberia", Kogalym*

**Mukhametshin Vyacheslav Vyacheslavovich**

*Candidate of Technical Sciences, head of project office "Early oil"  
LLC "LUKOIL – Western Siberia", Kogalym*

**Dubinsky Gennady Semenovich**

*Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,  
State autonomous research institute "The Institute of oil technology and new materials of Bashkortostan Republic", Ufa,*

**Andreev Vadim Evgenievich**

*Doctor of technical sciences, the director,  
State autonomous research institute "The Institute of oil technology and new materials of Bashkortostan Republic", Ufa,*

#### АННОТАЦИЯ

В работе исследована модифицированная водоизолирующая композиция на основе полиакрилонитрила. Выполнены аналитические и лабораторные исследования. Исследуемая композиция позволяет ограничивать водоприток по высокопроницаемым каналам.

#### ABSTRACT

In this paper, we tested water shutoff composition on the basis of polyacrylic-nitrile. Performed analytical and laboratory studies. Studied composition allows to limit the inflow of water in high permeability channels.

**Ключевые слова:** водоизолирующая композиция, акрилонитрил, модификация композиций.

**Keywords:** water shutoff composition, polyacrylonitrile, modification of the compositions.

В настоящее время для большинства российских месторождений нефти характерным является интенсивный рост обводнения продукции скважин, сокращение добычи нефти при одновременном увеличении доли трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Происходит увеличение высокообводненного фонда скважин при невысоком коэффициенте извлечения нефти (КИН). Этот процесс характерен для ряда месторождений ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь». Среди основных причин ускоренного водопритока в добывающие скважины отметим прорыв воды по высокопроницаемым пропласткам и трещинам, подъем воды и образование конусов обводнения, заколонные перетоки и негерметичность эксплуатационных колонн.

Таким образом, увеличение эффективности разработки нефтяных месторождений должна обеспечиваться и успешными работами по ограничению водопритоков и регулированию фильтрационных потоков в продуктивных пластах. Для конкретных геолого-физических условий необходима разработка новых и адаптация существующих технологий Модификация уже применяемых композиций реагентов и их комплексирование может давать синергетический эффект прироста при ограничении водопритоков за счет увеличения добычи нефти и прироста КИН [2, 34; 3, 22; 5, 12].

В работе [1] исследования проводили с точки зрения максимальной универсальности реагента и технологии. Однако, при очевидных плюсах такого подхода очень важна адаптация технологии к конкретным геолого-физическим условиям, такая цель и стояла при проведении настоящих исследований. Известно, что возможно эффективное применение сшитых полимерных систем (СПС) для ограничения водопритоков и управления фильтрационными потоками [1, 60; 4, 112]. Для исследований были выбраны полимерные композиции.

Для эффективного использования полимеров, были разработаны и предложены две технологии. В состав рабочей композиции технологии А входят водорастворимые полиакриламидные полимеры, сшиватель и растворитель, технологии Б — водорастворимый набухающий полимер (частично гидролизированный полиакрилонитрил), растворитель и сшиватель (хлорид алюминия).

Композиции типа «растворимый полимер - сшиватель» используют для обработки пластов, обладающих средними величинами проницаемости. Композиции с нерастворимым сильно набухающим полимером, предназначены для обработки пластов, имеющих высокопроницаемые каналы (высокопроницаемые пропластки, трещиноватые зоны пласта).

Для получения сшитых полимеров с требуемыми свойствами необходим выбор собственно полимера, сшивателя, подбор их композиций с учетом состава растворителя.

Выбор водорастворимых полиакриламидов для нефтедобычи осуществляется с учетом количественной информации по физико-химическим и фильтрационным характеристикам полимеров, включенным в базу данных «Полимерные загустители» (база данных содержит информацию о 360 образцах 22 различных производителей), также предварительно проводится комплексное исследование свойств полимеров и их растворов с учетом конкретных условий месторождений Западной Сибири.

В таблице 1 приведены технические требования к композициям сшитых полимерных систем по технологии А, показывающие допустимые диапазоны варьирования характеристик полимеров, времени растворения, стабильности и фильтрационных свойств гелей. Для регулирования и перераспределения фильтрационных токов в сильно неоднородных высокопроницаемых пластах необходимо использовать полимеры, обладающие возможностью эффективно замедлять или блокировать фильтрацию воды в высокопроницаемых пропластках и трещинах (технология Б).

Такие полимеры, наряду с растворимой частью, содержат нерастворимый, сильно набухающий в воде полимер с добавлением сшивателя. Требования к составу таких композиций представлены в таблице 2.

Время, в течение которого система теряет текучесть, т.е. время гелеобразования, является важным технологическим параметром и оно должно быть больше или равно времени закачки композиции в пласт. Другой вариант – смешивание должно произойти в пласте, если время гелеобразования меньше времени закачки композиции, то есть осуществляется порционная закачка.

Таблица 1  
Технические требования к составу полимерной композиции для технологии А

№ п/п	Характеристика	Допустимый диапазон
1	Товарная форма	Порошкообразный
2	Дисперсность порошка: — фракции размером менее 0,25 мм,%	Не более 1
3	Содержание основного вещества	Не менее 90%
4	Молекулярная масса	0,5-10 <sup>6</sup> -2·10 <sup>7</sup>
5	Степень гидролиза, % (моль)	4-15
6	Время растворения, мин.: минерализация растворителя 0,3 г/л минерализация растворителя 15 г/л	Не более 70 Не более 70
7	Фильтруемость растворов в пористой среде	Хорошая
8	Фактор сопротивления механически разрушенного раствора ПАА	Не менее 5
9	Остаточный фактор сопротивления СПС	50 - 300
10	Коэффициент устойчивости геля к температурному воздействию (80°C, не менее 10 суток)	Не менее 0,8

Для композиций СПС на основе полимера – частично гидролизованного полиакрилонитрила и сшивателя хлорида алюминия, время гелеобразования зависит от молекулярных характеристик полимера (молекулярной массы, степени гидролиза) минерализации воды, используемой в качестве растворителя, температуры, концентрации и вида сшивателя.

Сшивание молекул полимера в растворе сопровождается и в композициях А и Б образованием геля, представляющего собой сетку «сшитых» полимерных цепей в растворителе.

Таблица 2  
Технические требования к составу полимерной композиции для технологии Б

№	Характеристика	Допустимый диапазон
1	Товарная форма	Твердый порошкообразный
2	Дисперсность порошка: - растворимая фракция размером менее 0,25 мм, % - нерастворимая набухающая фракция размером не менее 0,4 мм, %	Не более 1 1-10
3	Степень набухания нерастворимой фракции в воде: - минерализация 0,1 г/л - минерализация 15 г/л	Не менее 300 Не менее 30
4	Степень гидролиза растворимой фракции, %	4- 15
5	Время растворения в воде, мин: - минерализация 0,3 г/л - минерализация 15 г/л	Не более 70 Не более 70
6	Остаточный фактор сопротивления, доля ед.	500-2000
7	Начальный (предельный) градиент давления, мПа/м	0,5 - 1
8	Коэффициент устойчивости геля к температурному воздействию (80°C, не менее 10 сут.)	Не менее 0,8

На стадии сшивания увеличивается вязкость раствора (рис.1). Вблизи точки гелеобразования вязкость растет быстро и при образовании геля система перестает течь. Выявленная зависимость времени гелеобразования от концентрации реагента и температуры показала, что в зависимости от условий применения композиций СПС необходимо осуществлять подбор состава композиции для получения требуемых технологических характеристик — времени гелеобразования и уточнять технологию закачки (в виде единой композиции или порционно раздельно полимер и сшиватель).



Рисунок 1. Типичная зависимость вязкости композиции СПС от времени в процессе гелеобразования.

Важным технологическим параметром, определяющим долговременность и эффективность работы сшитых полимерных композиций по задержанию тока воды, является их стабильность и прочность. Стабильность определяется многими факторами: химическими — наличием растворенного кислорода, сероводорода, двухвалентного железа, маркой полимера, составом растворителя; физическими — температурой, скоростью фильтрации (или перепадом давления) при закачке композиции в пласт, механической деструкцией при растворении.

Возможен выбор полимера и сшивателя, обеспечивающих высокий уровень стабильности геля. Стабильность свойств композиций влияет на эффективность технологий воздействия. Применение технологии с модифицированными компонентами (частично гидролизированный полиакрилонитрил) и комплексированием свойств сшивателя и гелеобразующего состава (в нашем случае хлорид алюминия обладает такими свойствами) позволяет получить синергетический эффект ограничения или изоляции притока воды.

Проведенные исследования и моделирование процесса добычи нефти при применении СПС показали, что в качестве меры стабильности свойств СПС можно использовать величину остаточного фактора сопротивления, характеризующего изменение фильтрационных сопротивлений в пласте для воды после закачки СПС.

Анализ большого числа данных по результатам исследований стабильности показывает, что зависимость изменения остаточного фактора сопротивления для СПС описывается соотношением вида

$$R_T = R_0 \cdot e^{-\gamma \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где  $R_T, R_0$  — текущий и начальный остаточные факторы сопротивления;

$\gamma$  — безразмерный коэффициент, показатель скорости разрушения геля;

$\Delta T$  — время пребывания геля в пласте.

Соотношение (1) позволяет рассчитать период эффективного действия реагента, величину и продолжительность эффекта. В этих оценках в качестве показателей используются величины «периода полураспада» и «времени жизни системы». Период полураспада характеризует время, за которое величина исходного фактора сопротивления  $R_0$  уменьшается в 2 раза  $R_T = 0,5R_0$ . Время жизни системы — время, в течение которого достигается условие  $R_T = 1$ .

Дополнительная добыча при сниженной обводненности зависит от продолжительности жизни геля. Очевидна важность учета стабильности СПС при выборе композиции. Выбор композиции должен осуществляться после проведения необходимого комплекса исследований с учетом состава вод, реальной температуры в зоне пласта планируемого для обработки СПС.

Составы на основе растворимых в воде полиакриламидных полимеров эффективны в условиях, не требующих высокого уровня закупоривающего действия — отсутствия anomalно высоких проницаемостей отдельных пропластков, развитой системы трещин (технология А). Для более высокопроницаемых и трещиноватых больше подходит технология Б, основанная на модифицированных реагентах с комплексным действием: частично гидролизированный полиакрилонитрил и сшиватель-ГОС хлорид алюминия.

В зависимости от используемой технологии, технологических свойств композиций, параметров пласта изменяются такие технологические параметры, как объем закачки, концентрации реагентов. Эти параметры определяются на основе модельных расчетов. Эффективность применения описанных здесь композиций полимеров, определяется остаточными факторами сопротивления в пористой среде и величинами начального (предельного) градиента давления. Остаточный фактор сопротивления предопределяет величины фильтрационных сопротивлений в пласте. Начальный градиент давления характеризует прочность геля.

#### Список литературы:

1. Гусев С.В., Мазаев В.В., Коваль Я.В. Опыт применения осадкообразующих композиций для увеличения нефтеотдачи высокообводненных пластов Западной Сибири // Тр. / АООТ «СибНИИНП». - 1996.-С. 60-63.
2. Дубинский Г.С., Кононова Т.Г. Исследование водоизолирующей композиции на основе алюмосиликата и гидролизованного полиакрилонитрила / *Stredoevropsky Veštnik pro Vedu a Vyzkum*. 2015. Т. 73. С. 34.
3. Кантафаров Ф.Я., Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Анализ применения физико-химических методов увеличения нефтеотдачи на Самотлорском месторождении // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Изд. ГУП «ИПТЭР» №2(100) 2015 – с. 18-24.
4. Хайрединов Н.Ш., Андреев В.Е., Котенев Ю.А. и др. Осадкогелеобразующие технологии увеличения нефтеотдачи пластов и снижения обводненности продукции. – Уфа: УГНТУ, 2000. – 150с.
5. Хузин Р.Р. и др. Выбор технологий увеличения дебита нефти и ограничения водопитока в терригенных отложениях залежей Южно-Татарского свода

/ Хузин Р.Р., Мияссаров А.Ш., Хузин Н.И., Андреев В.Е., Дубинский Г.С., Котенев Ю.А. // Проблемы

сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Изд. ГУП «ИПТЭР» №2(84) 2011 – с. 5-14.

## КАК ПРЕОДОЛЕТЬ РОСТ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ ГУМАННЫМИ МЕТОДАМИ?

**Носенко Вячеслав Демьянович**

горный инженер, кандидат технических наук, академик МАНЭБ  
Люберцы, Московской области,  
ООО «Горно-шахтное производство и оборудование»,  
генеральный директор

## HOW TO OVERCOME THE GROWTH OF THE WORLD POPULATION BY HUMANE MEANS?

**Vyacheslav Nosenko Demjanovich**

mining engineer, candidate of technical Sciences, academician of IAELPS  
Lyubertsy, Moscow region,  
LLC "Mining plant and equipment",  
CEO

### АННОТАЦИЯ

В документе от 21 мая 2013 года, под которым подписались несколько сотен учёных из стран всего мира, среди пяти уже ощутимых основных угроз человечеству одной из них является **рост человеческой популяции и потребление ресурсов**. Необходимо стабилизировать и даже сокращать численность населения Земли. Негуманные способы отвергаются. Наиболее приемлемым является способ снижения рождаемости, доказавший свою работоспособность в ряде стран.

### ABSTRACT

In the document dated 21 may 2013, which was signed by several hundred scientists from around the world, five are already being felt among the main threats to mankind one of them is the growing human population and resource consumption. It is necessary to stabilize and even to reduce the population of the Earth. Inhumane methods are rejected. The most acceptable method of fertility decline that has proven its efficiency in several countries.

**Ключевые слова:** рост населения, методы стабилизации или сокращения, гуманизм.

**Keywords:** population growth, stabilization or reduction of, humanism.

В документе от 21 мая 2013 года, под которым подписались несколько сотен учёных из стран всего мира, среди пяти уже ощутимых основных угроз человечеству (**изменение климата, вымирание биологических видов, потеря разнообразия экосистем, загрязнение окружающей среды, рост человеческой популяции и потребление ресурсов**) одной из них является **рост человеческой популяции и потребление ресурсов**. Надо сказать, что решение называемой проблемы приведёт и к улучшению положения и по некоторым другим проблемам.

Уже сейчас население Земли превышает 7 миллиардов человек. Если динамика роста численности не претерпит разительных изменений, то некоторые эксперты считают, что рубеж в 8 миллиардов человек будет преодолен примерно в 2024 году. По оценкам демографов население Земли может достигнуть в 2100 году 11 миллиардов.

Но Земле не нужно столько населения, повторимся – его рост – угроза человечеству.

Работа по ограничению численности населения ведётся. Ещё в 1946 году была создана Комиссия ООН по народонаселению и развитию – как вспомогательный орган Экономического и Социального Совета ООН - и в ней представлены 47 государств — членов ООН [1]. Тем не менее, до настоящего времени нет реально работающих механизмов по стабилизации численности землян на приемлемом уровне.

Вместе с тем, под эгидой ООН создан в 1969 г. фонд в области народонаселения (ЮНФПА) как Фонд Организации Объединённых Наций в Области Деятельности Народонаселения (это название было изменено в 1987 г.) под управлением Фонда развития ООН [2]. В 1971 г. ЮНФПА перешёл под управление Генеральной Ассамблеи ООН. Может показаться, что у ЮНФПА и Комиссии по народонаселению и развитию противоречивые задачи, но это не так. ЮНФПА занимается, можно сказать, «качеством»

существующего населения, а вопросов численности этого населения – совершенно не касается.

Самыми населёнными континентами Земли являются Азия и Африка (табл. 1, составлена на основе источников

[3] и [4]). По прогнозу на 2020 год они также останутся самыми населёнными.

Таблица 1  
Население континентов Земли в 2015 году и прогноз на 2020 год

Континенты	2015 год	Прогноз на	
		2020 год	2030 год
Азия	4 359	4 860	4 904
Африка	1 159	1 321	1 463
Южная и Центральная Америка	488	527	722
Северная Америка	477	508	400
Европа	737	745	676
Австралия и Океания	40	44	34
Итого	7 260	8 005	8 200

Известны многие предложения по ограничению численности, но многие из них весьма негуманны и не могут рассматриваться всерьёз [5], [6]. Более того, они должны быть запрещены и исключены на будущее.

Так, принц Филипп, герцог Эдинбургский, президент Всемирного Фонда Дикой Природы называет 9 методов сокращения населения планеты, «применяемых» уже сегодня [см. 5]: войны, провоцирование аборт и выкидышей, снижение индекса рождаемости, сокращение численности населения за счёт уровня рождаемости меньшего, чем необходимый для простого воспроизводства населения; лекарства, по сути приносящие вред, и наркотики; СПИД, вода, значительная часть которой заражена применяемыми в промышленности веществами, являющимися отравой для человека; похищение детей. К сожалению, некоторые из этих «методов», являясь абсолютно негуманными, применяются на практике. Но, тем не менее, эти «методы», как и методы гуманные, не приводят к снижению численности землян.

Практически приемлемым является метод по ограничению рождаемости, однако не предлагается практически

приемлемого механизма реализации этого метода в масштабе всей Земли. Такой метод применялся и применяется в некоторых странах с высоким приростом населения (количество этих стран очень ограничено: Китай, Индия, Сингапур и некоторые другие [см. 6], [7]). При этом много оговорок, касающихся этого метода. Тем не менее, на практике было показано, что метод «работает». В последнее время в Китае несколько смягчили политику по этой проблеме.

Поэтому мы и основываемся на таком методе. Повторяюсь, этот метод надо реализовать в масштабе всей Земли. Он опирается на опыт Китая, где политика «одна семья – один ребёнок» проводилась в течение нескольких десятилетий и дала, по большому счёту, положительные результаты.

В 2015 году в полутора десятков странах был высокий прирост населения (табл. 2, [8]), в то же время в некоторых ведущих странах он был низким и даже отрицательным (там же).



**Таблица 2**  
Прирост (убыль) населения по странам в 2015 году

Рейтинг страны по численности населения	Страна	Население, тыс. чел.	Дата	Годовой прирост населения, тыс. чел.
2	Индия	1 280,613	18 ноября 2015	16059
1	КНР	1 373,482	18 ноября 2015	6497
7	Нигерия	182,202	1 июля 2015	4531
8	Бангладеш	158,989	4 августа 2015	3175
6	Пакистан	191,125	18 ноября 2015	3175
4	Индонезия	257,564	1 июля 2015	2766
14	Эфиопия	90,076	1 июля 2015	2625
19	Демократическая Республика Конго	77,266	1 июля 2015	1956
12	Филиппины	101,108	8 марта 2015	1953
3	США	321,267	18 ноября 2015	1693
5	Бразилия	203,262	18 ноября 2015	1663
11	Мексика	121,006	1 июля 2015	1658
15	Египет	87,266	18 ноября 2015	1627
17	Иран	78,408	9 июня 2015	964
13	Вьетнам	91,583	1 июля 2015	946
18	Турция	77,695	1 января 2015	832
22	Франция	64,204	1 января 2015	220
21	Великобритания	64,767	1 января 2015	187
9	Россия	146,267	1 января 2015	29
10	Япония	126,890	1 августа 2015	-166
16	Германия	81,174	1 января 2015	-220

Необходимо под эгидой Организации Объединённых Наций заключить конвенцию об ограничении рождаемости, снижении численности и стабилизации или даже снижения численности землян на необходимом уровне. Конвенция должна быть таким же императивом, как, скажем, договор о запрещении испытаний ядерного оружия. К странам, не соблюдающим такую конвенцию, должны применяться меры по принуждению к её исполнению.

Суть конвенции должна состоять в том, что в странах, где имеется прирост населения, женщина может рожать не более двух детей. Считаем, что это не должно рассматриваться как ущемление прав человека. При желании родить более двух детей женщина может приобрести такие права у других женщин, которые собираются родить только одного ребёнка или совсем не рожать. Несанкционированное рождение детей должно влечь за собой буквально уголовную ответственность.

Данное предложение не требует материальных затрат и может быть реализовано немедленно.

Вместе с тем, к каждой стране должен быть индивидуальный подход. Есть страны, назовём их «перенаселённые», где плотность населения превышает 100 человек на квадратный километр (табл. 3, составлена на основе источника [9]). Как видно из этой таблицы, на сегодняшний день таких стран 39. По-видимому, в этих странах прирост населения надо ограничить. В то же время, есть страны с численностью населения более 10 миллионов человек, но с плотностью населения менее 100 человек на квадратный километр (там же, таких стран 53). Прирост населения в этих странах может ощутимо повлиять на прирост населения на всей Земле. По-видимому в ряде этих стран допустим рост населения до тех пор, пока его плотность не достигнет средней плотности по Земле в целом. Но, повторяюсь, к каждой стране должен быть индивидуальный подход, учитывающий конкретную обстановку.

Таблица 3  
Список стран по плотности населения

Ранг	Государство	Площадь в км <sup>2</sup>	Население	Жителей на км <sup>2</sup>
2	Сингапур	693	5 312 400	7437
7	Бангладеш	143 998	166 280 712	1154
9	Китайская Республика	35 980	23 299 716	648
12	Республика Корея	98 480	48 636 068	494
15	Нидерланды	41 526	16 783 092	404
18	Израиль	22 072	8 132 000	368
20	Индия	3 287 590	1 173 108 018	357
24	Бельгия	30 528	10 423 493	341
25	Япония	377 835	126 804 433	336
26	Филиппины	300 000	99 900 177	333
27	Шри-Ланка	65 610	21 513 990	328
30	Вьетнам	329 560	89 571 130	272
34	Великобритания	244 820	62 348 447	255
36	Германия	357 021	82 282 988	230
37	Пакистан	803 940	184 404 791	229

Ранг	Государство	Площадь в км <sup>2</sup>	Население	Жителей на км <sup>2</sup>
38	Лихтенштейн	160	35 002	219
43	Италия	301 230	58 090 681	193
44	Люксембург	2586	497 538	192
46	КНДР	120 540	22 757 275	189
47	Швейцария	41 290	7 623 438	185
53	Кувейт	17 820	2 789 132	157
56	КНР	9 596 960	1 330 141 295	139
57	Таиланд	514 000	67 089 500	131
58	Малави	118 480	15 447 500	130
59	Чехия	78 866	10 201 707	129
61	Дания	43 094	5 515 575	128
62	Индонезия	1 919 440	242 968 342	127
66	Польша	312 685	38 463 689	123
67	Сирия	185 180	22 198 110	120
68	Кипр	9251	1 102 677	119
69	Франция	547 030	64 768 389	118
70	Португалия	92 391	10 735 765	116
72	Словакия	48 845	5 470 306	112
73	Венгрия	93 030	9 992 339	107
74	Албания	28 748	2 986 952	104
75	Куба	110 860	11 477 459	104
76	Гана	239 460	24 339 838	102
77	Армения	29 800	2 966 802	100
78	Турция	780 580	77 804 122	100
84	Румыния	237 500	21 959 278	92
85	Испания	504 782	46 505 963	92
88	Малайзия	329 750	28 274 729	86

Ранг	Государство	Площадь в км <sup>2</sup>	Население	Жителей на км <sup>2</sup>
90	Греция	131 940	10 749 943	81
91	Египет	1 001 450	80 471 869	80
92	Камбоджа	181 040	14 453 680	80
94	Эфиопия	1 104 300	88 013 491	80
96	Мьянма	676 578	53 414 374	79
99	Украина	603 550	45 415 596	75
102	Марокко	446 550	31 627 428	71
105	Кения	582 650	40 046 566	69
107	Ирак	437 072	29 671 605	68
110	Тунис	163 610	10 589 025	65
112	Кот-д'Ивуар	322 460	21 058 798	65
114	Лесото	30 355	1 919 552	63
115	Сенегал	196 190	12 323 252	63
116	Узбекистан	447 400	27 865 738	62
118	Буркина-Фасо	274 200	16 241 811	59
119	Мексика	1 972 550	112 468 855	57
122	Эквадор	283 560	14 790 608	52
126	Иран	1 648 195	76 923 300	47
127	Белоруссия	207 600	9 612 632	46
129	Афганистан	647 500	29 121 286	45
131	Йемен	527 970	23 495 361	45
132	Танзания	945 087	41 892 895	44
135	Гвинея	245 857	10 324 025	42
136	Камерун	475 440	19 294 149	41
137	ЮАР	1 219 912	49 109 107	40
138	Колумбия	1 138 910	44 205 293	39
139	Мадагаскар	587 040	21 281 844	36

Ранг	Государство	Площадь в км <sup>2</sup>	Население	Жителей на км <sup>2</sup>
142	США	9 826 675	310 232 863	32
144	Демократическая Республика Конго	2 345 410	70 916 439	30
145	Зимбабве	390 580	11 651 858	29,8
146	Венесуэла	912 050	27 223 228	29,8
149	Мозамбик	801 590	22 061 451	27,5
151	Бразилия	8 511 965	201 103 330	23,6
152	Перу	1 285 220	29 907 003	23,3
155	Чили	756 950	16 746 491	22,1
161	Замбия	752 614	13 460 305	17,9
163	Судан	1 886 068	22 633 510	16,4
165	Сомали	637 657	10 112 453	15,9
167	Аргентина	2 766 890	42 610 981	15,4
168	Алжир	2 381 740	34 586 184	14,5
173	Нигер	1 267 000	15 878 271	12,5
175	Саудовская Аравия	2 149 690	25 731 776	12,0
176	Мали	1 240 192	13 796 354	11,1
177	Ангола	1 246 700	13 068 161	10,5
181	Россия	17 125 187	146 270 033	8,5
182	Чад	1 284 000	10 543 464	8,2
184	Казахстан	2 724 902	17 608 220	6,4
187	Канада	9 984 670	34 568 211	3,5
193	Австралия	7 692 024	22 262 501	2,8
	Земля (без Гренландии и Антарктиды)	132 774 000	7 305 000 000	53,4

**Список литературы**

1. Интернет-ссылка: [http://www.un.org/ru/ecosoc/about/population\\_commission.shtml](http://www.un.org/ru/ecosoc/about/population_commission.shtml) Вспомогательные органы ЭКОСОС
2. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/> Фонд ООН в области народонаселения
3. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Список стран по населению
4. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Страны прогноз численности населения в 2020 году
5. Интернет-ссылка: <http://www.kpe.ru/sobytiya-i-mneniya/ocenka-sostavlyayuschih-jizni-obschestva/zdorove-cheloveka-orujie-genocida/2846-9-metodov-genocida/> 9 методов сокращения населения планеты, применяемых сегодня
6. Интернет-ссылка: [http://www.saveplanet.su/articles\\_103.html](http://www.saveplanet.su/articles_103.html) Проблемы перенаселения Земли и пути их решения
7. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Политика ограничения рождаемости
8. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/> Список стран по естественному приросту населения
9. Интернет-ссылка: <https://ru.wikipedia.org/wiki> Список стран по плотности населения