



АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Периодический научный сборник



2016 № 5-3
ISSN 2413-0869

ПО МАТЕРИАЛАМ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
Г. БЕЛГОРОД, 31 МАЯ 2016 Г.

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(АПНИ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2016 • № 5-3

Периодический научный сборник

*по материалам
XIV Международной научно-практической конференции
г. Белгород, 31 мая 2016 г.*

ISSN 2413-0869

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2016 • № 5-3

Периодический научный сборник

Выходит 12 раз в год

Учредитель и издатель:

ИП Ткачева Екатерина Петровна

Главный редактор: Ткачева Е.П.

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а

Телефон: +7 (919) 222 96 60

Официальный сайт: issledo.ru

E-mail: mail@issledo.ru

Информация об опубликованных статьях предоставляется в систему **Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)** по договору № 301-05/2015 от 13.05.2015 г.

Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте: **www.issledo.ru**

По материалам XIV Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (г. Белгород, 31 мая 2016 г.).

Редакционная коллегия

Духно Николай Алексеевич, директор юридического института МИИТ, доктор юридических наук, профессор

Васильев Федор Петрович, профессор МИИТ, доктор юридических наук, доцент, чл. Российской академии юридических наук (РАЮН)

Тихомирова Евгения Ивановна, профессор кафедры педагогики и психологии Самарского государственного социально-педагогического университета, доктор педагогических наук, профессор, академик МААН, академик РАЕ, Почётный работник ВПО РФ
Алиев Закир Гусейн оглы, Институт эрозии и орошения НАН Азербайджанской республики к.с.-х.н., с.н.с., доцент

Стариков Никита Витальевич, директор научно-исследовательского центра трансфера социокультурных технологий Белгородского государственного института искусств и культуры, кандидат социологических наук

Ткачев Александр Анатольевич, доцент кафедры социальных технологий НИУ «БелГУ», кандидат социологических наук

Шаповал Жанна Александровна, доцент кафедры социальных технологий НИУ «БелГУ», кандидат социологических наук

Трапезников Сергей Викторович, начальник отдела аналитики и прогнозирования Института региональной кадровой политики (г. Белгород)

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»	5
<i>Afonshin V.E., Popchitelev E.P.</i> DEVELOPMENT OF HUMAN MOTOR SKILLS USING BIOTECHNICAL MULTIMEDIA SYSTEM.....	5
<i>Агаммедова С.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ ЖЕСТКИХ И МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	11
<i>Барановская И.А., Петрухина Е.В., Дудина Е.В., Авдеева И.Л.</i> К ВОПРОСУ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	32
<i>Бочаров Н.М., Крашенинников М.А.</i> КОМБИНАЦИЯ ИДС – ДТА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА 1420.....	34
<i>Быкадор В.С., Австрийченко А.А., Шарипов В.Г., Киселёв Н.В.</i> АНАЛОГОВЫЙ И ЦИФРОВОЙ ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO.....	38
<i>Быкадор В.С., Попов Ю.В.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА РЕГРЕССИОННЫМИ МЕТОДАМИ ПО МОДЕЛЯМ НИЗКОГО ПОРЯДКА	48
<i>Вельтищев В.В., Суфляева Н.Е.</i> О ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	55
<i>Евтушенко А.М., Колкин А.В., Алексеев Н.С., Крашенинникова И.Г.</i> КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ ЖЕЛАТИНЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ ПРИ СОНОХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	58
<i>Казанцев И.С., Кудряков С.Д., Шитиков А.С.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДСИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО СКРЫТНОГО КЛАВИАТУРНОГО МОНИТОРИНГА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДМЕНЫ ЗАКОННОГО ОПЕРАТОРА	61
<i>Казанцев И.С.</i> СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИИ	63
<i>Камчыбеков Д.К.</i> КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕЙ КЫРГЫЗСТАНА.....	66
<i>Качаев Р.О., Куликова Е.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БАДЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ	71
<i>Киреева Е.И., Своеволина Г.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИЕТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ «РАПАМИД» И ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ВНЕСЕНИЕМ ЭТОЙ ДОБАВКИ НА СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИНКОРПАРИРОВАННОГО РАДИОЦЕЗИЯ У ПОДРОСТКОВ – ЖИТЕЛЕЙ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	74
<i>Лазеба М.А.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ АЛЛОКАЦИЙ ОБЪЕКТОВ С КОНТЕКСТОМ В ПРОГРАММАХ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ JAVA.....	78
<i>Латинов О.О., Бурдуковский Н.П., Старичихин М.Г., Графова Н.С.</i> 2D- И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ	81

Лепешкин А.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРООБЪЕМНОГО ПРИВОДА ВЕДУЩЕЙ ОСИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ	84
Лищенко Н.В., Ларшин В.П., Ковальчук Е.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЬНОГО ЗУБОШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ	91
Лобосова Л.А., Журахова С.Н., Свиридова О.Я., Решетникова А.С. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЖЕЛЕЙНО-ФРУКТОВЫЙ МАРМЕЛАД С ПЛОДАМИ АРОНИИ	97
Медведев А.С., Лепешкин А.В., Михайлин А.А. ОБЪЕМНЫЙ ГИДРОПРИВОД ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА, УСТАНОВЛИВАЕМОГО НА ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ	99
Никифоров Б.Т. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ	104
Никулина Н.С., Провоторова М.А., Булатецкая Т.М., Никулин С.С. ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ КОМБИНИРОВАННОГО КОАГУЛЯНТА МЕЛАССА – ХЛОРИД НАТРИЯ.....	108
Перекрестов А.Е., Германова В.А. ОСОБЕННОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	110
Помизгуев А.В., Шуклин И.К. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ	112
Попова Е.О. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГЕОКАРТИРОВАНИИ.....	116
Рыжкин В.В. ВСЕ НОВОЕ – ЭТО ДАВНО ЗАБЫТОЕ СТАРОЕ	118
Савдур С.Н., Половкина Э.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТОВ В ВИДЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ	121
Суровцева О.А. УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПОМОЩИ САПР ТП.....	124
Храпов С.Д., Латипов О.О., Графова Н.С., Старичихин М.Г. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ВОЛС С DWDM.....	126
Чугай Д.И., Баранов А.А. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УГЛЕРОДНОГО НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ КЛЕЕВЫХ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНЫХ ДИСПЕРСИЙ.....	129
Шаринов В.М., Городецкий К.И., Сопкин В.А., Дмитриев М.И. К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ В КОНТАКТЕ ПАР ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ В КОРОБКАХ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ.....	131
Швагерик Э.А. РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ	135
Шинкин В.Н. КРИВИЗНА ЛИСТА ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРАВКЕ НА ЧЕТЫРЕХРОЛИКОВОЙ МАШИНЕ	137
Шинкин В.Н. РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХРОЛИКОВОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРАВКЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА	146

**DEVELOPMENT OF HUMAN MOTOR SKILLS USING
BIOTECHNICAL MULTIMEDIA SYSTEM**

Afonshin V.E.

General Director, LLC LEMA, Russia, Yoshkar-Ola

Popechitelev E.P.

Doctor of Sciences, Professor,

St. Petersburg State Electrotechnical University, Russia, St. Petersburg

The paper deals with the problem of the series of diagnostic methods and improvement of human motor skills in team sports. First of all, these diagnostic methods are intended for use in football, hockey and basketball, although it is possible its use them in other sports. The distinctive feature of those methods is the interaction of three components: the athlete, the system, which generates and controls the athlete's internal condition and the system of creation of the external multimedia environment to be a basis for creation of the novel methodological training methods. Using optical encoding of the training area, cognitive and motor tests are simulated, a large number of new training drills and game tasks being more advantageous compared to the conventional methodological approaches to motor skills training and for formation of the new qualities and evaluation of the athlete's competition readiness are proposed.

Keywords: motor skills, active training methods, multimedia devices, training area optical encoding, active biofeedback, biotechnical system.

Introduction

The advanced countries where popular team sports are progressing possess quite an effective system for selection and training young and highly-qualified athletes. At the same time, for further sport achievements improvement new training approaches and technologies based on the latest scientific breakthroughs are required. One of the promising ways to modify the training procedures is creating instructional training techniques of the new generation to allow us to control the training sessions in real time. Technical sport facilities of this type are to be designed using the principles of biotechnical systems construction. To synthesize those the focus is to be made on coordination of human characteristics and the devices connected to the person. The sophisticated technical devices for such coordination illustrated by the example of BTS Sport Training System are described in the article.

The Approaches to Set the Interactive Training Session

Team sports competitions take place in the conditions distinguished by a great variety and dynamic character of game situations. Therefore, the athletes are imposed special requirements for possessing skills and abilities to control the current situations, to anticipate their development and respond to their changes. It is a fact that some of the situations are difficult to perceive within seconds, game actions are constrained in space and time, and there is a necessity to coordinate individual actions with those of the other team members and with the opponents' ones.

Quality and efficiency of the team's overall performance depends on the condition of each team member, on the readiness to perform athletic movements, to interact with other team members and on mutual understanding and psychological atmosphere [6, 7].

Current views on emerging technologies in sport are closely connected with the introduction of the innovative methods of training sessions arrangement. The accent is made on methods to improve technical and tactical training of each athlete, to the ways to control the training external conditions, to the drills selection and training programs optimization. In addition, much attention is to be paid to the methods to monitor the athletes' condition status and possible changes in training programs depending on the current status and the results achieved.

The Russian researches devoted to the problem of training process optimization showed the advantages of the artificially controlling external environment for training any motor actions through the use of technical devices creating the external stimuli [8, 4], which were supplemented by the methods of motor action programming and motor disorders correction (in particular, through the use of the active biofeedback [5] and many other developments.

The feature of the active biofeedback application when drilling human biomechanical movements both during rehabilitation and sports training is attaining the optimal motor patterns: in the first case, they are lost patterns, and the second case, they are the immature ones [10, 3]. When using the active biofeedback method, a person is given information on the current condition of some of his/her physiological functions by means of the acoustic, visual or tactile effects in order to control these functions consciously [9].

However, the effectiveness of the training session depends not only on the training program, but also on the use of different effects on the person's psychophysiological state by means of various sensory signals that create optimal conditions for learning and development. Combination of all possible sensors with the process of athlete's condition controlling is not possible yet, so these effects are limited to visual and auditory signals emitted by specialized technical devices of optical imaging (projection, laser, LED, etc.) and sound emitters (speakers, small speakers, hearing aids).

In sensory physiology, special attention is paid to human exposure to color and sound sequences, as their influence improves harmonization of the human condition. Those channels can be used to create the active biofeedback channel if the synthesized stimuli parameters depend on the human physiological processes parameters.

According to the standard practices, the latest projection systems can display on large areas – 'presentation screens' (e.g. a training area) the images containing an unlimited number of high-quality still and mobile visually observed fragments in a wide range of parameters. Along with this, the adjustment of the parameters of the information contents can be done using software or in a special way.

The training session taking place in the conditions of the above said technical and methodological tools application, which enhance the artificially controlling external environment should be based, at the same time, on the features of the

mechanical, biological and mental processes in the human body and which should be reflected upon in the training program requirements.

Methods of Athletes Training in the Interactive Multimedia Environment

The analysis of the scientific and methodological literature has shown that the training sessions see the zero application of the latest achievements in technology and sports medicine. The methods based on the creation of an interactive external environment where using specialized technical devices the peculiar, dynamically changed training area setting is provided and the athlete's current condition is taken into account, give an opportunity directly, during the training session, to render controlling influence on the athlete and the whole team as a whole. When selecting such devices, one should be guided by the two groups of interrelated principles, one group being referred to the problem of creating the training space, and the other one – to the methods of creating and controlling its multimedia contents.

The first group includes forming additional stimuli intended for different sensory modalities of human perception (mainly, they are light and sound) and their projection on the training area in the form of color images, whose position and the parameters are controlled by a coach or they are formed and transformed automatically depending on the current situation and the human condition. This group also includes methods of transmitting audio signals to the athlete, video recording of all the training space and recording the maximum number of training drills parameters in the specialized database.

The second group of principles is intended for controlling the training task contents. This group includes the methods of the separation of the playing area into several sections – dynamically lit unallowed and free (allowed) zones, designing software to change the parameters of zones and changes in the parameters to generate the dynamics of the training situations, individual selection of the transformation program in different sections with the view of sports specialization. The objectives of switching on the active feedback channels to control the training program taking into account the athlete's state or the group as a whole and recording the parameters in real time are also provided.

For zones optical encoding to be apprehensible, they are provided for with the change in their position and some color features, the change in luminance or in contour clearly contrasting against the background of the rest of the presentation screen. These zones facilitate the athlete in perceiving effectively the training drills and tasks. Additional devices monitor the current physiological and psychophysiological condition of the athlete, and switch on (if necessary) the active bio-feedback channels for automated training session control.

The contrasting visual images, being projected directly on the presentation screen as separate figures, are easy to form by means of projection systems. To generate information and emotional external environment, one can use speakers and a variety of light sources, which effectively help to form a human motor activity, accelerate the motor actions mastery. Simultaneously, they significantly improve the mood and endurance, provide better display of muscle strength, speed and agility, contribute to the formation of many conditioned reflexes. The images of different purpose zones on the presentation screen can guide the athlete to do the

required actions and coach's recommendations and the media image created 'is transformed' in the muscles and it causes an adequate reflex, which determines the movements in space. Performing ideomotor and simulation drills under specially selected tone series create the conditions for preserving all the motion characteristics within the required extent and, thereby, contribute to the formation of the correct movement patterns, which significantly enhances the overall effectiveness of the training session.

BTS-Sport Biotechnical Training System

As an example of the particular development here is the brief description of BTS-Sport Biotechnical System, which integrates all methods mentioned above for the formation of the new motor skills training techniques (Fig. 1) [2]. The described system belongs to the class of biotechnical systems, as its structure includes the biological objects being athletes and a coach; their behavior and condition parameters determine the specific training program.

The complex facilitates in solving several problems, such as finding and evaluating the most promising athlete's characteristics; adjustment of training programs, taking into account the changes in the athlete's condition and readiness; conducting routine examination of movements skills and their adjustment, as well as monitoring the athlete's functional condition and the training loads.

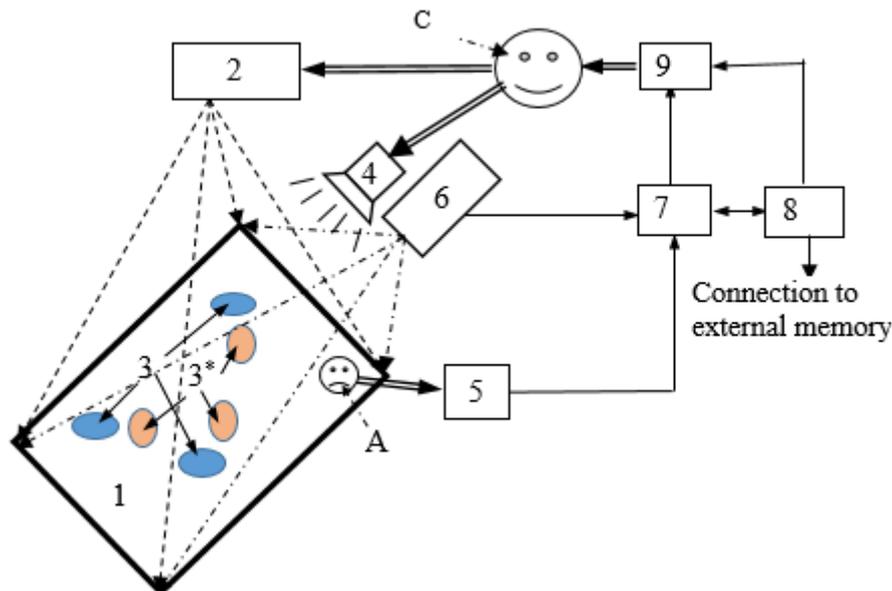


Fig. 1. The simplified structure of the BTS-Sport Training System

In accordance with the groups of the listed above principles, the structure of the system is divided into three separate parts. The first part is designed for running the training session and includes Playing Ground 1, Generator of colored figures and Projection System 2, covering the entire field. Dynamically lit zones (Allowed ones – 3 and Unallowed Sections – 3*) guiding the athlete (A) to his/her possible position for executing coach's drills. Loudspeaker Channel 4, consisting of the speech correction unit and a loudspeaker serve to transfer coach's voice instructions and music. To transfer information in the technical part of the system, the electrical signals are used and different sensory modalities are used to transfer effects to/from the person. To display these differences, the system has arrows

of → type which indicate to the connection between the technical units and
of ⇒ type which reflect the transfer of information from the coach and athlete.

The projection system provides on Play Field 1 optical encoding of the playing space, pointing to the athlete to move or prohibiting to do it according to the training program. It is possible to create illuminated tracks and spatial position for the athlete to stay on at a particular moment of the training session, for example holding an implement. For this purpose, Allowed Zones 3 for the athlete to move to and Unallowed Zones 3* not to be passed are created on Play Field 1. At the same time, the opponents – the other team members or obstacles for the athlete to bypass – can stay in the unallowed zones. The coach (C) can, unpredictably for an athlete, change the position, shape, size and color of the unallowed and allowed sections by means of Generator of Projection System 2. A lot of different situations on the presentation screen to diversify the list of exercises both for one athlete and for a group of players can be proposed.

Another part of the System designed to monitor the athlete's (or a group of athletes') condition and the training session includes measuring transducers of the selected physiological parameters and Spatial Coordinates Sensors 5 connected to Processing Unit 6. The number of the monitored parameters is to be minimal but sufficient to evaluate the changes in the human condition (e.g. respiratory rate and heart rate).

From the practical point of view, the analysis of the results of the training session is to be done after the workout for which purpose the entire course of the training is to be recorded. This is done using Video Camera 6. Video signals after processing in Unit 7 (noise and other strange objects removal) go through Computer 8 to Coach's Monitor 9, which displays the athlete's condition data. At the same time, this information is recorded on an external memory unit for analyzing training data from other workouts. When using active biofeedback channel mode, the information from Processing Unit 6 can go directly to Generator 2.

Multivariate modeling of game situations, based on the configuration transformation, movement speed, changes in shape and position of the unallowed and allowed zones offers the possibility to introduce artificially the players into the close to a real game state being experienced in a real play. This approach is instrumental for implementing the standard drills and tests and creating entirely new ones. Predictable and unexpected situations, multi-level 'smart tasks' provide a means of a comprehensive evaluation of the athlete's visual, cognitive and motor abilities, as well as to generate a large set of individual and group drills with different number of athletes or 'light opponents' reflected by the unallowed zones. Visual observation allows the coach to adjust purposefully the training mode and to evaluate the athlete's proficiency judging by the athlete's ability to execute training tasks in a perfect way.

BTS-Sport System supports the multivariate modeling of plain and complex game situations with their reiterations to train the required skills through personalized training modes. The system ensures the confidentiality of the analysis results and facilitates in monitoring each athlete's results, in preparing individual programs and recommendations for results enhancing. Thus, an artificial multimedia

environment used for training creates pedagogical and methodological advantages compared to the conventional game conditions.



Fig. 2. Example drills

Fig. 2 shows the examples of drills with the projections of the static and dynamic figures shapes and areas used for technical training of young football players.

The number of such exercises is large, they are easy to transform, adjust their parameters and contents. Specialized drills created with static and dynamic illumination, allow us to evaluate in the close to real game conditions such skills as response, coordination, the athlete's ability to navigate and move in space. There appear new opportunities to develop the implement technical skill and to identify and adjust the player's motor stereotypes.

BTS-Sport Training System and a drill set based on it received coaches' and experts' appreciation as an undoubtedly promising tool for application compared to the conventional coaching approaches.

Conclusion

For the first time a multi-purpose motor skills drills generating system for training individual athletes and teams in team sports was developed and tested. It is based on the conscious control of the athlete's movements and actions using a light dynamic encoding of the play area, the trainees' external reactions and condition being monitored. The system allows to arrange a multivariate real-virtual play experience on real playing fields with the actual implements (a ball or a puck). The features of the System are: mobility, multivariance of technical implementation, applicability for sports arenas, gymnasias and small areas. Testing BTS-Sport System for football proves to be an effective and promising application of these technologies for many sport spheres, physical education development and motor activity enhancement of different age groups, including people with disabilities.

References

1. Afonshin, V.E. Method for Training Players and Sportsmen. United States Patent No. 9233289 B2 published 01.12.2016.
2. Afonshin, V.E., Popechitelev, E.P Biotechnical Training Complex for Training Athletes in the Interactive Multimedia Environment. International Scientific Journal *Symbol of Science*. No. 1. 2016. p. 18-26.
3. Bernstein, H.A. Physiology of Movements and Activity. Moscow: Nauka. 1990. 495 p.
4. Dobrovolsky, S.S. Optimization of the Intensive Technology of Runners – Sprinters' Motor Actions Improvement Using Technical Tools. Theory and Practice of Physical Education. 1993. No. 3. p. 23-28.
5. Kuzicheva, O.A. Application of Biofeedback Method for Correction of Motor Disorders. Biocontrol-3: Theory and Practice. Novosibirsk. Institute of Medical Biological Cybernetics of Russian Academy of Medical Sciences. 1999. p. 6-11.

6. Popechitelev, E.P. A Man in the Biotechnical System. Stary Oskol: TNT Publishing House. 2016. 586 p.
7. Popechitelev, E.P. A Sport Team as a Macro-organism. Proceedings: Physical Education and Sport in the Education System of Russia: Innovations and Prospects of Development. St. Petersburg. OOO Zolotoe Sechenie. 2013. p. 295-314.
8. Ratov, I.P. Human Motor Abilities (Non-conventional Methods of their Development and Recovery). Minsk, 1994.
9. Rozhentsov, V.V., Afonshin, V.E. The Technology of Technical and Tactical Training in Team Sports. NB: Cybernetics and Programming. 2014. No. 3. p. 103-109.
10. Zhukov, R.S. The New Information Technologies in Scientific and Methodological Activities of Physical Education and Sport Experts: State and Prospects. Bulletin of Kemerovo State University. 2009. No. 4. p. 76-80.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ ЖЕСТКИХ И МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Агаммедова С.А.

доцент кафедры «Машиностроение и материаловедения»,
канд. техн. наук, доцент, Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности, Азербайджан, г. Баку

Для расчета надежности установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) применен вероятностно-возможностный подход, сочетающий жесткие и мягкие вычисления, основанные на вероятностной и возможностной мере, соответственно. На основе цензурированных выборок об отказах с использованием метода корневой оценки плотности распределения вероятностей получены непараметрические оценки функции распределения отказов и проведен расчет надежности УЭЦН, используемых при эксплуатации нефтяных скважин.

Дано обобщение формул для вычисления нечеткой надежности на случай любого числа элементов системы.

Ключевые слова: погружной электроцентробежный насос, жесткие и мягкие вычисления надежности, вероятностная и возможностная мера, метод корневой оценки плотности распределения вероятностей, цензурированная выборка.

Современное состояние нефтегазодобывающей отрасли обусловлено ухудшением качества ресурсной базы, увеличением доли трудноизвлекаемых запасов в структуре активов нефтяных компаний и, как следствие осложнением условий эксплуатации. Ввиду сложившейся ценовой конъюнктуры на мировом рынке актуальным становится вопрос снижения эксплуатационных затрат на добычу нефти и повышение надежности эксплуатации нефтепромыслового оборудования.

Анализ долговременных наблюдений позволил выявить устойчивую тенденцию возрастания удельного веса добычи нефти механизированными способами эксплуатации.

Среди механизированных способов добычи все более заметное место занимают погружные установки центробежных электронасосов износостой-

кого исполнения типа ЭЦНИ и диафрагменных электронасосов типа ЭДН. Мировая нефтепромысловая практика показывает, что приблизительно 20% скважин, эксплуатирующихся при помощи механизированного метода добычи, оборудовано установками электроцентробежных насосов (УЭЦН), что составляет в количественном выражении около 180 тыс. скважин.

Оснащение нефтедобывающей промышленности сложным высокопроизводительным оборудованием приводит к росту текущих эксплуатационных затрат и значительно повышает требования к надежности данного оборудования. Выход из строя любого из элементов компонента оборудования приводит, как правило, к остановке скважины, поэтому требования к надежности каждого элемента комплекса значительно повышаются.

Классическая теория надежности, основанная на вероятностном подходе, требует информацию о распределениях вероятностей отказов и восстановления системы и предполагает известные статистические характеристики двух возможных состояний системы: работоспособность и потеря нормального режима работы [1, 2]. Допущения о четких бинарных состояниях системы не выполняются на практике в большинстве случаев и могут представляться нечеткими величинами естественным образом. К тому же, в некоторых случаях, особенно в системах с редкими отказами, недостаточность информации не позволяет построить репрезентативные (представительные) выборки для оценки вероятностных характеристик процесса и возникает необходимость замены вероятностной меры возможностью. При возможностном подходе к исследованию отказов системы предполагается, что ее поведение полностью характеризуется возможностью мерой и что состояния ее работоспособности и отказов являются нечеткими величинами [3, 4]. Это приводит к различным формам построения теории нечеткой надежности. Теория надежности при достаточной информации (*profust reliability theory*) основана на допущениях о вероятностной мере процесса и нечетких состояниях; теория надежности при недостаточной информации о распределении вероятностей пребывания в состояниях (*probist reliability theory*) основана на допущении о возможностном распределении пребывания в состояниях и допускает только два состояния: нечетко-возможностная теория надежности (*posfust reliability theory*) основана на допущениях о возможностном распределении пребывания в состояниях и нечеткости этих состояний [5, 6].

Применение нечеткой методологии к моделированию надежности связан с работой А. Кауфмана [7], который еще в 1975 г. ввел понятие возможного отказа вместо привычного понятия вероятностного отказа. Однако в то время возможность имела не совсем ясную эмпирическую интерпретацию и недостаточную теоретическую основу. В настоящее время нечеткая методология получила широкое распространение и используется в жестких и мягких вычислениях надежности, анализе риска, надежности живых систем и т.д.

В настоящей работе используется комбинированный подход к моделированию надежности, сочетающий жесткие и мягкие компьютерные вычисления [5]. На основе данного подхода разработана методология расчета надежности установок электроцентробежных насосов, используемых в про-

мысловых нефтяных скважинах, с применением цензурированных выборок эксплуатационных данных. При этом для оценки плотности и функции распределения отказов использован метод корневой оценки плотности распределения вероятностей [8, 9].

1. Постановка задачи определения нечеткой надежности погружных электронасосов и схема ее решения. В компьютерных системах в последнее время используются как жесткие вычисления (*hardware*), основанные на вероятностной мере (*probabilistic measure*), так и мягкие вычисления (*software*), основанные на возможностной мере (*possibility measure*) [5]. Надежность, полученную с помощью жестких вычислений, назовем кратко «жестковывчисляемой надежностью» (в англоязычной литературе – «*hardware reliability*»), а полученную с помощью мягких вычислений – «мягко вычисляемой надежностью» («*software reliability*»). Обе эти надежности должны рассматриваться одновременно, если к точности вычисления надежности предъявляются повышенные требования. В дальнейшем жестковывчисляемую и мягко-вычисляемую надежность будем обозначать сокращенно как *H* – надежность и *S* – надежность.

Поначалу, исследования по *H* – надежности и *S* – надежности развивались самостоятельно, хотя и были некоторые исключения [10-12]. Более того, в ранних исследованиях по моделированию комбинированной *H* – надежности и *S* – надежности предполагалось, что каждую из них можно объяснить с вероятностной точки зрения и основное внимание уделялось тестам с мягкими вычислениями, с помощью которых устанавливались и устранялись погрешности с целью повышения точности вычисления надежности.

Сегодня стало ясно, что в основе *H* – надежности должна лежать вероятностная мера, а в основе *S* – надежности – возможностная мера, и что моделирование надежности целесообразно проводить комбинированием жестких и мягких компьютерных систем [5].

Рассматривается задача определения надежности электроцентробежных насосов (УЭЦН), общая схема которых представлена на рис. Статистика отказов УЭЦН за 2014 г. по 5 нефтегазодобывающим управлениям Абшеронского полуострова дана в таблице, при этом в каждом интервале наблюдения длиной в 30 суток приведены числа отказов по составляющим элементам системы, что дает возможность рассматривать УЭЦН как систему из шести основных последовательно соединенных элементов: насос (*H*), двигатель (*D*), гидрозащита (*ГЗ*), газосепаратор (*ГС*), кабель(*К*), трубы (*T*).

Моделирование надежности УЭЦН на основе статистических данных таблицы, будет проведено комбинированием жестких и мягких вычислений (*H*-надежность и *S*-надежность). Подробное изложение данного подхода излагается в разделе 3. Предварительно в контексте жестких вычислений в нижеследующем разделе с помощью метода корневой оценки плотности распределения наработки до отказа по цензурированным данным из таблицы рассчитывается функция распределения вероятностей отказов и вероятность безотказной работы УЭЦН для отдельно взятого НГДУ из таблицы.

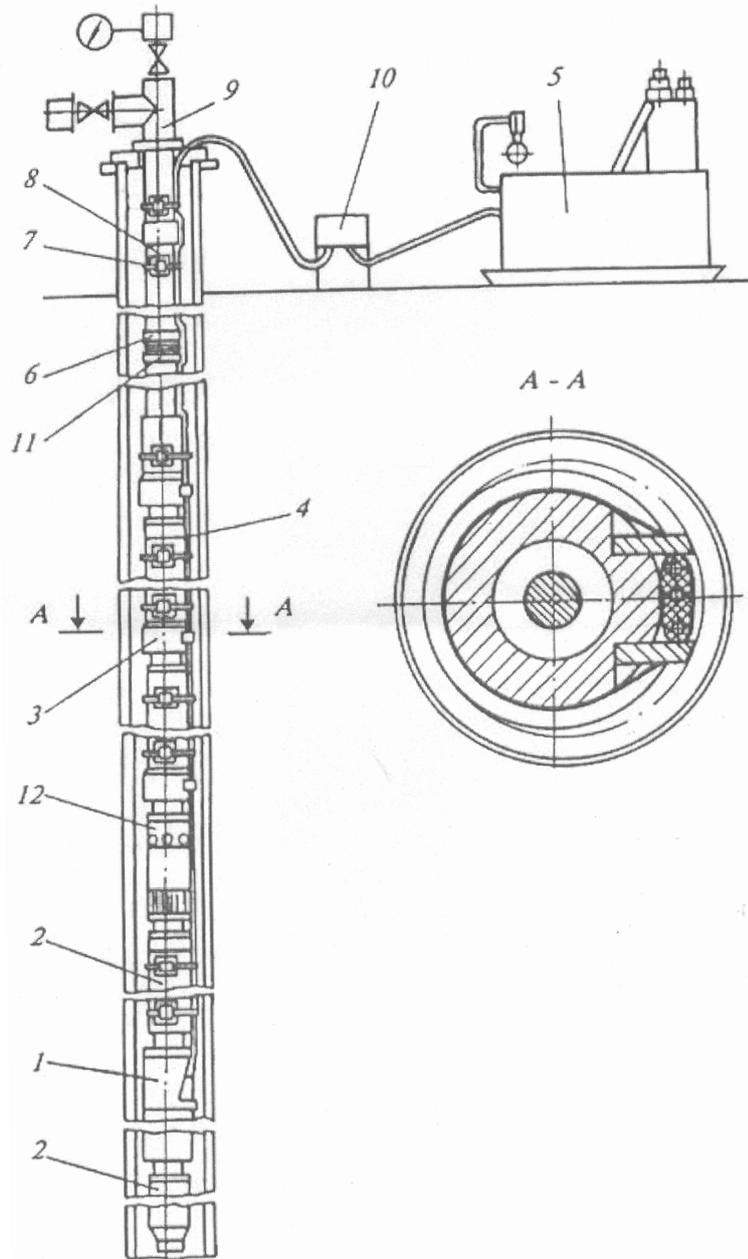


Рис. Общая схема центробежной погружной насосной установки
 1-электрический двигатель; 2-гидрозащита; 3-насос; 4-кабель; 5-центр управления;
 6-пропускной клапан; 7-ствол; 8- НКТ; 9-устьевое оборудование; 10-трансформатор;
 11-обратный клапан; 12-газосепаратор

Таблица

НГДУ	Кол-во насосов	Количество отказов по интервалам времени								Общее количество отказов
		30 сут.	60 сут.	90 сут.	120 сут.	150 сут.	180 сут.	210 сут.		
Балаханьнефть	119	1(Н)	2(Н, Д)	5(Н, Н, Н, К, Д)	8(Н, Н, Н, Н, Т, К, Д, ГЗ)	12(Н, Н, Н, Н, Н, Н, Н, Н, Д, Д, Д, К, Г, З, ГЗ)	10(Н, Н, Н, Н, Н, Н, Д, Д, Д, ГЗ, К, Т)	10(Н, Н, Н, Н, Н, Н, Д, Д, Д, ГЗ, К)	48 (40,3%)	
Сураханьнефть	110	2(Н)	4(Н, Н, Н, ГС)	6(Н, Н, Н, К, Т, ГЗ)	6(Н, Н, Н, Н, Д, М)	9(Н, Н, Н, Н, Н, ГЗ, ГС, К, Т)	8(Н, Н, Н, Н, Т, М, Д, Д)	8(Н, Н, Н, Н, Н, Н, Д, К, М)	43 (39,1%)	
Бибиэбгнефть	39	1(Н)	1(Н)	2(Н, К)	3(Н, Н, Д)	4(Н, Н, Н, Д)	3(Н, Н, Н)	3(Н, Н, К)	17 (43,6%)	
Им.Амирова	35	-	2(Н, Н)	2(Н, Н)	3(Н, Н, К)	4(Н, Н, Н, Д)	3(Н, Н, К)	4(Н, Н, Н, Д)	18 (51,4%)	
Им.Г.З.Тагиева	25	-	-	-	3(Н, Д, ГЗ)	3	3(Н, Н, Н)	2(Н, Н)	13 (52,0%)	

Примечание: Н-насос; Д-двигатель; К-кабель; ГЗ-газ сепаратор; М-монтаж; Т-полет трубы

Наряду с УЭЦН, эксплуатация которых завершена полным отказом, в выборке наблюдений могут присутствовать данные по УЭЦН, эксплуатация которых либо продолжается, либо прекращена по причинам, не связанным с отказом оборудования (например, профилактических мероприятий). Такие выборки, называемые в теории надежности цензурированными, требуют специальной обработки.

Таким образом, цензурированной выборкой называется выборка, элементами которой являются значения наработки до отказа и наработки до цензурирования либо только значения наработки до цензурирования. Основной особенностью цензурированных выборок, является отсутствие сведений о моментах отказов контролируемой части изделий. Процесс возникновения неопределенности момента отказа называется цензурированием.

Интервалом неопределенности называется интервал времени, внутри которого произошла реализация наблюдаемого признака (обычно под этим признаком подразумевается отказ) объекта, при этом точное значение времени реализации признака объекта неизвестно. Цензурированные выборки требуют специальных методов обработки, в основном непараметрических.

Параметрические методы анализа статистической информации в последнее время подвергаются критике специалистов по математической статистике, поскольку применение параметрических методов требует предположения о виде закона распределения наблюдаемых случайных величин. Как правило, нельзя указать какие-либо веские причины, по которым конкретное распределение результатов наблюдений должно входить в то, или иное параметрическое семейство. Поэтому в настоящее время большое внимание исследователей уделяется развитию непараметрических методов [13, 14].

Решение рассматриваемой задачи определения надежности электродвигательных насосов будем проводить в три этапа. На первом этапе, на основе представленной в таблице цензурированной выборки отказов, с помощью метода корневой оценки плотности распределения вероятностей [8, 9] дается оценка вероятности безотказной работы и жестко вычисляемой надежности (H -надежности) каждого элемента системы. На втором этапе оценивается возможностное распределение отказов и мягко вычисляемая надежность (S -надежность) элементов системы. На последнем третьем этапе путем комбинирования жестких и мягких вычислений определяются возможностные функции выживания и восстановления и соответствующие нечеткие надежность и ненадежность системы в целом, рассматриваемой как система из $n=6$ последовательно соединенных независимых и несвязанных канонических вычислений. При этом выражения для возможностной функции восстановления и ненадежности, полученные в [5] для $n=2$, обобщены в данной работе на случай любого значения n .

2. Определение плотности распределения наработки до отказа по цензурированной выборке данных об отказах. Предположим, что имеется следующая статистическая информация об отказах, представленная в виде полных и цензурированных наработок:

1) $\vec{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_p)$ - массив полных наработок, p - число отказов с известной наработкой;

2) $\vec{\Delta} = (\Delta_1, \dots, \Delta_s)$ - массив интервалов цензурирования, где $\Delta_h = (l_h, r_h)$ - интервал с началом l_h и концом r_h ; s - количество интервалов цензурирования;

3) $\vec{v} = (v_1, \dots, v_s)$ - вектор, элементы которого v_h представляют случайное число отказов, попавших в h -й интервал цензурирования.

Очевидно, что $n = p + q$ - общее число наблюдений, где $q = \sum_{h=1}^s v_h$ - общее количество цензурированных наблюдений.

На основании указанной информации построим оценки плотности и функции распределения наработки на отказ с использованием метода корневой оценки плотности распределения случайной величины, предложенного в [8] и развитого в [9] для цензурированных выборок. Суть метода [9] заключается в следующем.

Вместо разложения искомой плотности, как и в [8], предлагается разлагать по ортонормированной системе функцию $\psi(x)$, связанную с искомой плотностью $f_\xi(x)$ случайной величины ξ (ξ - наработка до отказа) равенством

$$f_\xi(x) = |\psi(x)|^2 \quad (2.1)$$

В качестве ортонормированной системы будем брать базис Фурье:

$$p_k(x) = \sqrt{2} \cdot \sin(k\pi x), \quad k = 1, 2, \dots, \quad (2.2)$$

ортонормированный на отрезке $(0, 1)$. При этом носителем плотности распределения должен быть отрезок $(0, 1)$. Для перехода к произвольному носителю (a, b) следует воспользоваться линейным преобразованием, приводящим к ортонормированному базису на (a, b) :

$$p_k(x) = \frac{1}{\sqrt{b-a}} p_k\left(\frac{x-a}{b-a}\right) = d \sin\left(k\pi \cdot \frac{x-a}{b-a}\right), \quad k = 1, 2, \dots, \quad (2.3)$$

где $d = \sqrt{\frac{2}{b-a}}$.

Переход от разложения $f_\xi(x)$ к разложению $f(x)$ позволяет при применении метода максимального правдоподобия (ММП) получить эффективную вычислительную схему оценки искомых параметров разложения. Действительно, пусть

$$\psi(x) = \sum_{i=1}^m c_i \varphi_i(x), \quad (2.4)$$

где $\{\varphi_i(x)\}$ - ортонормированная система на $[a, b]$; $\{c_i\}$ - коэффициенты разложения, подлежащие оценке. Предположим, что функции $\varphi_i(x)$ и коэффициенты c_i - действительные. Тогда оценка $\hat{f}_\xi(x)$ функции $f_\xi(x)$ запишется в виде:

$$\hat{f}_{\xi}(x) = \left(\sum_{i=1}^m c_i \varphi_i(x) \right)^2 \quad (2.5)$$

Из условия нормировки $\int_a^b \hat{f}_{\xi}(x) dx = 1$ следует равенство

$$\sum_{i,j=1}^m c_i c_j \int_a^b \varphi_i(x) \varphi_j(x) dx = \sum_{i=1}^m c_i^2 = 1 \quad (2.6)$$

Следовательно, необходимо оценить $(m-1)$ независимых коэффициентов. Для их оценки используется ММП. В случае центрированных наблюдений функция правдоподобия (ФП) будет иметь вид [12]:

$$L_n(\vec{c}) = \prod_{k=1}^p \hat{f}_{\xi}(\xi_k) \prod_{h=1}^s (F(r_h) - F(l_h))^{\nu_h}, \quad (2.7)$$

а логарифмическая ФП (ЛФП):

$$\ln(\vec{c}) = 2 \sum_{k=1}^p \ln \left(\sum_{i=1}^m c_i \varphi_i(\xi_k) \right) + \sum_{h=1}^s \nu_h \ln(F(r_h) - F(l_h)) \quad (2.8)$$

где $F(x)$ – интегральная функция распределения случайной величины ξ .

В качестве оценки $\hat{F}(x)$ принимается интеграл

$$\hat{F}_{\xi}(x) = \int_{-\infty}^x \hat{f}_{\xi}(u) du \quad (2.9)$$

Таким образом, имеем оптимизационную задачу

$$\ell_n(\vec{c}) \rightarrow \max \quad (2.10)$$

с ограничением типа равенства (2.6). Для решения задачи (2.10) с учетом ограничения (2.6) вводится функция Лагранжа:

$$L(\vec{c}) = \ln(\vec{c}) + \lambda \left(1 - \sum_{i=1}^m c_i^2 \right), \quad (2.11)$$

где λ – множитель Лагранжа, подлежащий определению, как и компоненты вектора \vec{c} .

Выписывая выражения для частных производных $\frac{\partial L(\vec{c})}{\partial c_i}$, $(i=1, \dots, m)$ и приравнивая их нулю, получим

$$\lambda = p + \frac{1}{2} \sum_{h=1}^s \frac{\nu_h}{\hat{F}_{\xi}(r_h) - \hat{F}_{\xi}(l_h)} \sum_{i=1}^m c_i \left[\frac{\partial \hat{F}_{\xi}(l_h)}{\partial c_i} - \frac{\partial \hat{F}_{\xi}(r_h)}{\partial c_i} \right], \quad (2.12)$$

$$c_i = \frac{1}{2\lambda} \left[2 \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m \frac{\varphi_j(\xi_k) \varphi_i(\xi_k)}{\hat{f}_{\xi}(\xi_k)} c_j + \sum_{h=1}^s \frac{\nu_h \left(\frac{\partial \hat{F}_{\xi}(r_h)}{\partial c_i} - \frac{\partial \hat{F}_{\xi}(l_h)}{\partial c_i} \right)}{\hat{F}_{\xi}(r_h) - \hat{F}_{\xi}(l_h)} \right], \quad (i=1, \dots, m), \quad (2.13)$$

где $\hat{F}_{\xi}(x)$ и $\frac{\partial \hat{F}_{\xi}(x)}{\partial c_i}$ определяются соответственно по формулам:

$$\hat{F}_\xi(x) = \frac{x-a}{b-a} - \frac{1}{2\pi d} \sum_{i=1}^m \frac{c_i^2}{i} \varphi_{2i}(x) + \frac{1}{\pi d} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_i c_j \left(\frac{\varphi_{i-j}(x)}{i-j} - \frac{\varphi_{i+j}(x)}{i+j} \right) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial \hat{F}_\xi(x)}{\partial c_i} = \frac{2}{\pi d} \left(\sum_{j=1}^m c_j [\psi_{i-j}(x) - \psi_{i+j}(x)] - c_i \psi_0(x) \right), \quad (i=1, \dots, m) \quad (2.15)$$

Здесь

$$\psi_k(x) = \frac{\varphi_k(x)}{k}, \quad k=1, 2, \dots, \quad \psi_0(x) = \pi d \frac{x-a}{b-a} \quad (2.16)$$

Итерационный процесс для расчета коэффициентов $\{c_i\}$ записывается в виде:

$$c_i^{(\mu+1)} = \alpha c_i^{(\mu)} + \frac{1-\alpha}{2\lambda^{(\mu)}} \left[2 \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m \frac{\varphi_i(\xi_k)}{c_j^{(\mu)} \cdot \varphi_j(\xi_k)} + \sum_{h=1}^s \frac{\nu_h \left(\frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} - \frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} \right)}{\hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h) - \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)} \right], \quad (2.17)$$

$(i=1, \dots, m)$

где $\lambda^{(\mu)}$, $\hat{F}_\xi^{(\mu)}(x)$ и $\frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}}{\partial c_i^{(\mu)}}$ определяются по последовательности коэффициентов разложения $\{c_i^{(\mu)}\}$ из (2.13), (2.15) и (2.16), соответственно. Параметр α ($\alpha \in (0,1)$) существенно влияет на устойчивость и скорость сходимости итерационной процедуры (2.18). Задавая начальное приближение $c^0 = (1, 0, \dots, 0)$, получаем сходящуюся последовательность $c^{(\mu)}$.

При $p=0$ (именно такой случай имеет место в сформулированной в разделе 1 задаче) итерационный процесс (2.18) принимает следующий вид:

$$c_i^{(\mu+1)} = \alpha c_i^{(\mu)} + \frac{1-\alpha}{2\lambda^{(\mu)}} \sum_{h=1}^s \frac{\nu_h \left(\frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} - \frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} \right)}{\hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h) - \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)}, \quad (i=1, \dots, m) \quad (2.18)$$

где

$$\lambda^{(\mu)} = \frac{1}{2} \sum_{h=1}^s \frac{\nu_h}{\hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h) - \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)} \cdot \sum_{i=1}^m c_i^{(\mu)} \left(\frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(l_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} - \frac{\partial \hat{F}_\xi^{(\mu)}(r_h)}{\partial c_i^{(\mu)}} \right), \quad (2.19)$$

Применение данного метода к расчету эксплуатационной надежности для электронасосных агрегатов ядерных реакторов рассмотрено в [15] и для погружных электронасосов в нефтедобыче в [16].

Замечание 1. Приведенный выше вывод формулы для $\hat{F}_\xi(x)$ справедлив в предположении, что отказывающийся элемент системы не восстанавли-

вается. В случае восстановления отказывающихся элементов оценку $\hat{F}_\xi(x)$ нужно скорректировать следующим образом.

Пусть $F_{X_h}(x)$ - функция распределения времени X_h восстановления отказов из Δ_h и $P_{X_h}(x) = 1 - F_{X_h}(x) = P(X_h < x)$.

Тогда в формулах (2.19), (2.20) величины ν_h следует заменить на

$$\nu_h = \max(0, \nu_h - \bar{\nu}_h) \quad (2.20)$$

где $\bar{\nu}_h$ - среднее число отказов в предшествующих к Δ_h интервалах цензурирования $\Delta_{h'} (h' = 1, \dots, h-1)$ и восстановленных к моменту ℓ_h с вероятностью $P_{X_{h'}}(\ell_h)$. Эта величина определяется как

$$\bar{\nu}_h = \sum_{h'=1}^{h-1} \nu_{h'} \cdot P_{X_{h'}}(\ell_h) \quad (2.21)$$

3. Моделирование надежности систем комбинированием жестких и мягких вычислений. Приведем некоторые определения и понятия из [5].

Определение 1. С точки зрения надежности, *канонические вычисления* состоят из одной единицы (компонента) жестких вычислений и одной единицы (компоненты) мягких вычислений, каждая из которых имеет два состояния: функционирующее (работоспособное) и аварийное (отказ). Эти две единичные операции независимы и не связаны и составляют системный ряд. Независимость понимается в вероятностном смысле, а несвязанность – в возможностном смысле.

Именно, говорят, что множества A_1, \dots, A_n определенные на вероятностном пространстве (Ω, ω, P) , *независимы* (относительно вероятностной меры P), если для любых $k = 1, \dots, n$ и $1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n$

$$P(A_{i_1} \cap \dots \cap A_{i_k}) = P(A_{i_1}) \dots P(A_{i_k}).$$

Говорят, что A_1, \dots, A_n , определенные на возможностном пространстве (Γ, J, σ) , *взаимно несвязанны* (относительно возможностной меры σ), если для любой перестановки i_1, \dots, i_k , где $1 \leq k \leq n$,

$$\sigma(A_{i_1} \cap \dots \cap A_{i_k}) = \min(\sigma(A_{i_1}), \dots, \sigma(A_{i_k})).$$

Пусть X_{sw} - время жизни, полученное мягким вычислением (software lifetime). Так как S – надежность понимается в возможностном смысле, то X_{sw} является нечеткой переменной (fuzzy variable). Будем полагать, что X_{sw} определена в пространстве возможностей (Γ, J, σ) и имеет распределение возможностей

$$\mu_{X_{sw}}(x) = \sigma(X_{sw} = x), \quad 0 < x < \infty, \quad (3.1)$$

где Γ - множество, на котором генерируются элементы X , называемое универсумом (в одномерном случае это числовая прямая); J - совокупность подмножеств в Γ , образующих топологию в Γ ; σ - возможностная мера, отображающая Γ в отрезок $[0,1]$.

В дальнейшем будем полагать

$$\mu_{X_{sw}}(x) = e^{-(x-a)}, \quad a > 0, \quad (3.2)$$

оценка константы « a » будет определена ниже.

Определение 2. S - надежность определяется как

$$R_{sw}(t) = \sigma(X_{sw} > t) = \sup_{x>t} \mu_{sw}(x), \quad (3.3)$$

а S - ненадежность как

$$\bar{R}_{sw}(t) = \sigma(X_{sw} \leq t) = \sup_{x<t} \mu_{sw}(x). \quad (3.4)$$

Здесь $\mu_{sw}(x)$ - краткое обозначение для $\mu_{X_{sw}}(x)$.

Из определения 2 следует, что для любого момента времени t

$$\max(\bar{R}_{sw}(t), R_{sw}(t)) = 1 \quad (3.5)$$

Пусть, далее X_{sw} - время жизни, полученное жесткими вычислениями (hardware lifetime). Так как H -надежность постулируется в вероятностном смысле, X_{hw} должна быть случайной переменной, определенной в некотором вероятностном пространстве (Ω, ω, P) . Тогда H -надежность есть

$$R_{hw}(t) = P(X_{hw} > t), \quad (3.6)$$

а H - ненадежность есть

$$\bar{R}_{hw}(t) = P(X_{hw} \leq t). \quad (3.7)$$

Следовательно,

$$R_{hw}(t) + \bar{R}_{hw}(t) = 1 \quad (3.8)$$

На практике H -надежность и H -ненадежность элемента (системы) определяется на основе времени X безотказной работы элемента (системы):

$$R_{hw}(t) = P(X > t), \quad (3.9)$$

$$\bar{R}_{hw}(t) = P(X \leq t), \quad (3.10)$$

$$R_{hw}(t) = F_X(t), \quad (3.11)$$

где $F_X(t)$ - функция распределения времени X безотказной работы.

Определение 3. H -надежность определяется как

$$R_{hw}(t) = EQ_{hw}(t), \quad Q_{hw}(t) = \sigma(X_{hw} > t), \quad (3.12)$$

а H -ненадежность, как

$$\bar{R}_{hw}(t) = E\bar{Q}_{hw}(t), \quad \bar{Q}_{hw}(t) = \sigma(X_{hw} \leq t), \quad (3.13)$$

где E - математическое ожидание (среднее значение). Отсюда следует, что вероятностная мера есть усредненная возможностная мера.

Для любого момента времени

$$\max(Q_{hw}(t), \bar{Q}_{hw}(t)) = 1 \quad (3.14)$$

и

$$R_{hw}(t) + \bar{R}_{hw}(t) = 1 \quad (3.15)$$

Пусть, X_{lf} - время жизни (lifetime), полученное каноническими вычислениями. Тогда

$$X_{lf} = \min(X_{hw}, X_{sw})$$

Так как X_{hw} и X_{sw} могут рассматриваться как нечеткие переменные, то X_{lf} имеет возможностное распределение $\mu_X(x)$.

Определение 4. Функции $Q(t) = \sigma(X > t)$ и $\bar{Q}(t) = \sigma(X \leq t)$ называются возможностной функцией выживания, т.е. безотказной работы (PS-функцией, от англ. possibilistic survival function), и возможностной функцией восстановления (PV - функцией, от англ. possibilistic vulnerary function), соответственно.

Так как X_{hw} сама по себе является случайной переменной, $Q(t)$ и $\bar{Q}(t)$ можно определить как:

$$Q(t) = \begin{cases} R_{sw}(t), & \text{если } X_{hw} > t, \\ 0, & \text{если } X_{hw} \leq t, \end{cases} \quad (3.16)$$

и

$$\bar{Q}(t) = \begin{cases} \bar{R}_{sw}(t), & \text{если } X_{hw} > t, \\ 1, & \text{если } X_{hw} \leq t. \end{cases} \quad (3.17)$$

Для удобства, в дальнейшем будем полагать, что X_{hw} в действительности является случайной переменной, хотя в общем случае X_{hw} можно рассматривать как нечеткую переменную, тогда и X будет тоже нечеткой переменной. Для любого момента времени t выполняется следующее равенство

$$\max(Q(t), \bar{Q}(t)) = 1 \quad (3.18)$$

Определение 5. Для канонических вычислений надежность системы определяется как

$$R(t) = EQ(t), \quad (3.19)$$

а ненадежность системы, как

$$\bar{R}(t) = E\bar{Q}(t), \quad (3.20)$$

Как доказано в [5], для канонических вычислений

$$R(t) = R_{hw}(t) \cdot R_{sw}(t), \quad (3.21)$$

$$\bar{R}(t) = \bar{R}_{hw}(t) + \bar{R}_{sw}(t) - \bar{R}_{hw}(t) \cdot \bar{R}_{sw}(t), \quad (3.22)$$

В вероятностных моделях надежности время жизни X_{lf} считается случайной величиной. Будем в дальнейшем полагать, что X_{sw} является нечеткой переменной, определенной на возможностном пространстве (Γ, J, σ) с функцией распределения

$$\mu_{X_{sw}}(x) = \begin{cases} e^{-(x-a)^2}, & \text{если } x \geq a, \\ 0, & \text{если } x < a, \end{cases} \quad (3.23)$$

где $a > 0$. Будем говорить, что X_{sw} принимает значение x с возможностью $\mu_{X_{sw}}(x)$. Очевидно, что значение медианы переменной X_{sw} равно a .

Для определения константы a в случае цензурированной выборки, можно применить следующий способ. Пусть N - число работающих объектов системы к началу i -го интервала наблюдения и n_i - число фиксированных

объектов в i -м интервале наблюдения. Если принять длину интервала наблюдения за единицу времени, то отношение n_i/N_i есть интенсивность отказов системы [17].

Полное время жизни системы T определим из условия

$$\hat{F}_\xi(T) = 0, \quad (3.24)$$

где $\hat{F}_\xi(T)$ - оценка функции распределения времени безотказной работы системы, с учетом формул (2.21)-(2.22). Тогда

$$x_i = \frac{n_i}{N_i} \cdot T \quad (3.25)$$

можно считать значением переменной X_{sw} в момент t_i (t_i - конец i -го интервала мягкого наблюдения). Принимая

$$\mu_i = \hat{f}_\xi(t_i)$$

где $\hat{f}_\xi(t_i)$ определяется в (2.6), за фактическое значение функции принадлежности (3.23), построим линейную регрессию

$$y = \beta_1 + \beta_2 \cdot x_0, \quad (\beta_2 = 1), \quad (3.26)$$

где $y = (-\ln \mu)^{1/2}$, $\beta_1 = -a$. По значениям $\{y_i, x_i\}$, ($i=1, \dots, n$), где $y_i = (-\ln \mu_i)^{1/2}$ с помощью метода наименьших квадратов (МНК) с линейным ограничением $\beta_2 = 1$ найдем оценку $\hat{\beta}_1$ и $\hat{a} = -\hat{\beta}_1$.

Оценка $\hat{\beta}_1$ при ограничении $\beta_2 = 1$ вычисляется как: $\hat{\beta}_1 = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}$,

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, $\bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$.

Рассмотрим ряд из n последовательно соединенных независимых и несвязанных канонических вычислений (в нашем случае шесть основных составляющих насосной установки УЭЦН: насос, двигатель, гидрозащита, газосепаратор, кабель, трубы).

PS - функция для такой системы определяется в виде

$$Q(t) = \min(Q_1(t), \dots, Q_n(t)), \quad (3.27)$$

или

$$Q(t) = \begin{cases} \min(R_{sw,1}(t), \dots, R_{sw,n}(t)), & \text{если } X_{hw,1} > t, \dots, X_{hw,n} > t, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (3.28)$$

а надежность такой системы представляется выражением

$$R(t) = EQ(t) = R_{hw}^e(t) \cdot R_{sw}^e(t), \quad (3.29)$$

где

$$R_{hw}^e(t) = R_{hw,1}(t) \cdot \dots \cdot R_{hw,n}(t), \quad (3.30)$$

$$R_{sw}^e(t) = \min(R_{sw,1}(t), \dots, R_{sw,n}(t)).$$

Для последовательной системы из двух независимых и несвязанных канонических вычислений PV - функция определяется в виде

$$\begin{aligned} \bar{Q}(t) &= \sigma(X \leq t) = \\ &= \begin{cases} \max \left(\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t)) \right), & \text{если } X_{hw,1} > t, X_{hw,2} > t; \\ \max(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,1}(t)), & \text{если } X_{hw,1} > t, X_{hw,2} \leq t; \\ \max(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,2}(t)), & \text{если } X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} > t; \\ 1, & \text{если } X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} \leq t; \end{cases} \end{aligned} \quad (3.31)$$

А ненадежность системы выражается в виде:

$$\begin{aligned} \bar{R}(t) &= E\bar{Q}(t) = R_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \left(\max \left(\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t)) \right) \right. \\ &\quad \left. \max \left(\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t)) \right) \right) \\ &\quad + R_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot \max(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t)) \\ &\quad + \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot \max(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,2}(t)) + \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \end{aligned} \quad (3.32)$$

Для доказательства формулы (3.31) используются соотношения для возможностной меры суммы и произведения множеств [5].

$$\sigma(\cup A_\alpha) = \sup_\alpha \sigma(A_\alpha), \quad (3.33)$$

$$\sigma(A_1 \cap \dots \cap A_k) = \min(\sigma(A_1), \dots, \sigma(A_k)) \quad (3.34)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \bar{Q}(t) &= \sigma(X \leq t) = \sigma(\min(X_1, X_2) \leq t) = \\ &= \sigma(\{X_1 \leq t, X_2 \leq t\} \cup \{X_1 \leq t, X_2 > t\} \cup \{X_1 > t, X_2 \leq t\}) = \\ &= \max[\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 \leq t)), \min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 > t)), \min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 \leq t))] = \\ &= \max[\min(\bar{Q}_1(t), \bar{Q}_2(t)), \min(\bar{Q}_1(t), Q_2(t)), \min(Q_1(t), \bar{Q}_2(t))] \end{aligned} \quad (3.35)$$

Для пары (X_{hw_1}, X_{hw_2}) могут представляться только следующие четыре случая:

- 1) $X_{hw_1} > t, X_{hw_2} > t;$
- 2) $X_{hw_1} > t, X_{hw_2} \leq t;$
- 3) $X_{hw_1} \leq t, X_{hw_2} > t;$
- 4) $X_{hw_1} \leq t, X_{hw_2} \leq t.$

Из (3.35), с учетом формул (3.12) и (3.13), находим в случае 1):

$$\bar{Q}(t) = \max(\min(\bar{R}_{sw_1}(t), \bar{R}_{sw_2}(t)), \min(\bar{R}_{sw_1}(t), R_{sw_2}(t)), \min(R_{sw_1}(t), \bar{R}_{sw_2}(t))); \quad (3.36_1)$$

в случае 2):

$$\begin{aligned} \bar{Q}(t) &= \max(\min(\bar{R}_{sw_1}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw_1}(t), 0), \min(R_{sw_1}(t), 1)) = \\ &= \max(\bar{R}_{sw_1}(t), 0, R_{sw_1}(t)) = \max(\bar{R}_{sw_1}(t), R_{sw_1}(t)); \end{aligned} \quad (3.36_2)$$

в случае 3):

$$\begin{aligned}\bar{Q}(t) &= \max\left(\min\left(1, \bar{R}_{sw_2}(t)\right), \min\left(1, R_{sw_2}(t)\right), \min\left(0, \bar{R}_{sw_2}(t)\right)\right) = \\ &= \max\left(\bar{R}_{sw_2}(t), R_{sw_2}(t), 0\right) = \max\left(\bar{R}_{sw_2}(t), R_{sw_2}(t)\right)\end{aligned}\quad (3.36_3)$$

и в случае 4):

$$Q(t) = \max(\min(1,1), \min(1,0), \min(0,1)) = \max(1,0,0) = 1. \quad (3.36_4)$$

Из формул (3.36)-(3.39) следует справедливость (3.31). Формула же (3.32) является следствием формулы (3.31), если применить определение математического ожидания случайной величины и учесть формулы (3.6), (3.7). Формулы (3.31) и (3.32) в [5] записаны не совсем точно: вместо $\max(\bar{R}_{sw_1}(t), R_{sw_2}(t))$ и $\max(R_{sw_1}(t), \bar{R}_{sw_2}(t))$ должно быть $\max(\bar{R}_{sw_1}(t), R_{sw_1}(t))$ и $\max(\bar{R}_{sw_2}(t), R_{sw_2}(t))$ (см. (3.37) и (3.38)).

Формулы (3.31) и (3.32) можно обобщить на случай системы из любого числа n последовательных независимых и несвязанных канонических вычислений.

Приведем доказательство для $X = \min(X_1, X_2, X_3, X_4)$ ($n = 4$).

Пусть $X = \min(X_1, \dots, X_n)$, где X_k ($k = 1, \dots, n$) - независимые и несвязанные канонические вычисления.

Множества $(X_k > t)$ и $(X_k \leq t)$ будем обозначать соответственно через A_k и \bar{A}_k . Тогда множество $\{\min(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq t\}$ будет эквивалентно сумме множеств A_k и \bar{A}_k , представляющих собой различные сочетания по n из $2n$ элементов A_k, \bar{A}_k ($k = 1, \dots, n$), в каждом из которых присутствует хотя бы один элемент \bar{A}_k с индексом k , отличным от индексов остальных элементов, входящих в данное сочетание. В частности, для $n = 4$

$$\begin{aligned}\bar{Q}(t) &= \sigma(X \leq t) = \sigma(\min(X_1, X_2, X_3, X_4) \leq t) = \\ &= \sigma(\{X_1 \leq t, X_2 \leq t, X_3 \leq t, X_4 \leq t\} \cup \{X_1 \leq t, X_2 > t, X_3 > t, X_4 > t\} \\ &\cup \{X_1 \leq t, X_2 \leq t, X_3 > t, X_4 > t\} \cup \{X_1 \leq t, X_2 > t, X_3 \leq t, X_4 > t\} \\ &\cup \{X_1 \leq t, X_2 > t, X_3 > t, X_4 \leq t\} \cup \{X_1 \leq t, X_2 \leq t, X_3 \leq t, X_4 > t\} \\ &\cup \{X_1 \leq t, X_2 \leq t, X_3 > t, X_4 \leq t\} \cup \{X_1 \leq t, X_2 > t, X_3 \leq t, X_4 \leq t\} \\ &\cup \{X_1 > t, X_2 \leq t, X_3 > t, X_4 > t\} \cup \{X_1 > t, X_2 \leq t, X_3 \leq t, X_4 > t\} \\ &\cup \{X_1 > t, X_2 \leq t, X_3 > t, X_4 \leq t\} \cup \{X_1 > t, X_2 \leq t, X_3 \leq t, X_4 \leq t\} \\ &\cup \{X_1 > t, X_2 > t, X_3 \leq t, X_4 > t\} \cup \{X_1 > t, X_2 > t, X_3 \leq t, X_4 \leq t\} \\ &\cup \{X_1 > t, X_2 > t, X_3 > t, X_4 \leq t\}) = \max[\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 \leq t)) \\ &\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 > t)), \min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 > t)), \\ &\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 > t)), \min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 \leq t)), \\ &\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 > t)), \min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 \leq t)), \\ &\min(\sigma(X_1 \leq t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 \leq t)), \min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 > t)), \\ &\min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 > t)), \min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 \leq t)), \\ &\min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 \leq t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 \leq t)), \min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 > t)), \\ &\min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 \leq t), \sigma(X_4 \leq t)), \min(\sigma(X_1 > t), \sigma(X_2 > t), \sigma(X_3 > t), \sigma(X_4 \leq t)) =\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \max[\min(\bar{Q}_1(t), \bar{Q}_2(t), \bar{Q}_3(t), \bar{Q}_4(t)), \min(\bar{Q}_1(t), Q_2(t), Q_3(t), Q_4(t)), \min(\bar{Q}_1(t), \bar{Q}_2(t), Q_3(t), Q_4(t)), \\
&\min(\bar{Q}_1(t), Q_2(t), \bar{Q}_3(t), Q_4(t)), \min(\bar{Q}_1(t), Q_2(t), Q_3(t), \bar{Q}_4(t)), \min(\bar{Q}_1(t), \bar{Q}_2(t), \bar{Q}_3(t), Q_4(t)), \\
&\min(\bar{Q}_1(t), \bar{Q}_2(t), Q_3(t), \bar{Q}_4(t)), \min(\bar{Q}_1(t), Q_2(t), \bar{Q}_3(t), \bar{Q}_4(t)), \min(Q_1(t), \bar{Q}_2(t), Q_3(t), Q_4(t)), \\
&\min(Q_1(t), \bar{Q}_2(t), \bar{Q}_3(t), Q_4(t)), \min(Q_1(t), \bar{Q}_2(t), Q_3(t), \bar{Q}_4(t)), \min(Q_1(t), \bar{Q}_2(t), \bar{Q}_3(t), \bar{Q}_4(t)), \\
&\min(Q_1(t), Q_2(t), \bar{Q}_3(t), Q_4(t)), \min(Q_1(t), Q_2(t), \bar{Q}_3(t), \bar{Q}_4(t)), \\
&\min(Q_1(t), Q_2(t), Q_3(t), \bar{Q}_4(t))] \quad (3.37)
\end{aligned}$$

Для величин $X_{hw,1}, X_{hw,2}, X_{hw,3}, X_{hw,4}$ могут представиться только следующие 16 случаев:

- 1) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} > t$; 2) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} > t$;
- 3) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} > t$; 4) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} > t$;
- 5) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} \leq t$; 6) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} > t$;
- 7) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} \leq t$; 8) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} \leq t$;
- 9) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} > t$; 10) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} > t$;
- 11) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} \leq t$; 12) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} \leq t$;
- 13) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} > t$; 14) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} \leq t$;
- 15) $X_{hw,1} > t, X_{hw,2} > t, X_{hw,3} > t, X_{hw,4} \leq t$; 16) $X_{hw,1} \leq t, X_{hw,2} \leq t, X_{hw,3} \leq t, X_{hw,4} \leq t$.

В соответствии с этими случаями будем иметь 16 выражений для $\bar{Q}(t)$:

$$\begin{aligned}
\bar{Q}(t) = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\
\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\
\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))] \quad (3.81_1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{Q}(t) = \max[\min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(1, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(1, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\
\min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\
\min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\
\min(0, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(0, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\
\min(0, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))] = \max[\min(\bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \min(R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ & \min(\bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ & \min(R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)) \end{aligned} \quad (3.82_2)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(1, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 0, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(1, 1, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)),$$

$$\begin{aligned} & \min(1, 0, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(1, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ & \min(1, 1, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 1, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(0, 1, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(0, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 0, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))] =, \\ & = \max[\min(\bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ & \min(R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))]; \end{aligned} \quad (3.38_3)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} & = \max[\min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(1, R_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, R_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, R_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \min(0, R_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t))] = \max[\min(\bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ & \min(R_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))]; \end{aligned} \quad (3.38_4)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} & = \max[\min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(1, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \\ & \min(1, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(1, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \\ & \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(1, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \\ & \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ & \min(0, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(0, R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(0, R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1)] =, \\ & = \max[\min(\bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)), \min(R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t)), \min(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t)), \\ & \min(R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t))] \end{aligned} \quad (3.38_5)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} & = \max[\min(1, 1, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 0, 0, R_{sw,4}(t)), \min(1, 1, 0, R_{sw,4}(t)), \min(1, 0, 1, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(1, 1, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 0, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 0, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(1, 1, 1, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, 1, 1, R_{sw,4}(t)), \min(0, 1, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 1, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 1, 0, R_{sw,4}(t)), \\ & \min(0, 0, 1, R_{sw,4}(t)), \min(0, 0, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(0, 0, 0, \bar{R}_{sw,4}(t))] = \\ & = \max(\bar{R}_{sw,4}(t), R_{sw,4}(t)); \end{aligned} \quad (3.38_6)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(1, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(1, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(1, 1, R_{sw,3}(t), 0), \min(1, 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 0),$$

$$\min(0, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(1, 0, R_{sw,3}(t), 1), \min(1, 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(1, 1, R_{sw,3}(t), 1),$$

$$\min(0,1, R_{sw,3}(t), 1), \min(1,0, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(0,1, R_{sw,3}(t), 0), \min(0,1, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ \min(0,0, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(0,0, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(0,0, R_{sw,3}(t), 1)] = \max(\bar{R}_{sw,3}, R_{sw,3}) \quad (3.387)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 1), \min(1, R_{sw,2}(t), 0, 0), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 0), \\ \min(1, R_{sw,2}(t), 1, 0), \min(1, R_{sw,2}(t), 0, 1), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 0), \min(1, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 1), \\ \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 0), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 1), \min(1, R_{sw,2}(t), 1, 1), \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 0), \\ \min(0, \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 1), \min(0, R_{sw,2}(t), 1, 0), \min(0, R_{sw,2}(t), 1, 1), \min(0, R_{sw,2}(t), 0, 1)] = \\ = \max(\bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,2}(t)); \quad (3.388)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)) = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))]; \quad (3.389)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 0, R_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 0, R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 1, R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 1, R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, 0, R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 1, 1, R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 1, 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 0, 1, R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), 0, 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), 0, 0, \bar{R}_{sw,4}(t))] = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,4}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))]; \quad (3.3810)$$

$$\bar{Q} = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), 0), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), 1), \\ \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), 0), \min(R_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(R_{sw,1}(t), 1, R_{sw,3}(t), 1), \\ \min(R_{sw,1}(t), 1, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(R_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(R_{sw,1}(t), 0, \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ \min(R_{sw,1}(t), 0, R_{sw,3}(t), 1)] = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t)), \\ \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,3}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,3}(t))]; \quad (3.3811)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 1, 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 0, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 0, 0), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 1, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 0, 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 1, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), 1, 0, 1), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), 0, 1, 1), \min(R_{sw,1}(t), 1, 0, 0), \min(R_{sw,1}(t), 1, 1, 0), \min(R_{sw,1}(t), 1, 0, 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), 1, 1, 1), \min(R_{sw,1}(t), 0, 1, 0), \min(R_{sw,1}(t), 0, 1, 1), \min(R_{sw,1}(t), 0, 0, 1)], \\ &= \max(\bar{R}_{sw,1}, R_{sw,1}); \end{aligned} \quad (3.38_{12})$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, R_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, \bar{R}_{sw,4}(t))] = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,4}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,4}(t))]; \end{aligned} \quad (3.38_{13})$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, 0), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, 1), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 0), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 0, 1), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), 1, 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, 0), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 1, 1), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), 0, 1)] = \\ &= \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t)), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t))]; \end{aligned} \quad (3.38_{14})$$

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 0), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \\ &\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 0), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t), 1), \\ &\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t), 1)] = \max[\min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t)), \min(\bar{R}_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t)), \\ &\min(\bar{R}_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)), \min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t))]; \end{aligned}$$

$$\min(R_{sw,1}(t), \bar{R}_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)), \min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), \bar{R}_{sw,3}(t)),$$

$$\min(R_{sw,1}(t), R_{sw,2}(t), R_{sw,3}(t)) \quad (3.38_{15})$$

$$\bar{Q} = \max[\min(1,1,1,1), \min(1,0,0,0), \min(1,1,0,0), \min(1,0,1,0), \min(1,0,0,1),$$

$$\min(1,1,1,0), \min(1,1,0,1), \min(1,0,1,1), \min(0,1,0,0), \min(0,1,1,0), \min(0,1,0,1),$$

$$\min(0,1,1,1), \min(0,0,1,0), \min(0,0,1,1), \min(0,0,0,1)] = \max(1,0) = 1 \quad (3.38_{16})$$

Обозначим через $\bar{Q}_1(t), \dots, \bar{Q}_{16}(t)$ выражения для $\bar{Q}(t)$, соответствующие случаям 1) – 16) и определяемое выражениями (3.38₁) – (3.38₁₆), соответственно. Тогда, ненадежность системы для $X = \min(X_1, X_2, X_3, X_4)$ выразится в виде:

$$\bar{R}(t) = E\bar{Q}(t) = R_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_1(t) +$$

$$+ \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_2(t) + \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_3(t) +$$

$$+ \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_4(t) + \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_5(t) +$$

$$+ \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_6(t) + \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_7(t) +$$

$$+ \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_8(t) + R_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_9(t) +$$

$$+ R_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{10}(t) + R_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{11}(t) +$$

$$+ R_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{12}(t) + R_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{13}(t) +$$

$$+ R_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot R_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{14}(t) + R_{hw,1}(t) \cdot R_{hw,2}(t) \cdot R_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{15}(t) +$$

$$+ \bar{R}_{hw,1}(t) \cdot \bar{R}_{hw,2}(t) \cdot \bar{R}_{hw,3}(t) \cdot \bar{R}_{hw,4}(t) \cdot \bar{Q}_{16}(t) \quad (3.39)$$

В применении к системе, представляющей насосную установку УЭЦН, и состоящей из шести основных последовательно соединенных элементов, предлагается следующий трехэтапный алгоритм:

На первом этапе для каждого элемента УЭЦН на основе данных табл. рассчитывается функция распределения времен безотказной работы и H – надежность $R_{hw}(t)$, вычисляемая по формуле (3.9). При этом функция распределения наработки до отказа находится по формуле (2.21).

На втором этапе определяются возможные распределения $\mu_{X_{sw}}$ времени жизни X_{sw} каждого элемента с определением медианы a этого распределения с помощью регрессии (3.26), что позволяет найти S -надежность $R_{sw}(t)$ каждого элемента системы.

На третьем этапе, рассматривая УЭЦН как систему из шести последовательно соединенных основных элементов, по формуле (3.27) определяется возможностная функция выживания (PS -функция) $Q(t)$ системы в целом и по формулам (3.29)-(3.30) нечеткая надежность системы $R(t)$. Далее, при $n = 6$ вычисляется возможностная функция восстановления (PV -функция) $\bar{Q}(t)$ и нечеткая ненадежность системы $\bar{R}(t)$. При $n = 4$ выражения для $\bar{Q}(t)$ и $\bar{R}(t)$ определяются по формулам (3.38) и (3.39), полученным в данной ра-

боте. Аналогичным образом могут быть получены выражения для $\bar{Q}(t)$ и $\bar{R}(t)$ при любом конечном n .

Таким образом, разработана общая методика расчета нечетко-возможностной надежности (posfust reliability), основанной на допущениях о возможностном распределении пребывания в состояниях и нечеткости этих состояний. Данная методика включает алгоритмы определения возможностного распределения времени жизни системы в условиях цензурированных данных о наработке до отказа отдельных элементов и определения нечетко-возможностных надежности и ненадежности для систем, состоящих из любого числа последовательно соединенных независимых и несвязанных элементов. Моделирование надежности проведено путем комбинирования жестко вычисляемой надежности (H -надежности), основанной на вероятностной мере, и мягко вычисляемой надежности (S -надежности), основанной на возможностной мере.

Список литературы

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965, 524 с.
2. Половко А.М. Основы теории надежности. – М.: Наука, 1964.
3. Zadeh L.A. Fuzzy Sets //Information and Control, 1965, Vol.8, pp.338-353.
4. Zimmermann H.J. Using Fuzzy Sets in Operational Research //European Journal of Operational Research, 1983, vol.13, pp. 201-216.
5. Cai K.Y. Introduction to Fuzzy reliability – Kluwer Academic Publisher, 1996-311 p.
6. Cai K.Y., Wen C.Y., Zhang M.L. Reliability Behavior of Combined Hardware-Software System, in T.Onisawa, J. Kasprzyk (eds). Reliability and Safety Analyses under Fuzzines, Physica – Verlaq, 1995, pp. 183-195.
7. Kaufmann A. Introduction to the Fuzzy Subsets, vol.1, Academic Press, 1975
8. Богданов Ю.И. Основная задача статистического анализа данных: корневой подход.-М: МИЭТ, 2002
9. Антонов А.В., Ченурко В.А. Построение непараметрической плотности распределения на основании цензурированной информации //Надежность – 2005. Т.3, №2, с. 3-13.
10. Angus I.E., James L.E. Combined Hardware/Software Reliability //Proc. Annual Reliability and Maintainability Simposium, 1982, pp. 176-181.
11. Goel A.L., Socnjoto J. Models for Hardware-Software Systems Operational-Performance Evolution //IEEE Fransactions on Reliability, vol R-31, №3, 1981, pp. 232-239.
12. Sumita U., Masuda Y. Analysis of Software Availability / Reliability under the Influence of Hardware Failures //IEEE Fransactions on Software Engineering, vol. SE-12, №1, 1986, pp. 32-41.
13. Деврой Л., Дьёрфи Л. Непараметрическое оценивание плотности. L1- подход /Пер. с англ. – М.: Мир. 1988.
14. Пенская М.Я. Об оценках априорной плотности. Статистические методы // Межвузовский сборник научных трудов. Пермь: Пермский университет, 1982. – С. 115-125.
15. Антонов А.В., Чепурко В.А., Зюляева и др. Статистический анализ эксплуатационной надежности электронасосных агрегатов ЦН 60-180 реакторов ВВЭР-1000 методами корневого оценивания //Автоматика и телемеханика, 2010, №7. – С. 160-172.
16. Дышин О.А., Абасова С.М. Оценка эксплуатационной надежности погружных электронасосов с использованием цензурированных выборок //SOCAR Proceedings, 2013, №4. С. 61-67.
17. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

К ВОПРОСУ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Барановская И.А.

доцент кафедры товароведения, сервиса и торговой инфраструктуры,
канд. техн. наук, доцент, Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева, Россия, г. Орел

Петрухина Е.В.

заведующая кафедрой товароведения, сервиса и торговой инфраструктуры,
канд. экон. наук, доцент, Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева, Россия, г. Орел

Дудина Е.В.

доцент кафедры товароведения, сервиса и торговой инфраструктуры,
канд. экон. наук, доцент, Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева, Россия, г. Орел

Авдеева И.Л.

преподаватель спецдисциплин, канд. экон. наук, доцент,
Орловский техникум сферы услуг, Россия, г. Орел

В статье рассматриваются данные о производстве детской обуви на обувных предприятиях Нечерноземья и показано существенное отличие их объемов от фактически необходимых. Обоснована необходимость использования маркетинговых исследований для повышения степени удовлетворенности населения впорной обувью, что будет оказывать существенное влияние и на оптимизацию выпуска и реализации изделий, и в целом на конкурентоспособность обувных предприятий.

Ключевые слова: конкурентоспособность, потребность, антропометрические исследования, размерный ассортимент, детская обувь, социологический опрос.

Рациональное построение шкал размерного ассортимента обуви, необходимое для повышения степени удовлетворенности населения впорной обувью, оказывает существенное влияние и на оптимизацию выпуска и реализацию изделий. Сложившаяся на рынке обуви конкуренция между отечественными производителями является, по существу, стихийной; формирование промышленного ассортимента обуви не основывается на результатах маркетинговых исследований [2, с.56].

Полученные нами результаты антропометрического исследования стоп детского населения в возрасте 8-17 лет основных городов Нечерноземья (Орел, Курск, Брянск, Смоленск) дают возможность сравнения фактического соотношения размеров стопы с необходимой обувью определенных размеров согласно социологического опроса, а также сопоставление объемов производства отдельных групп детской обуви с теоретически рассчитанными структурами, удовлетворяющими спрос потребителей исследуемого региона [1, с.22].

Анализ данных о производстве детской обуви на обувных предприятиях Нечерноземья показал существенные отличия их объемов от фактически необходимых. За полугодие на обувных предприятиях производилось обуви дошкольной группы 6000 тыс. пар, причем, только трех размеров – с 190 по 200 и основная доля её производства (по 20%) приходилась на обувь 195-200 размеров, т.е. двух размеров. Если учесть, что в данную группу входят размерные позиции с 170 по 200, то можно заключить о невозможности приобретения обуви этой группы в должном объеме.

Обуви школьной группы выпускалось больше всего – 10 тыс.800 пар за полгода, но ситуация с её производством самая сложная. Обувные предприятия производят детскую обувь групп «для школьников-девочек» и «для школьников-мальчиков» только 205-225 размеров. Колодки для обуви размеров 230-240 используются для изготовления обуви девичьей и мальчиковой групп [3, с.37].

Таким образом, дети младшего школьного возраста 8-10 лет будут вынуждены приобретать обувь другой группы (девичьей или мальчиковой), которая будет отличаться своими эстетическими показателями от необходимой им [5, с.17].

Проведенные нами расчеты показали, что для формирования размерного ассортимента обуви группы «для школьников-мальчиков» её необходимо выпускать именно 230-235-240 размеров в объеме от 11,4 до 14,0%, «для школьников-девочек» – от 9,1 до 15,1%.

Анализ объёмов выпуска обуви девичьей группы показал, что её производят с 200 по 240 размеры, а мальчиковой группы с 225 по 260 размеры и производство их незначительно – 2 тыс. 400 пар и 3 тыс. 360 пар соответственно. Кроме того, из данного количества изделий этих групп обуви некоторая часть будет приобретаться детьми других половозрастных групп.

Объёмы производства мальчиковой обуви 225-240 размеров составляют до 10%, 225-260 по 20%, в то время как проведенные нами расчеты показали, что наибольшую долю производства в данной группе должна составлять обувь 245-255 размера – от 12% до 16,8%, необходимый объём производства мальчиковой обуви 260 размера 13-16%. Обувные предприятия не производят обувь второй подгруппы мальчиковой группы, т.е. размеров 265-280. Антропометрические исследования стоп детей показали, что обувь мальчиковой группы 265 размера необходима 14,1 – 14,8% подростков, 270 размера – 11,4 -13,5%, 275 размера 7,4-11,8% и 280 размера – 4,6- 8,4% в исследуемых городах соответственно (Орле, Курске, Брянске, Смоленске).

Ещё сложнее ситуация с девичьей обувью. Как уже отмечалось, она производится только 1-ой подгруппы, а из-за перекрытия её размерных позиций (225-240) с группой обуви «для школьников-девочек», объёмы её производства (2 тыс. 400 пар в полугодие) можно считать вдвое заниженными. Поэтому девочки-подростки приобретают обувь 245-260 размеров в женской группе [4, с.16].

Обувные предприятия выпускает девичью обувь 235-240 размеров до 20% общего выпуска обуви этой группы, но расчеты показывают, что её про-

изводство необходимо увеличить до 31% с учётом возможности приобретения обуви этих размеров и группой «для школьников-девочек». Расчетные данные подтверждают, что для формирования структуры размерного ассортимента обувным предприятиям необходимо выпускать девичью обувь 245 размера 12-14,5%, 250 размера – 7,5-10%, 255 размера – 4,1 – 6,6%, 260 размера – 1,8 – 3,9%.

При производстве мужской и женской обуви необходимо учитывать, что обувь этих групп размеров 225-240 возможно будут приобретать до 17,0% девочек-подростков (в г. Курске – до 19,0%), а обувь мужской группы 245-265 размеров необходима 13,0 – 16,0% мальчиков.

Таким образом, полученные путем математического моделирования результаты наглядно свидетельствуют об актуальности проблемы обеспечения детского населения впорной обувью. Неправильное формирование структуры размерного ассортимента неизбежно приведет к массовому использованию детским населением обуви для взрослых, которая по функциональным свойствам не приспособлена для использования подростками.

Список литературы

1. Барановская И.А., Костылева В.В. Распределение детского населения по группам обуви // Обувь сезона. 2002, №4. С. 20-22.
2. Голубева Н.А. Формирование конкурентоспособного ассортимента обуви на базе маркетинговых исследований: дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2000. 137 с.
3. ГОСТ 3927-88 Колодки обувные. Общие технологические условия. М., 1989, 55 с.
4. Дунаевская Т. Н. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии. М.: Издательский центр «Академия», 2001. 288 с.
5. Черенкова С.С. Обувь для подростков и современные требования валеологии // Кожа и обувь. 2008. №1. С. 16-18.

КОМБИНАЦИЯ ИДС – ДТА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТВЁРДОСТИ АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА 1420

Бочаров Н.М., Крашенинников М.А.

аспиранты кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», Федеральное государственное учреждение высшего образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»,
Россия, г. Самара

Статья посвящена исследованию влияния кратковременного дискретного термостатического воздействия на динамику изменения твёрдости алюминий-литиевого сплава 1420. Особое внимание акцентируется на описании эксперимента, в основе которого лежит актуальное, на сегодняшний день, решение задачи совершенствования и расширения возможностей классических методов термического анализа. На основе экспериментальных данных, удалось установить взаимосвязь непрерывно изменяющейся твёрдости сплава 1420 толщиной 2 мм относительно температуры и изотермических сечений.

Ключевые слова: алюминий-литиевый сплав, сплав 1420, дискретное изотермическое сканирование, метод секущей вертикали, дифференциальный термический анализ, ДТА.

Классический метод дифференциального термического анализа (ДТА) в комбинации с политемпературным сканированием при помощи изотермического ступенчатого нагрева (ИДС) открывает новые возможности исследований различного рода материалов, в частности, металлов и их сплавов. Физико-химическое обоснование выведено и апробировано на основе глинистых масс различного химического состава [1,3] и солей щелочных металлов [2, 4, 5].

Эксперимент выполнен на предварительно откалиброванной установке ДТА – 500. В качестве объекта исследования выбран сверхлёгкий авиационный алюминий-литиевый сплав 1420, деформированный холодной прокаткой от 7 до 2 мм. Образцы размером $5 \times 5 \times 2$ мм и массой $\sim 0,1235$ гр. подвергались 1 циклу импульсного термостатического воздействия (т.е. резкому перепаду температур от горячего к холодному) в течение 1 минуты, с интервалом обжига равным 50°C по всему диапазону сканирования от 25°C до 525°C . После подготовительного этапа – обработки, образцы сплава 1420 снова помещались в рабочий объём термографа, где последовательно нагревались до требуемой температуры – 530°C .

Результаты нагрева представлены общей диаграммой (рис. 1), каждая кривая которой соответствует отдельному температурному идентификатору и, соответственно, положению относительно оси сигнала термопары. Объяснение этого явления кроется в изменении структуры вещества при получении единичного энергетического (температурного) воздействия различной степени.

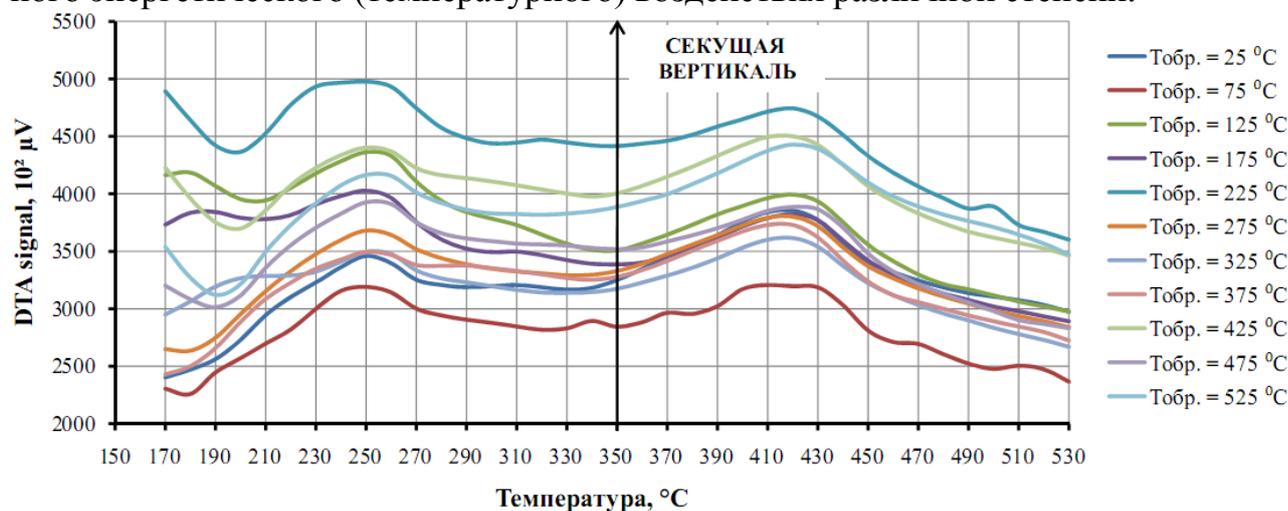


Рис. 1. Дифференциальных кривые нагрева образцов $5 \times 5 \times 2$ мм сплава 1420 после термостатической обработки в течение 1 минуты (стрелой зафиксирован пример одномоментного изотемпературного сечения относительно 350°C)

Графоаналитически установлено, что подобие по времени выдержки способствует созданию диаграммы, позволяющей проследить приближенную динамику изменения механических характеристик материала, исследуя термограммы ДТА. Такая диаграмма именуется изотермическим сечением и строится по методу «секущей вертикали». Это уникальный графический подход установления согласованности между механическими свойствами и энергетикой температур.

Для построения единичного графика методом «секущей вертикали», необходимо:

- расщепить пучок дифференциальных кривых перпендикулярно оси температур (рис. 1);
- зафиксировать координаты точек пересечения кривых ДТА, соответствующих каждой температуре обжига с секущей прямой (табл.);
- построить график зависимости «координата ДТА сигнала – температура обработки» (рис. 2).

Таблица

Координаты для построения изосечения по температуре 350°C

Температура термостатического обжига, °C	25	75	125	175	225	275	325	375	425	475	525
Координата ДТА сигнала, $10^2 \mu V$	3250	2844	3507	3386	4415	3328	3173	3278	4004	3517	3884

Полученная изотерма (рис. 2) теоретически и есть приближенная полиномиальная аппроксимация изменения механического свойства алюминий-литиевого сплава 1420.

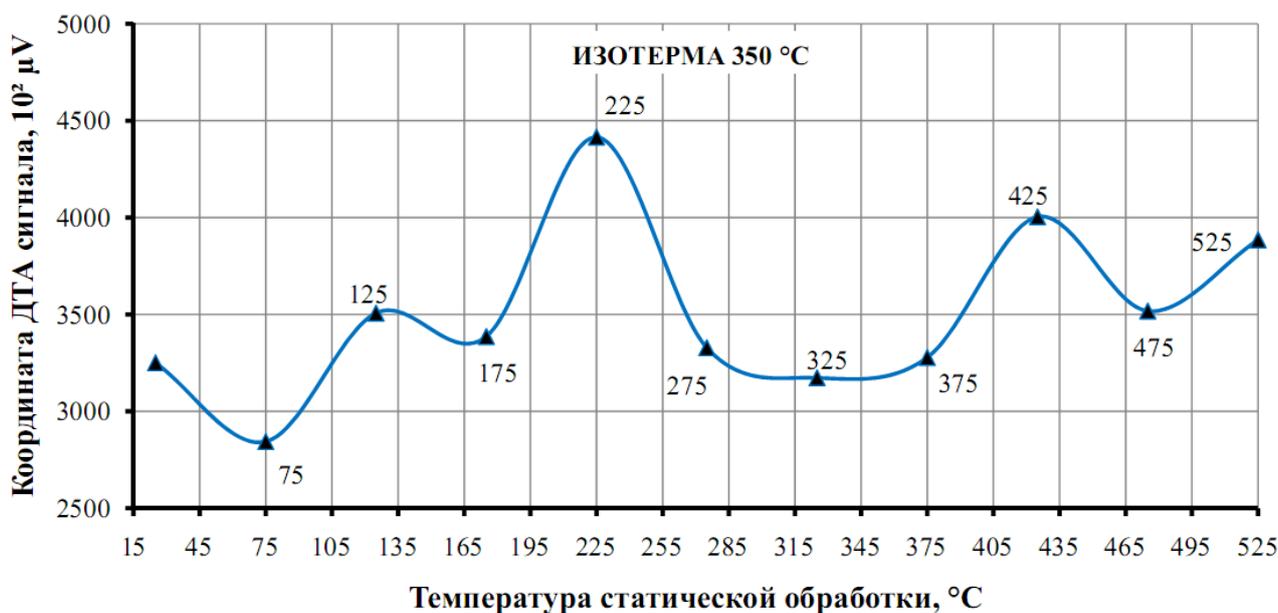


Рис. 2. Изотермическое сечение по температуре 350°C

Тест твёрдости выполнен по шкале HRB на приборе ТН 550 с индентором из карбида вольфрама диаметром 1/16 дюйма. По результатам испытания новой серии образцов, подвергшихся тепловой обработке в том же интервале времени и температуры, построен график изменения твёрдости сплава 1420 в динамической среде термического воздействия (рис. 3). Между изотермой (рис. 2) и графиком твёрдости (рис. 3) прослеживается корреляция, в особенности, в интервале температур 225°C – 525°C. Пропорциональное несоответствие откликов отчётливо проявляется между 25°C и 225°C. В данном случае, вероятнее будет предположить полное соответствие геометрии кривой испы-

таниям на разрыв, опираясь на физическую теорию прочности Журкова С.Н., нежели на показатели твёрдости.

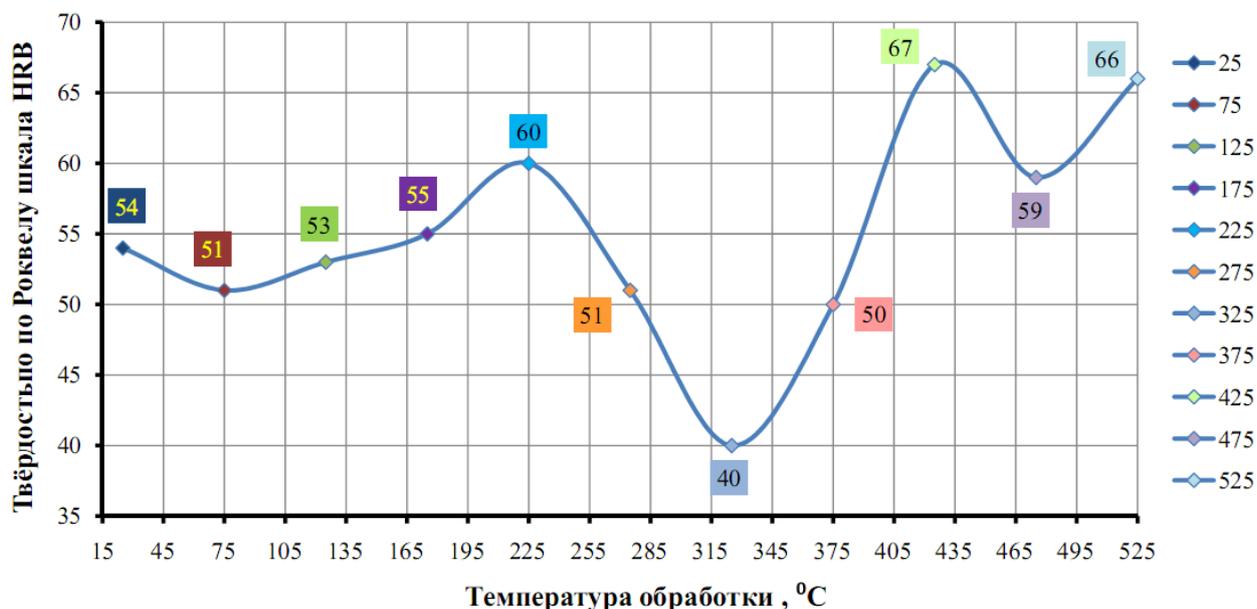


Рис. 3. Испытание образцов 5× 5× 2 мм сплава 1420 на твёрдость

Для повышения точности аппроксимации графика твёрдости, через термический отклик, необходимо:

- уменьшить интервал обработки с 50°C до 10°C;
- повысить время выдержки образцов в термокамере печи до 2 минут.

Таким образом, описанный метод обладает преимуществами перед классическими подходами термического анализа материалов: 1) простота применения; 2) возможность приближенного прогноза изменения эксплуатационных свойств материала; 3) построение графических моделей, не затрагивая сложные вычислительные операции.

Список литературы

1. Дорошко, Г. П. Введение в температурный анализ свойств материалов / Г. П. Дорошко. – Самара : Самарск. гос. арх.-строит. ун.-т, 2007. С. 94-172.
2. Дорошко, Г. П. Доверительное оценивание дифференциально-термического анализа KNO₃ по ТМА / Г. П. Дорошко, А. С. Трунин, П. В. Косинский. // Актуальные проблемы современной науки: труды 14-й международной конференции. Часть 8. Физическая химия, физико-химический анализ, 2013. С. 52-57.
3. Крашенинников М. А. Оптимизация обжига клинкерного кирпича с помощью приложения дифференциального термического анализа // Традиции и инновации в архитектуре и строительстве: материалы 72-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2014 года СГАСУ. – Самара, 2015. С. 1446-1448.
4. Дорошко, Г. П. Феномен стационарности по данным ДТА реперных веществ после изовыдержки при различных температурах/ Г. П. Дорошко, А. С. Трунин, П. В. Косинский. // Актуальные проблемы современной науки: труды 14-й международной конференции. Часть 8. Физическая химия, физико-химический анализ. – Самара, 2013. С. 58-62.
5. Трунин А.С. Феномен стационарности температур Г.П. Дорошко по данным ДТА KNO₃/ А. С. Трунин // Актуальные проблемы современной науки: труды 14-й международной конференции. Часть 8. Физическая химия, физико-химический анализ. – Самара, 2013. С. 62-67.

АНАЛОГОВЫЙ И ЦИФРОВОЙ ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Быкадор В.С.

доцент кафедры автоматизации производственных процессов, канд. техн. наук,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Австрийченко А.А., Шарипов В.Г., Киселёв Н.В.

студенты кафедры автоматизации производственных процессов,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Рассмотрены практические вопросы получения и программной обработки выходных данных с аналогового датчика температуры TMP36 и цифрового датчика температуры DS18B20 аппаратно-программными средствами контроллера Arduino. Проанализированы преимущества и недостатки практического использования каждого из рассматриваемых датчиков для систем автоматического управления температурой.

Ключевые слова: контроллер Arduino, аналоговый датчик, цифровой датчик, измерение температуры.

Введение. Контроль температуры является одной из основных задач, которые решаются при проектировании устройств автоматики. В качестве преобразователей температуры в электрическую величину используются различные типы датчиков. Тем не менее, датчики температуры, можно разделить на два больших класса: аналоговые датчики температуры и цифровые датчики температуры. При работе с каждым из классов датчиков существуют свои особенности, обусловленные как самим датчиком, так и аппаратно-программными средствами обработки сигналов контроллером Arduino.

В данной статье рассматриваются прикладные вопросы взаимодействия контроллера Arduino и двух датчиков – аналогового TMP36 (фирма Analog Devices) и цифрового DS18B20 (фирма Dallas Semiconductor/Maxima).

Описание экспериментального стенда. На рисунке 1 приведена фотография экспериментального стенда в процессе работы, а на рисунке 2 приведена его принципиальная электрическая схема. Стенд состоит из следующих элементов: 1) контроллер Arduino Uno; 2) жидкокристаллический индикатор (ForData Electronic Co.,LTD); 3) аналоговый датчик температуры TMP36; 4) цифровой датчик температуры DS18B20; 5) резисторы и потенциометр.

Подключение каждого из датчиков температуры выполняется по трехпроводной схеме: питания +5В, общий вывод, вывод данных. Вывод данных U_{out} аналогового датчика температуры TMP36 должен быть подключен к одному из входов встроенного в контроллер Arduino АЦП (вход А0). Вывод данных U_{out} цифрового датчика температуры DS18B20 должен быть подключен не только к цифровому входу контроллера (вход 13), но и параллельно к шине питания +5В через резистор номиналом 4,7 кОм. Так же стенд подключается к ЭВМ по USB интерфейсу для записи последовательности измерений температуры двумя датчиками.

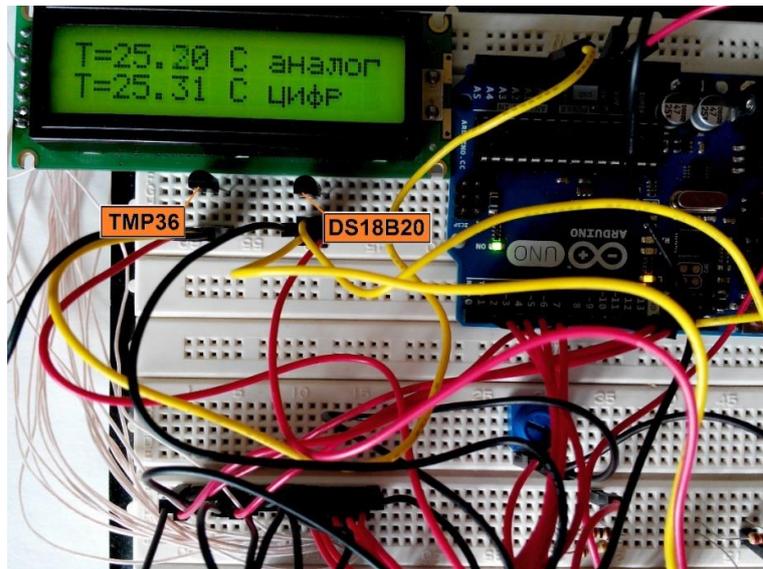


Рис. 1. Фотография экспериментального стенда

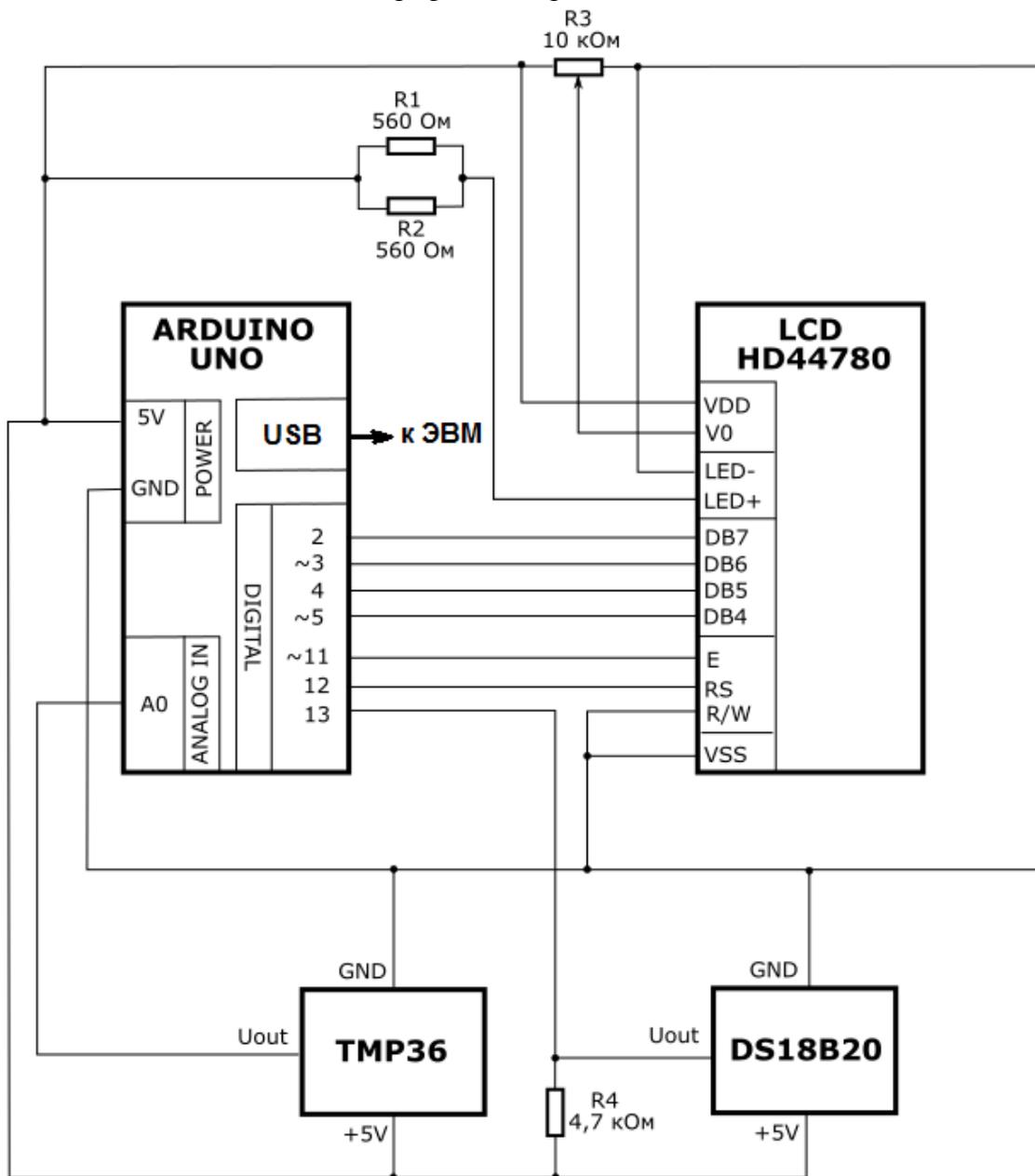


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема стенда

Особенности применения датчика TMP36. Алгоритм обработки выходных данных аналогового датчика TMP36 обусловлен его выходной характеристикой, устанавливающей однозначное соотношение между измеряемой датчиком температурой t и выходным напряжением U_{out} . На рисунке 3,а, показана исходная выходная характеристика датчика TMP36 [1].

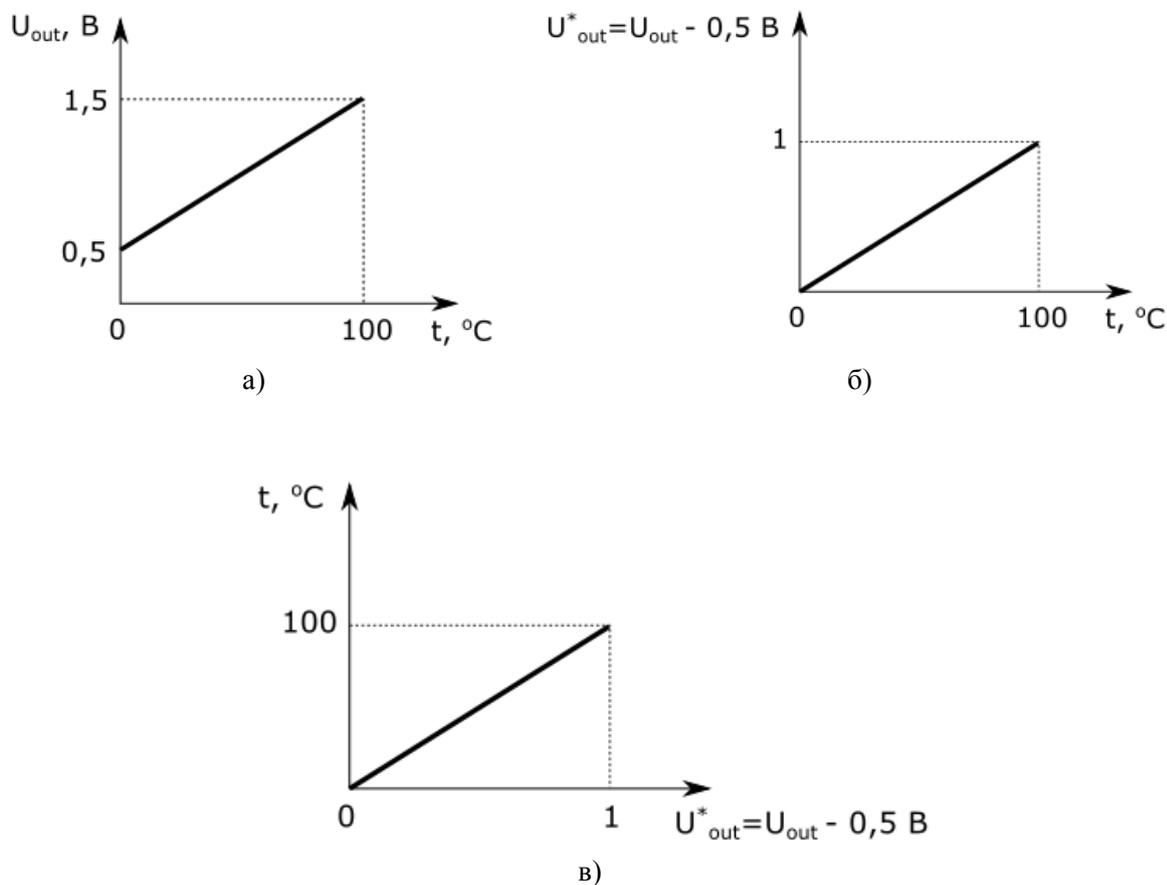


Рис. 3. Выходная характеристика аналогового датчика температуры TMP36:
 а) исходная характеристика; б) смещенная характеристика;
 в) обратная характеристика

Из рисунка 3,а видно, что температуре $t = 0^{\circ}C$, будет соответствовать выходное напряжение $U_{out} = 0,5V$, что не очень удобно при программном определении реальной температуры. Поэтому целесообразно выполнить компенсацию смещения выходного напряжения U_{out} (рисунок 3,б). Так как выходная характеристика датчика TMP36 линейная, компенсация смещения может быть выполнена элементарным вычитанием смещения из выходного напряжения (1):

$$U_{out}^* = U_{out} - \Delta U_{out} \quad (1)$$

где U_{out}^* – смещенное значение выходного напряжения, В; U_{out} – исходное значение выходного напряжения, В; ΔU_{out} – смещение напряжения ($\Delta U_{out} = 0,5V$), В.

По полученному значению выходного напряжения U_{out}^* можно восстановить значение измеренной температуры t по обратной характеристике (рисунок 3,в), которое затем использовать для каких-либо целей, например, в

экспериментальном стенде вычисленное значение выводится на жидкокристаллический индикатор.

При использовании аналогового датчика температуры TMP36 с контроллером Arduino, необходимо учесть два важных момента. Во-первых, АЦП контроллера выдает цифровой код, соответствующий значению напряжения. Диапазон значений цифрового кода D составляет $D \in (0, 1023)$. Тогда, зная максимальное входное напряжение $U_{in}^{АЦП}$, на которое настроен АЦП ($U_{in}^{АЦП} \leq 5В$), можно вычислить дискрету выходного напряжения датчика (2):

$$discrete = \frac{U_{in}^{АЦП}}{\max(D)} \quad (2)$$

Во-вторых, для повышения точности измерений, необходимо правильно выбрать максимальное входное напряжение АЦП $U_{in}^{АЦП}$. В идеале $U_{in}^{АЦП}$ должно соответствовать максимальному выходному напряжению датчика U_{out} . В данном исследовании максимально измеряемая температура составляла $t_{max} \approx 60^{\circ}C$, что соответствует выходному напряжению $U_{out} \approx 1В$. Тогда последовательность действий, по обработке данных аналогового датчика температуры TMP36 будет следующей:

- 1) установить максимальное значение $U_{in}^{АЦП}$;
- 2) по коду АЦП восстановить значение напряжения датчика U_{out} , используя величину дискреты $discrete$ (2);
- 3) выполнить смещение выходного напряжения датчика $U_{out} \rightarrow U_{out}^*$ (1);
- 4) по величине смещенного выходного напряжения вычислить значение температуры датчика $U_{out}^* \rightarrow t$ (рисунок 3,в).

В листинге 1 показан программный код на языке программирования для контроллера Arduino, реализующий выше приведенную последовательность действий.

Листинг 1. Программный код на языке программирования для контроллера Arduino, реализующий взаимодействие с аналоговым датчиком температуры TMP36.

```
// Дискрета АЦП по напряжению 1.1В/1024 = 0.00107422
#define V_DISCRETE 0.00107422
.....
// Настройка максимального входного аналогово напряжение АЦП
analogReference(INTERNAL); // 1.1В max
.....
// вычисление температуры аналогово датчика TMP36
float temp = float((analogRead(0)*V_DISCRETE - 0.5)*100;
.....
```

Особенности применения датчика DS18B20. Цифровой датчик DS18B20 выдает сведения об измеряемой температуре в виде двоичного кода, передаваемого по однопроводному последовательному интерфейсу (1-Wire). При этом в двоичном коде записана температура в градусах по Цельсию.

Однопроводной интерфейс был разработан фирмой Dallas Semiconductor, ныне фирма Maxim Integrated Products. Особенностью данного последовательного интерфейса является, то что у него отсутствует синхроимпульсы, двунаправленная передача данных между мастером (микроконтроллером) и подчинёнными (любые устройства с интерфейсом 1-Wire), полностью управляется мастером.

Мы не будем в данной статье рассматривать диаграммы и алгоритм низкоуровневой реализации однопроводного интерфейса (подробно 1-Wire интерфейс рассмотрен, например, [2]), так как мы не будем программно реализовывать данный интерфейс на низком уровне, а воспользуемся, встроенной в среду разработки программ IDE Arduino, библиотекой OneWire, которая с успехом справляется с низкоуровневой реализацией однопроводного интерфейса. Отметим, что библиотека OneWire по умолчанию в IDE Arduino не установлена, поэтому её необходимо установить используя Менеджер библиотек (Скetch->Подключить библиотеку->Управлять библиотеками...).

В начале рассмотрим некоторые особенности датчика DS18B20 [3]. Управление цифровым датчиком DS18B20, как и другими устройствами, реализующими интерфейс 1-Wire, осуществляется специальными командами. У каждого устройства с интерфейсом 1-Wire существуют свои команды, но для всех таких устройств есть группа общих команд. Перед тем как рассмотреть общие команды, которые потребуются для взаимодействия с датчиком DS18B20, кратко рассмотрим регистровую модель датчика, которая показана на рисунке 4.

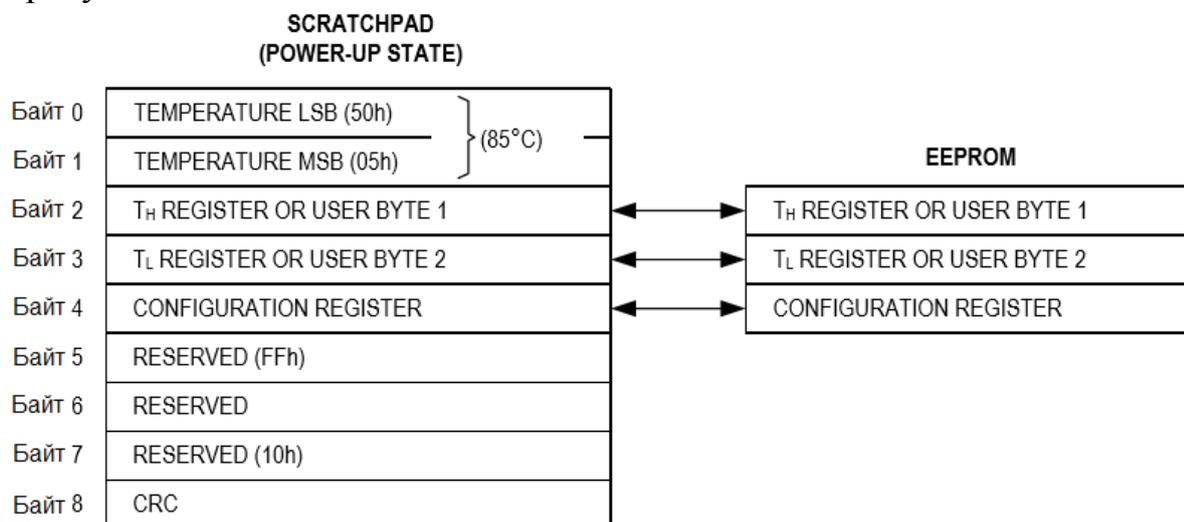


Рис. 4. Регистровая модель датчика DS18B20 [3]

Первоочередными байтами (регистрами), в регистровой модели датчика, являются: байт 0 – младший байт хранения данных об измеренной температуре; байт 1 – старший байт хранения данных об измеренной температуре; байт 2 – верхнее предельное значение температуры (устанавливается пользователем); байт 3 – нижнее предельное значение температуры (устанавливается пользователем); байт 4 – конфигурационный байт, позволяет установить разрешающую способность датчика. По использованию регистровой модели

датчика DS18B20, необходимо сделать ряд важных замечаний. Во-первых, если измеренная датчиком температура будет выше, чем в байте 2 или ниже чем в байте 3, то датчиком генерируется «сигнал тревоги». Во-вторых, чем выше разрешающая способность датчика, а значит и точность вычисления, тем больше времени требуется для измерения температуры. В-третьих, данные из байтов 2, 3 и 4, перед выключением питания датчика перезаписываются в энергонезависимую память, а после включения питания, обратно восстанавливаются в регистрах. Таким образом, если в процессе использования датчика, нет необходимости его перенастраивать, то достаточно, программный код по настройке датчика выполнить один раз, а после настройки датчика удалить конфигурационный код из программы. В-четвертых, регистровая модель датчика представляет собой стековую память, типа LIFO («последним вошел – первым вышел»), входом в стек является байт 0. Поэтому при чтении и записи данных в регистры датчика DS18B20 следует учитывать их стековую организацию.

На рисунке 5 представлена структура байта 4, который отвечает за разрешающую способность датчика. Варьируемыми значениями в байте 4 – регистре конфигурации датчика DS18B20, являются бит 6 (R1) и бит 5 (R2). Соответственно, датчик может быть настроен на одно из четырех значений разрешения – 9-ти, 10-ти, 11-ти или 12-ти битовое разрешение измерения температуры.

БИТ 7	БИТ 6	БИТ 5	БИТ 4	БИТ 3	БИТ 2	БИТ 1	БИТ 0
0	R1	R2	1	1	1	1	1

Рис. 5. Регистр конфигурации датчика DS18B20 [3]

На рисунке 6 приведена структура двух байт, в которых записывается результат измерения температуры. Следует обратить внимание, что в младшем байте выделено четыре младших бита (биты 3...0) для представления дробной части измеренной температуры. При изменении разрешающей способности датчика, именно эти, самые младшие четыре бита, будут присутствовать или частично отсутствовать в регистре значения измеренной температуры.

	БИТ 7	БИТ 6	БИТ 5	БИТ 4	БИТ 3	БИТ 2	БИТ 1	БИТ 0
МЛ. БАЙТ	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴
	БИТ 15	БИТ 14	БИТ 13	БИТ 12	БИТ 11	БИТ 10	БИТ 9	БИТ 8
СТ. БАЙТ	S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

S = ЗНАК (0 - "+"/ 1 - "-")

Рис. 6. Регистр измеренной температуры датчика DS18B20 [3]

В общем случае, в системе может присутствовать несколько датчиков температуры DS18B20, которые все подсоединены к одной линии однопроводного интерфейса. Для осуществления обмена данными между микроконтроллером и конкретным датчиком DS18B20, у каждого выпущенного датчика есть уникальный адрес, по которому можно обратиться к датчику. Если же в системе один датчик DS18B20, как, например, в данном стенде, то мож-

но использовать команду «слепого» обращения, позволяющую осуществлять обмен данными с цифровым датчиком без указания его адреса. В таблице приведены основные команды, которые используются для управления датчиком температуры DS18B20 [3].

Таблица

Основные команды управления датчиком DS18B20

№ п.п	Название команды	Код команды	Краткое описание
1.	Read ROM	33h	Считать адрес датчика (только для одного датчика в системе).
2.	Match ROM	55h	Обратиться по адресу к датчику.
3.	Skip ROM	CCh	Обратиться к датчику не используя адрес (только для одного датчика в системе).
4.	Search ROM	F0h	Поиск датчиков и получение их адресов.
5.	Write Scratchpad	4Eh	Записать данные в регистры, начиная с регистра ТН и заканчивая конфигурационным регистром.
6.	Read Scratchpad	BEh	Чтение регистров, начиная с младшего регистра результата измерения температуры.
7.	Convert T	44h	Команда запуска процедуры измерения температуры.

Для выполнения команд датчика DS18B20, необходимо придерживаться так называемой транзакционной последовательности, которая заключается в следующем:

- 1) инициализация транзакции;
- 2) выполнение любой команды адресации (п. 1...п. 4, табл.);
- 3) выполнение любой команды работы с регистрами (п. 5...п. 7, табл.);
- 4) чтение/запись данных.

Учитывая все выше приведенные особенности цифрового датчика и рекомендации, приведенные в источнике [4], был составлен программный код на языке для контроллера Arduino по обмену данными с датчиком DS18B20. Данный код представлен в листинге 2.

Листинг 2. Программный код на языке программирования для контроллера Arduino, реализующий взаимодействие с цифровым датчиком температуры DS18B20.

```
#include <OneWire.h>
// команды датчика DS18B20
#define CONVERT_T 0x44
#define READ_SCRATCHPAD 0xBE
#define WRITE_SCRATCHPAD 0x4E
// разрешение датчика DS18B20
#define RESOLUTION_09 0x1F
#define RESOLUTION_10 0x3F
#define RESOLUTION_11 0x5F
#define RESOLUTION_12 0x7F
// время вычисления температуры датчиком DS18B20 (в зависимости
его
// разрешения)
#define TIMECONVERSION_09 0x91
```

```

#define TIMECONVERSION_10 0xEB
#define TIMECONVERSION_11 0x1A9
#define TIMECONVERSION_12 0x3E8

OneWire dts(13); // 13 - вывод подключения DS18B20
const byte resolution = RESOLUTION_12;
const byte convertTime = TIMECONVERSION_12;
.....
..... // Настройка разрешения DS18B20
dts.reset(); // инициализация транзакции
dts.skip(); // обращение к датчику без адреса
dts.write(READ_SCRATCHPAD); // считать блокнот
byte empty, TH, TL;
empty = dts.read(); // t-па LSB
empty = dts.read(); // t-па MSB
TH = dts.read(); // считать значение из TH
TL = dts.read(); // считать значение из TL
dts.reset();
dts.skip();
dts.write(WRITE_SCRATCHPAD); // записать в блокнот
dts.write(TH); // перезаписываем значение рег. TH
dts.write(TL); // перезаписываем значение рег. TL
dts.write(resolution); // записываем значение разрешения датчика
.....
..... dts.reset();
dts.skip();
dts.write(CONVERT_T); // измерение температуры
delay(convertTime); // время на выполнение измерения температуры
dts.reset();
dts.skip();
dts.write(READ_SCRATCHPAD); // считать блокнот
// получить байты со значением температуры в градусах Цельсия
byte data[2] = {dts.read(), dts.read()};
// преобразование результата измерения к float-типу, с учетом
дробной части
byte pointdata = data[0] & 0x0F;
float result = float(((data[1] << 8) + data[0]) >> 4) + bi-
tRead(pointdata, 3)*0.5 + bitRead(pointdata, 2)*0.25 + bi-
tRead(pointdata, 1)*0.125 + bitRead(pointdata, 0)*0.0625;
.....

```

Стабильность измерения температуры датчиками TMP36 и DS18B20. Использование датчиков TMP36 и DS18B20 показало, что они выполняют измерение температуры с различной стабильностью. На рисунке 7 показано изменение измеренных значений температуры относительно стационарного значения. Как можно видеть датчик TMP36 имеет ярко выраженную нестабильность в измерении температуры, колебания температуры случайным образом варьируется относительно стационарного значения.

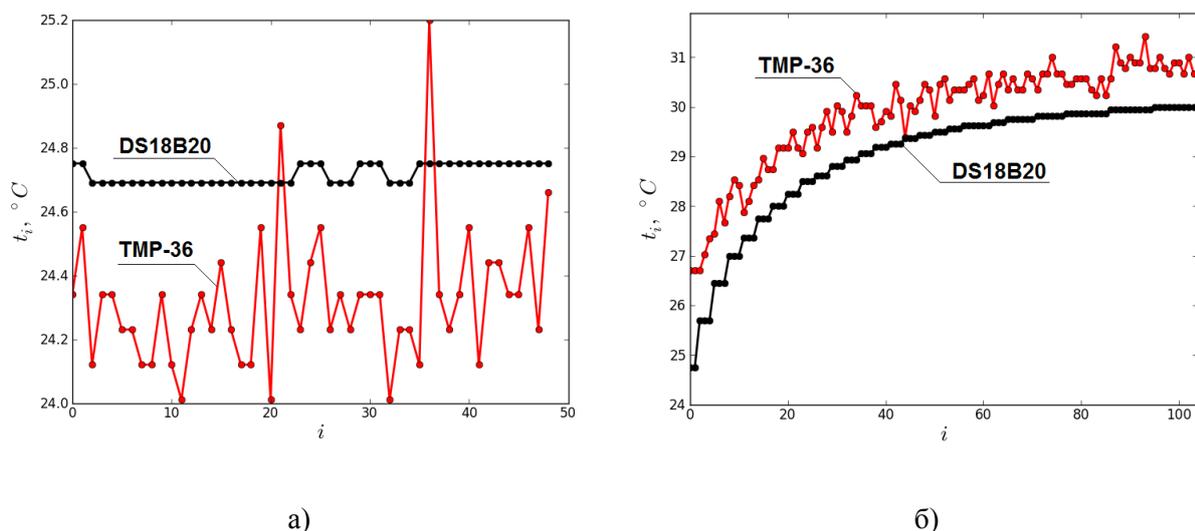


Рис. 7. Результаты измерения температуры контроллером Arduino с датчиками TMP36 и DS18B20: а) стабильность измерения; б) скорость реакции датчиков на изменение температуры

С другой стороны, почти стабильное измерение температуры датчиком DS18B20 обусловлено его алгоритмом измерения, который заключается в том, что преобразование измеренной температуры выполняется за определенный промежуток времени. Так, например, согласно [3], при измерении температуры датчиком DS18B20 с разрешающей способностью 12 бит, требуется не менее 750 мс для выполнения преобразования. Такая временная задержка совместно с удержанием измеренного значения на одном и том же уровне до следующего измерения, по сути реализует фильтр низких частот, который позволяет отсечь высокочастотные колебания относительно низкочастотной составляющей. Так же на защищенность измеренного значения температуры от влияния помех немаловажную роль играет передача данных в цифровом коде.

Выводы. В результате проведенного изучения двух датчиков измерения температуры, можно сделать определённые выводы. Программирование аналогового датчика TMP36 проще, чем цифрового датчика DS18B20, также TMP36, из-за отсутствия задержки в измерении температуры, способен реагировать на быстрые изменения температуры – на температурные всплески. Но с другой стороны использовании датчиков типа TMP36 для типовых решений, связанных с измерением температуры, требует решения вопроса с фильтрацией выходного сигнала, что естественно увеличит сложность и объем программного кода или аппаратной части системы.

Использование цифрового датчика измерения температуры DS18B20, с одной стороны требует понимания его программной модели и несколько усложняется программный код по взаимодействию с данным датчиком, но с другой стороны не требуется какой-либо фильтрации измеренных результатов, имеется достаточно гибкая система настройки параметров датчика, высокая помехозащищенность передаваемых результатов по однопроводному

интерфейсу в цифровом коде, большое количество подключаемых датчиков к одной линии. Использование же библиотеки `OneWire`, значительно упрощает работу с однопроводным интерфейсом и с устройствами типа датчика DS18B20.

Следует также отметить, что для работы с датчиком DS18B20 в IDE Arduino есть специализированная библиотека `DallasTemperature`, которая имеет определённый набор функций по работе именно с датчиком DS18B20. Тем не менее мы выбрали для работы более общую библиотеку `OneWire`, по следующим двум причинам. Во-первых, библиотека `DallasTemperature` должна работать в связке с библиотекой `OneWire`, т.е. при использовании библиотеки `DallasTemperature` всё рано потребуется подключение библиотеки `OneWire`. В результате размер скомпилированного проекта увеличивается примерно на 20% по сравнению с проектом, который использует только библиотеку `OneWire` (эти результаты получены для рассматриваемого в данной статье проекта). Во-вторых, библиотека `OneWire` содержит функции, общие для взаимодействия с любыми устройствами с однопроводным (1-Wire) интерфейсом, поэтому область её применения значительно шире, чем библиотеки `DallasTemperature`.

Полученные результаты могут быть использованы для правильного выбора типа датчика. Разработанный экспериментальный стенд, с некоторыми адаптирующими усовершенствованиями, может быть использован при изучения тепловых процессов в системах имеющих важное прикладное значение. Примером таких систем являются системы, функционирование которых, основано на контактном взаимодействии их элементов – транспортные колесные системы, динамика которых рассмотрена, например, в работах [5, 6].

Список литературы

1. Low voltage temperature sensor TMP35/TMP36/TMP37. Data sheet, Analog Devices, 19 p.
2. Елисеев Н. Интерфейс 1-WIRE: устройство и применение. // Электроника: Наука, технология, бизнес, №8, 2007. С. 94-99.
3. DS18B20 programmable resolution 1-Wire digital thermometer. Data sheet, Maxim Integrated, 20 p.
4. <http://arduino-project.net/podklyuchenie-ds18b20-arduino/>
5. Чувейко М.В., Носачев С.В. Модель упругого скольжения в системе «колесо – поверхность дороги» // Вестник Донского государственного технического университета. 2013. № 3-4. С. 111-116.
6. Чувейко М.В., Носачев С.В. Математическое моделирование упругого скольжения в контакте колесо-поверхность дороги // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. № 3(78). С. 127-137.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА РЕГРЕССИОННЫМИ МЕТОДАМИ ПО МОДЕЛЯМ НИЗКОГО ПОРЯДКА

Быкадор В.С.

доцент кафедры автоматизации производственных процессов, канд. техн. наук,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Попов Ю.В.

магистрант кафедры робототехника и мехатроника,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Исследован вопрос возможности параметрической идентификации динамических систем высокого порядка регрессионными методами по идентификационным моделям низкого порядка. Такая задача возникает в том случае, когда идентификация моделями, с порядком равном порядку системы, не представляется возможной. В статье рассматривается пример идентификации регрессионными методами некоторых параметров системы четвертого порядка по идентификационной модели второго порядка. Особенно это эффективно при проектировании адапторов адаптивных систем управления.

Ключевые слова: параметрическая идентификация, регрессионные методы, определение параметров, динамические системы.

Введение. Параметрическая идентификация динамических систем является важной частью исследовательских и конструкторских проектов в области автоматического управления. Одними из широко используемых методов идентификации являются регрессионные методы. Преимущества данных методов хорошо известны: применимость к идентификации линеаризованных и нелинейных систем, хорошая алгоритмизация за счёт исключения графических процедур анализа, возможность реализации идентификации в реальном масштабе времени, что способствует применению данного метода в адапторах адаптивных систем автоматического управления. Тем не менее далеко не всегда возможно применить типовой подход в выполнении процедуры идентификации регрессионными методами. Пример такой задачи и её возможное решение рассмотрено в данной статье.

Постановка задачи. Пусть известна математическая модель (1) объекта подлежащего управлению, также известны численные значения почти всех его параметров, за исключением некоторых из них. Допустим, что варьирование неизвестных параметров приводит к значительному изменению динамики управляемого объекта. Поэтому систему управления таким объектом необходимо искать в классе адаптивных систем. При этом требуется выполнять идентификацию неизвестных параметров объекта управления в реальном масштабе времени.

$$W(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{\text{вх}}(s)} = \frac{b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1)$$

При этом параметры системы (1) определяются выражениями (2) – (7):

$$b_0 = c C_M k_{\Pi} \quad (2)$$

где c – коэффициент жесткости механической нагрузки, приведенной к валу двигателя постоянного тока, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$;

C_M – коэффициент, зависящий от конструктивных параметров двигателя постоянного тока;

k_{Π} – коэффициент усиления преобразователя.

$$a_4 = J_1 J_2 L_{\text{я}} \quad (3)$$

где J_1, J_2 – моменты инерции вала двигателя и механической нагрузки, соответственно, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$L_{\text{я}}$ – индуктивность обмоток якоря, Гн.

$$a_3 = (h_2 J_1 + h_1 J_2) L_{\text{я}} + J_1 J_2 R_{\text{я}} \quad (4)$$

где h_1, h_2 – приведенные коэффициенты диссипации вала двигателя и механической нагрузки, соответственно, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}\cdot\text{с}}$;

$R_{\text{я}}$ – активное сопротивление обмоток якоря, Ом.

$$a_2 = C_M^2 J_2 + h_1 h_2 L_{\text{я}} + c L_{\text{я}}(J_1 + J_2) + R_{\text{я}}(h_2 J_1 + h_1 J_2) \quad (5)$$

$$a_1 = C_M^2 h_2 + c L_{\text{я}}(h_1 + h_2) + h_1 h_2 R_{\text{я}} + c R_{\text{я}}(J_1 + J_2) \quad (6)$$

$$a_0 = c C_M^2 + c R_{\text{я}}(h_1 + h_2) \quad (7)$$

Система, описываемая выражениями (1) – (7), возникает, например, при исследовании звена промышленного робота с приводом от двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и приведенной механической нагрузкой к валу двигателя с учетом её упруго-диссипативных свойств.

Пусть известны все параметры системы, приведенные в формулах (2) – (7), кроме параметров J_2 и c . Таким образом необходимо выполнить параметрическую идентификацию параметров системы J_2 и c . Вполне целесообразно было бы выполнить параметрическую идентификацию моделью с порядком равном порядку исходной системы (1). Результатом идентификации регрессионными методами системы (1) будут числовые значения параметров $b_0, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$. Тогда искомые параметры J_2 и c могут быть найдены, если относительно них разрешить уравнения (2) – (7). Тем не менее, далеко не всегда это возможно, например, если значения параметров системы будут равны тем, которые приведены в таблице.

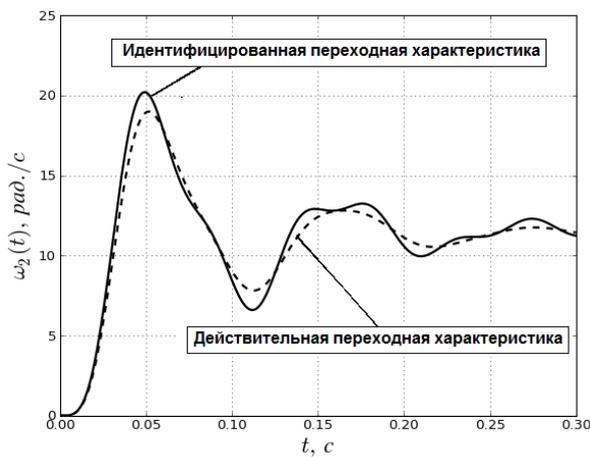
Например, если значение $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 250 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$, то идентификация регрессионными методами по модели с порядком равным порядку исходной системы (1) будет успешной, как показано на рисунке 1, а, но для зна-

чений $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 50 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$ – идентификация не будет выполнена (рисунок 1,б).

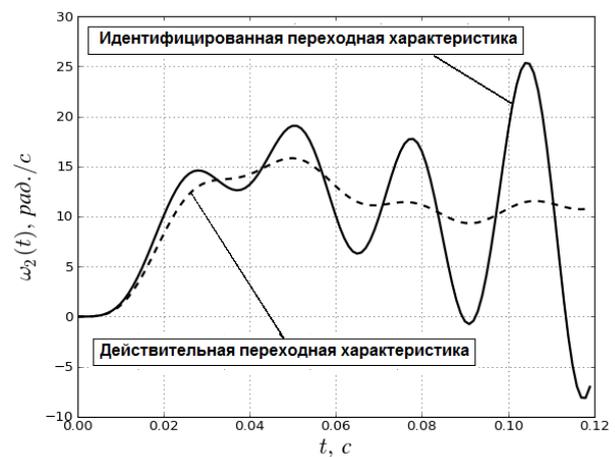
Таблица

Известные параметры системы

№ п.п	Обозначений параметра	Значение параметра	Единица измерения
1.	C_M	1,91	–
2.	$k_{\text{п}}$	22	–
3.	J_1	10^{-2}	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$
4.	$L_{\text{я}}$	0,029	Гн
5.	h_1	0,02	$\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад/с}}$
6.	h_2	0,01	$\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад/с}}$
7.	$R_{\text{я}}$	1,67	Ом



а)



б)

Рис. 1. Переходные характеристика $h(t)$ исходной и идентифицированной системы равных порядков: а) $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 250 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$; б) $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 50 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$

Существует ещё ряд пар значений параметров J_2 и c для которых параметрическая идентификация моделью с порядком равным порядку исходной системы не будет выполнена. Возможный метод решения для таких случаев приведен ниже.

Метод решения. Если рассмотреть корни любой системы, в том числе и системы (1), то согласно [2], из всех корней характеристического уравнения лишь только два или три корня с меньшей по модулю вещественной частью, определяют вид переходного процесса. Если исследовать переходные характеристики систем высоких порядков, то действительно можно выделить низкочастотную составляющую переходной характеристики, которая может иметь вид колебательного или аperiodического процесса и определяющую основной вид данного процесса, и высокочастотные составляющие, совершающие движения вблизи низкочастотной составляющей. Во многих приложениях удовлетворительной идентификацией системы будет являться такая,

которая позволяет восстановить свойства системы в низкочастотной области, то есть определяет свойства системы в общем. В таком случае открывается возможность выполнять идентификацию систем высокого порядка моделями низкого – второго и третьего порядков.

Рассмотрим в качестве идентификационной модели систему второго порядка (8):

$$\frac{d^2\omega(t)}{dt^2} + \tilde{a}_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + \tilde{a}_0 \omega(t) = \tilde{b}_0 u_{\text{вх}}(t) \quad (8)$$

где \tilde{a}_0 , \tilde{a}_1 , \tilde{b}_0 – подлежащие идентификации параметры непрерывной системы.

Согласно [3] перейдем от дифференциального (8) к разностному уравнению (9):

$$\omega[k] - A_1 \omega[k - 1] - A_0 \omega[k - 2] = B_0 u_{\text{вх}}[k] \quad (9)$$

где A_0 , A_1 , B_0 – подлежащие идентификации параметры дискретной системы.

Тогда на основании [1] выполним оценку параметров дискретной системы (9) по выражению (10), которое реализует метод наименьших квадратов:

$$\hat{\mathbf{k}} = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^T \boldsymbol{\Psi} \quad (10)$$

где $\hat{\mathbf{k}} = (A_1 \ A_0 \ B_0)$ – вектор оценок параметров дискретной модели идентификации;

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \omega[1] & \omega[0] & u_{\text{вх}}[2] \\ \omega[2] & \omega[2] & u_{\text{вх}}[3] \\ \omega[3] & \omega[3] & u_{\text{вх}}[4] \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega[N-2] & \omega[N-3] & u_{\text{вх}}[N-1] \end{pmatrix} - \text{матрица измеренных дис-}$$

кретных значений входного $u_{\text{вх}}[k]$ и выходного $\omega[k]$ сигналов ($k = \overline{0, N-1}$, N – количество дискретных измерений);

$\boldsymbol{\Psi} = (\omega[2] \ \omega[3] \ \omega[4] \ \dots \ \omega[N-1])^T$ – вектор измеренных дискретных значений выходного $\omega[k]$ сигнала.

Идентифицировав параметры дискретной модели A_0 , A_1 и B_0 , мы можем на основании выражений (11), (12) и (13), которые были получены в результате перехода от непрерывной модели идентификации (8) к дискретной (9), найти численные значения параметров непрерывной модели (8).

$$\tilde{a}_1 = -\frac{2A_0 + A_1}{A_0 T} \quad (11)$$

где T – период дискретизации ($T = 10^{-3}$ с)

$$\tilde{a}_0 = -\frac{1 - A_0 - A_1}{A_0 T^2} \quad (12)$$

$$\tilde{b}_0 = -\frac{B_0}{A_0 T^2} \quad (13)$$

Следующим шагом идентификации является установление связи между идентифицированными параметрами непрерывной модели $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0$ и искомыми параметрами объекта управления J_2 и c . Так как мы использовали для идентификации процесса модель с порядком отличным от порядка исходной модели объекта управления, то для нахождения параметров J_2 и c мы не можем использовать формулы (2) – (7). Для установления связи между параметрами $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0$ и J_2, c также используем регрессионные методы идентификации, но уже статического процесса.

В начале получим статистические данные на основе вычислительного эксперимента. Данный эксперимент заключается в том, что задаются различные значения параметров J_2 и c (в рассматриваемом примере $J_2 \in [10^{-4}; 10^{-2}]$ кг · м² и $c \in [50; 250] \frac{\text{Н·м}}{\text{рад}}$) и по модели объекта (1) с учетом формул (2) – (7) и таблицы находится переходная характеристика объекта. Далее выполняя процедуру идентификации (10) и учитывая выражения (11) – (13) отыскиваем значения параметров $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0$. Таким образом, совокупности численных значений искомым параметров J_2 и c ставится в соответствие численные значения параметров $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0$. Далее необходимо задаться некоторой моделью связывающей между собой параметры J_2, c и $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0$. В данной задаче вполне себя оправдала модель (14):

$$\begin{cases} J_2(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0) = \kappa_{11}\tilde{a}_0 + \kappa_{12}\tilde{a}_1 + \kappa_{13}\tilde{b}_0 + \kappa_{14}\tilde{a}_0^2 + \kappa_{15}\tilde{a}_0\tilde{a}_1 + \kappa_{16}\tilde{a}_0\tilde{b}_0 + \\ \quad + \kappa_{17}\tilde{a}_1^2 + \kappa_{18}\tilde{a}_1\tilde{b}_0 + \kappa_{19}\tilde{b}_0^2 \\ c(\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \tilde{b}_0) = \kappa_{21}\tilde{a}_0 + \kappa_{22}\tilde{a}_1 + \kappa_{23}\tilde{b}_0 + \kappa_{24}\tilde{a}_0^2 + \kappa_{25}\tilde{a}_0\tilde{a}_1 + \kappa_{26}\tilde{a}_0\tilde{b}_0 + \\ \quad + \kappa_{27}\tilde{a}_1^2 + \kappa_{28}\tilde{a}_1\tilde{b}_0 + \kappa_{29}\tilde{b}_0^2 \end{cases} \quad (14)$$

где κ_{ij} – параметры подлежащие идентификации ($i = 1, 2; j = \overline{1, 9}$).

Выполнив процедуру идентификации (15) [1]:

$$\hat{\mathbf{k}}_i = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^T \Psi_i \quad (15)$$

где $\hat{\mathbf{k}}_i = (\kappa_{i1} \quad \dots \quad \kappa_{i9})$ – вектор оценок параметров κ_{i9} ($i = 1, 2$);

$\mathbf{U} =$

$$\begin{pmatrix} \tilde{a}_{0(1)} & \tilde{a}_{1(1)} & \tilde{b}_{0(1)} & \tilde{a}_{0(1)}^2 & \tilde{a}_{0(1)}\tilde{a}_{1(1)} & \tilde{a}_{0(1)}\tilde{b}_{0(1)} & \tilde{a}_{1(1)}^2 & \tilde{a}_{1(1)}\tilde{b}_{0(1)} & \tilde{b}_{0(1)}^2 \\ \tilde{a}_{0(2)} & \tilde{a}_{1(2)} & \tilde{b}_{0(2)} & \tilde{a}_{0(2)}^2 & \tilde{a}_{0(2)}\tilde{a}_{1(2)} & \tilde{a}_{0(2)}\tilde{b}_{0(2)} & \tilde{a}_{1(2)}^2 & \tilde{a}_{1(2)}\tilde{b}_{0(2)} & \tilde{b}_{0(2)}^2 \\ \tilde{a}_{0(3)} & \tilde{a}_{1(3)} & \tilde{b}_{0(3)} & \tilde{a}_{0(3)}^2 & \tilde{a}_{0(3)}\tilde{a}_{1(3)} & \tilde{a}_{0(3)}\tilde{b}_{0(3)} & \tilde{a}_{1(3)}^2 & \tilde{a}_{1(3)}\tilde{b}_{0(3)} & \tilde{b}_{0(3)}^2 \\ \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{0(r)} & \tilde{a}_{1(r)} & \tilde{b}_{0(r)} & \tilde{a}_{0(r)}^2 & \tilde{a}_{0(r)}\tilde{a}_{1(r)} & \tilde{a}_{0(r)}\tilde{b}_{0(r)} & \tilde{a}_{1(r)}^2 & \tilde{a}_{1(r)}\tilde{b}_{0(r)} & \tilde{b}_{0(r)}^2 \end{pmatrix}$$

– матрица измеренных значений $\tilde{a}_{0(\mu)}, \tilde{a}_{1(\mu)}, \tilde{b}_{0(\mu)}$ ($\mu \in [1; r]$);

$$\chi_i = \begin{cases} (J_{2(1)} & J_{2(2)} & J_{2(3)} & \dots & J_{2(r)})^T & , i = 1 \\ (c_{(1)} & c_{(2)} & c_{(3)} & \dots & c_{(r)})^T & , i = 2 \end{cases}$$
 – вектор измеренных значений искомых параметров $J_{2(\mu)}$, $c_{(\mu)}$ ($\mu \in [1; r]$), полученных по исходной модели объекта (1).

На рисунке 2 показаны графики, позволяющие оценить качество идентификации значений J_2 и c .

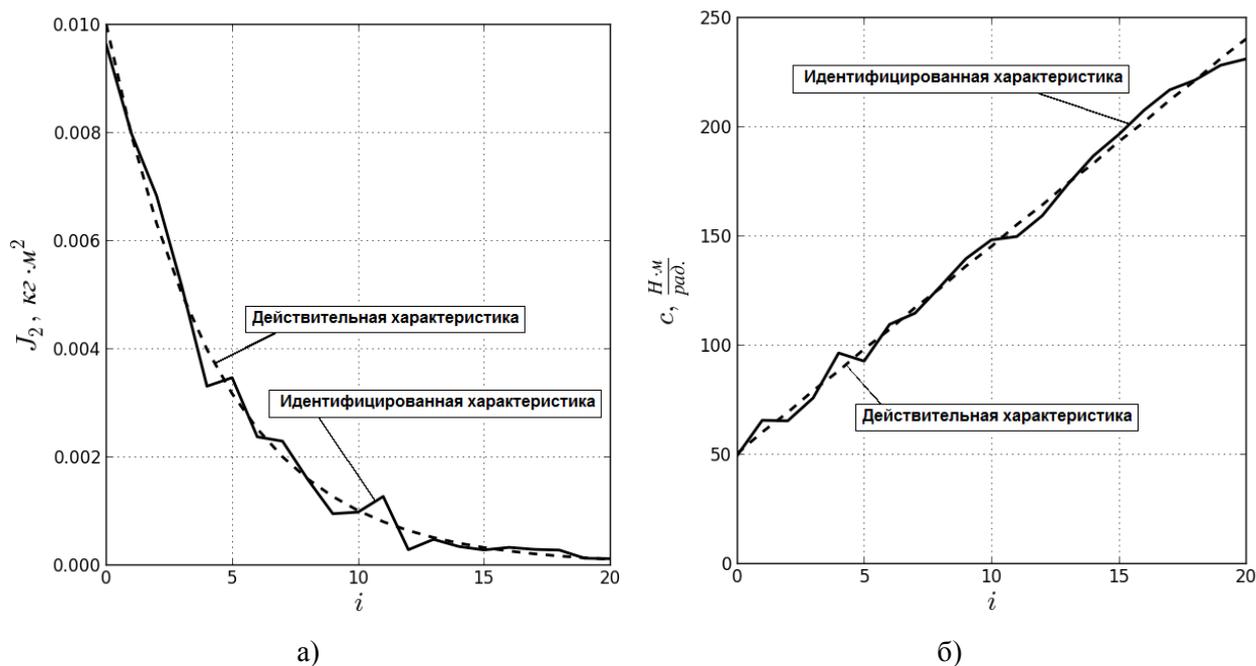
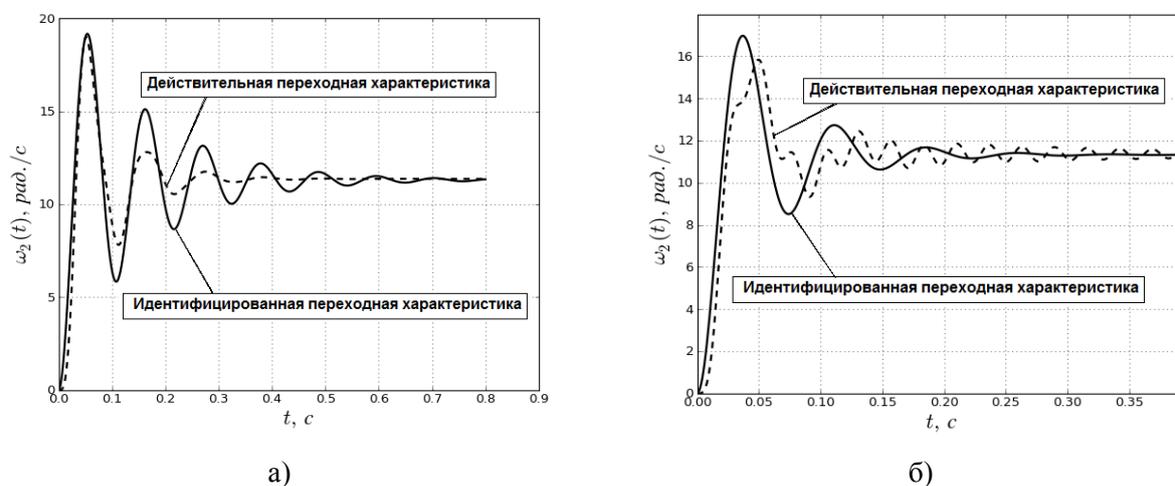


Рис. 2. Графики истинных и идентифицированных значений параметров J_2 и c в зависимости от номера эксперимента i : а) параметр J_2 ; б) параметр c

На рисунке 3 показаны графики, полученные в результате вычислительного эксперимента над исходной моделью (1) с заданными значениями параметров J_2 и c и моделью второго порядка (8) с идентифицированными значениями параметров J_2 и c .



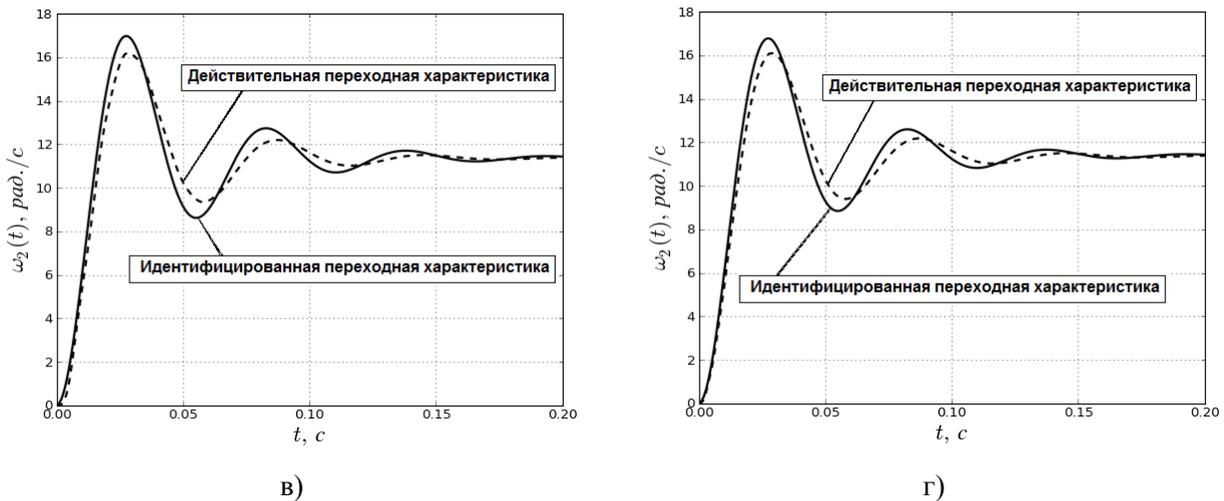


Рис. 3. Переходные характеристики исходной системы (1) и идентифицированной системы (8) для некоторых значений параметров системы J_2 и c :

- а) $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 50 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$; б) $J_2 = 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 250 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$;
 в) $J_2 = 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 50 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$; г) $J_2 = 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $c = 250 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$

Сравнительный анализ графиков переходных характеристик исходной системы (1) и идентифицированной системы по модели (8) (см. рисунок 3), показывает, что переходная характеристика идентифицированной системы (8) удовлетворяет качественным и количественным показателям в сравнении с переходной характеристикой исходной системы (1).

Вывод. В статье показано, что идентификация систем высоких порядков может быть выполнена моделями низких порядков, в частности второго и третьего порядка. Это позволяет найти решения для таких систем, идентификация которых моделями с порядком равным порядку идентифицируемой системы по каким-либо причинам невозможна. Это открывает дополнительные возможности при проектировании систем адаптивного управления, в составе которых может быть применен идентификатор объекта управления, реализующий регрессивные методы идентификации.

Список литературы

1. Гроп Д. Методы идентификации систем. М.: Мир, 1979. 304 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория автоматического управления. СПб.: «Профессия», 2003, 752 с.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 541 с.

О ПРЕПОДАВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Вельтищев В.В.

доцент кафедры «Подводные аппараты и роботы», канд. техн. наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Россия, г. Москва

Суфляева Н.Е.

доцент кафедры «Инженерная графика», канд. техн. наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Россия, г. Москва

В статье рассмотрены применяемые в настоящее время в практике производственного автоматизированного проектирования изделий два принципиально отличных друг от друга технологических метода: восходящего (Bottom-Up Design – «снизу – вверх») и нисходящего (Top Down Design – «сверху – вниз»), проектирования. Показаны преимущества технологии нисходящего проектирования над восходящим. Приведен пример нисходящего параметрического проектирования. Подчеркивается необходимость ознакомления студентов технических вузов в процессе их обучения с передовым опытом проектирования машиностроительных изделий.

Ключевые слова: восходящее проектирование, нисходящее проектирование, САД-системы, параметризация, деталь, сборка.

В условиях санкционной политики западных стран в отношении России задача повышения качества отечественного инженерного образования актуальна как никогда. За два последних десятилетия кардинальным образом изменился инструментарий конструкторов и проектировщиков, в практике которых произошел переход от работы в среде двумерной графики к использованию объёмных 3D-моделей в качестве основных объектов проектирования. Однако, учебная практика технических вузов существенным образом отстает от запросов производства. Назрела настоятельная необходимость уже в процессе обучения знакомить студентов с самыми современными технологиями производственного проектирования и конструирования [1, 2].

Как известно проектирование – это комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию нового изделия. В настоящее время в практике производственного проектирования изделий с использованием САПР применяются два принципиально отличных друг от друга технологических метода: восходящего (Bottom-Up Design – «снизу – вверх») и нисходящего (Top Down Design – «сверху – вниз») проектирования [4, 6].

Традиционный метод восходящего проектирования изделия заключается в разработке независимых друг от друга, электронных моделей отдельных деталей, из которых затем, как из составных частей, создаются под сборки, и уже на завершающем этапе создается сборочная конструкция изделия в целом. Конструктор разрабатывает детали отдельно друг от друга и независимо от сборки. Технология восходящего проектирования эффективна, если про-

ектируется агрегат с высокой степенью заимствования или же ведется оцифровка ранее созданного изделия. Недостатком этого метода проектирования является то, что модели деталей, созданные индивидуально, могут входить в сборку некорректно, не сопрягаясь или пересекаясь друг с другом (интерференция). Это требует корректировки модели каждой детали, входящей в сборку и увеличивает затраты времени на эти исправления. Другой недостаток этого метода проектирования состоит в отсутствии взаимосвязи параметров моделей деталей, что требует при изменении конструкции одной модели корректировать параметры всех остальных деталей, входящих в сборку, что является трудоемким и не эффективным процессом. Метод восходящего проектирования обычно применяется в учебном процессе при обучении студентов приемам моделирования.

Метод нисходящего проектирования предусматривает разработку начальной концептуальной модели и последующее поэтапное ее развитие в процессе проектирования в полноценную модель изделия. При нисходящем проектировании основная информация о геометрии изделия содержится в моделях каркаса мастер – геометрии, которую еще называют «компоновочным эскизом». Все компоненты изделия спроектированы с привязками к мастер-геометрии средствами параметризации. Проектирование изделия ведется от «корневых» деталей с сохранением ассоциативной связи. Построения выполняются по принципу четкой иерархии и последовательности взаимного положения: все объекты «цепляются» друг за друга, кривые соединяются с кривыми, твердые тела опираются на предыдущие тела, задаются расстояния, углы поворота, рабочие плоскости. Все размеры являются переменными значениями и зависят от предыдущих значений. Параметризация (процесс трехмерного параметрического моделирования) позволяет, изменяя геометрические соотношения или значения параметров, быстро анализировать конструктивные решения и выбирать из них оптимальные. На базе одного каркаса может быть проработано несколько вариантов комплектации изделия.

Также в любой момент работы можно менять какой-либо параметр эскиза или базового тела и выполнять полную реконструкцию модели готового изделия, что является ключевым преимуществом нисходящего проектирования над восходящим [3].

Методология нисходящего проектирования в последние годы стала использоваться для разработки новых изделий не только за рубежом, но и на передовых отечественных предприятиях, таких как ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс», ОАО «ГРЦ Макеева» и др. [4, 6].

Рассмотрим принцип нисходящего проектирования на примере создания модели роторно-винтового насоса. Насос состоит из следующих деталей: трехлопастных ротора и винта, двух зубчатых колес (шестерен), шкива, двух втулок, корпуса, крышки, а также стандартных изделий – подшипников скольжения и шпонок. Зацепляющиеся трехлопастные ротор и винт, плотно посажены в расточки корпуса. Синхронизация вращения ротора и винта осуществляется парой шестерен [5]. Нисходящее проектирование насоса ведется от двух «корневых» деталей: ротора и винта. Проектирование сборки начи-

нается с задания взаимного расположения деталей относительно друг друга и определения их пространственной связи. При этом накладываются геометрические зависимости, например, для соосных поверхностей – концентричности, для плоскостей – совпадения, параллельности, перпендикулярности и проч. Наложённые связи позволяют автоматически перестраивать всю сборку при изменении параметров. Для проектирования ротора и винта мастер-геометрия включает 2D-профиль и 3D винтовую спираль. Создание моделей ротора и винта начинается с расчета 2D-профиля по заданным параметрам числа зубьев шестерен z , величине модуля m и межосевому расстоянию $A = z * m$. 2D-модель зацепления ротора и винта показана на рис. 1.

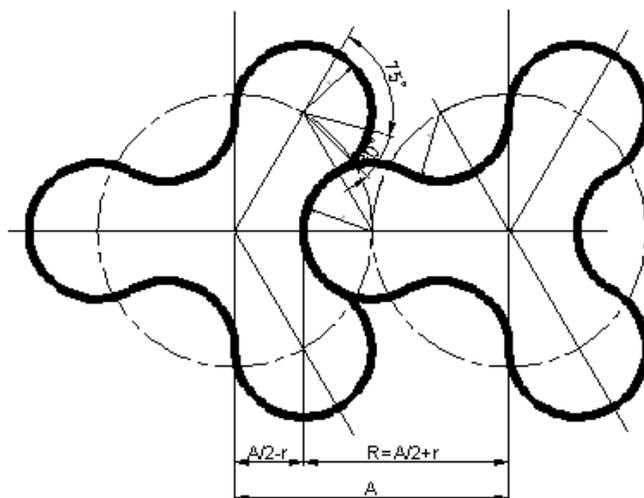


Рис. 1. Профилирование трехлопастных ротора и винта с циклоидально-окружными профилями

В данной сборке все размеры и взаимное расположение деталей определяется межосевым расстоянием ротора и винта A . Затем строится винтовая спираль, являющаяся направляющей траекторией для плоского профиля, и моделируются ротор и винт с правой и левой нарезкой, соответственно. Далее выполняется расчет зубчатой передачи, создаются модели зубчатых колес и остальных деталей, входящих в состав винтового насоса с заданными зависимостями от параметра A , из которых создается окончательная сборка насоса (рис. 2).

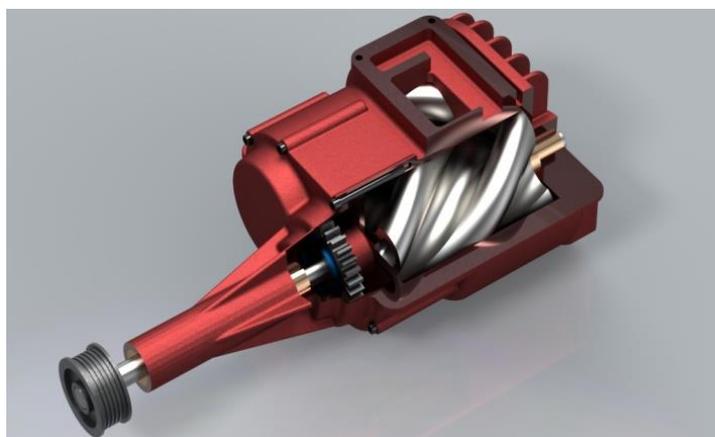


Рис. 2. Модель роторно-винтового насоса

Метод нисходящего параметрического проектирования является наиболее эффективным современным методом разработки новых изделий, которому необходимо обучать студентов технических вузов. Нисходящее проектирование позволяет в 2 – 4 раза сократить сроки выполнения проекта и таким образом существенно снизить его стоимость [4].

Список литературы

1. Вельтищев В.В. 3D-олимпиады и компьютерное проектирование в программах технических университетов // Геометрия и графика. 2015. № 2. С. 52-59.
2. Волошинов Д.В. Перспективы развития геометрии и ее инструментария // Геометрия и графика. 2014. № 1. С. 30-41.
3. Гаршин О., Московченко А., Преимущества нисходящего проектирования на примере использования PRO/ENGINEER WILDFIRE // САПР и графика. 2004. № 11. С. 4.
4. Комарова Л.А., Филатов А.Н. Применение технологии нисходящего проектирования, основанной на решениях WINDCHILL PDMLINK и САПР PRO/ENGINEER, для разработки изделий ракетно-космической техники // Авиационно-космическое машиностроение. 2011. С. 297-303.
5. Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е. Расчет и конструирование центробежных насосов. Сумы: СумГУ, 2009. 220 с.
6. Филатов А.Н., Стерликов К.В., Микушкина С.М. Автоматизация проектирования // Рациональное управление предприятием. 2013. № 2. С. 46-50.

КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ ЖЕЛАТИНЫ В ВОДНОЙ СРЕДЕ ПРИ СОНОХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Евтушенко А.М.

профессор кафедры технологии продуктов питания, д.х.н., доцент,
Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского (ПКУ), Россия, г. Москва

Колкин А.В.

аспирант кафедры технологии продуктов питания,
Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского (ПКУ), Россия, г. Москва

Алексеев Н.С.

магистрант кафедры технологии продуктов питания,
Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского (ПКУ), Россия, г. Москва

Крашенинникова И.Г.

профессор кафедры технологии продуктов питания, д.т.н., доцент,
Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского (ПКУ), Россия, г. Москва

В статье определены параметры набухания, характеризующие сродство желатины к воде, в момент сонохимической обработки. Показано, что набухание при сонохимической обработке идет с большей скоростью и до более высоких степеней.

Ключевые слова: сонохимия, сонохимическая обработка, степень набухания, константа набухания.

В пищевой промышленности вода играет важную роль, поскольку обладает уникальными свойствами образовывать за счет водородных связей собственную межмолекулярную структуру. Помимо этого, вода взаимодействует с полярными функциональными группами, которые находятся в продуктах питания, группируется около этих групп, становясь частью продукта. Поэтому направленное изменение энергетического состояния используемой в пищевой промышленности воды в этом случае приобретает огромное значение.

Аномальные свойства воды связаны с ее способностью структурироваться. Нагрев изменяет соотношение связанной и свободной воды в сторону увеличения последней. Сонохимические превращения (кавитация) также может осуществить переход от связанной воды к свободной за счет разрушения водородных связей. Сонохимия изучает процессы, происходящие при трансформации энергии упругих колебаний ультразвуковой частоты в жидких пищевых средах.

Смешение сонохимически обработанной воды с пищевым объектом приводит к повышению влагоудерживающих свойств последнего за счет диполь-дипольных и ион-дипольных взаимодействий с молекулами дезинтегрированной воды [1, 3].

Так как пищевые продукты имеют сложный химический состав, который включает наличие белковых макромолекул, полисахаридов, липидов, содержащих полярные группы, витаминов, макро и микронутриентов и т.д., рассмотрение влияния сонохимически обработанной воды на отдельные компоненты пищевых продуктов является актуальным.

Значительный интерес представляет взаимодействие молекул белка с сонохимически обработанной водой.

В этой связи цель работы заключалась в определении параметров набухания, характеризующих сродство биополимера к воде, в момент сонохимической обработки. Определялась кинетика набухания (максимальная степень набухания, константа набухания) пластинок желатины в процессе сонохимической обработки и без нее (контроль).

Сонохимическая обработка осуществлялась высокоэффективным резонансным излучателем ультразвука погружного типа на частотах 22-48 кГц, объем воды 400 мл., температура $25 \div 27$, °С.

Воду, соответствующую требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода», предварительно анализируемую по ГОСТ Р 51592-2000 и ГОСТ Р 51593-2000, определение вкуса, запаха, цветности и мутности – по 3351-74 и ГОСТ Р 52769-2007, подвергали сонохимической обработке в течение 15 минут. Затем в отобранную пробу вводили пластинку желатины, и в течение 30-35 минут она набухала при продолжении сонохимической обработки. Контрольную пробу готовили по вышеизложенной методике, используя воду питьевую.

Степень набухания (α) определяли по изменению веса набухших образцов согласно методике [2].

Расчет степени набухания осуществлялся по следующей формуле:

$$\alpha_{\tau} = \frac{m_{\tau} - m_0}{m_0}, \quad (1)$$

где m_{τ} , m_0 – масса набухшего образца к моменту времени τ , масса образца в нулевой момент времени, α_{τ} – степень набухания.

Данные эксперимента кинетики набухания представлены на рисунках 1 и 2.

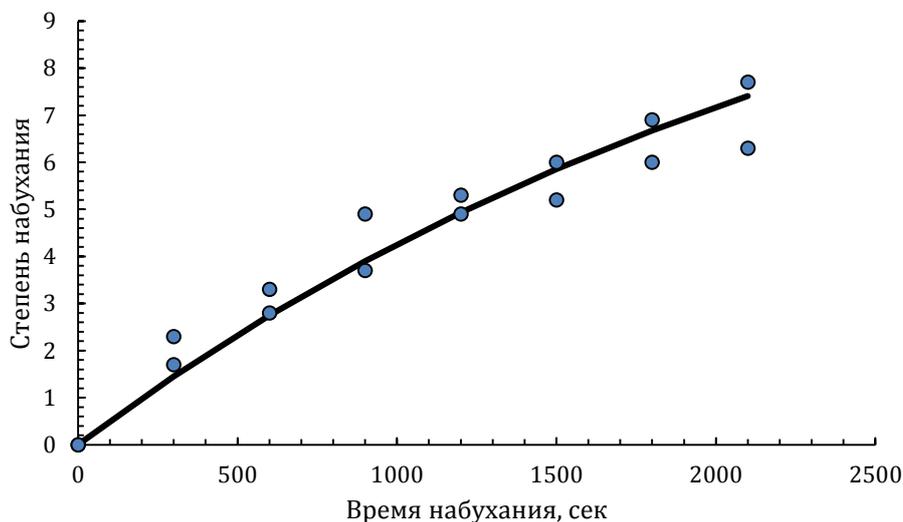


Рис. 1. Кинетика набухания желатины в воде контрольный образец

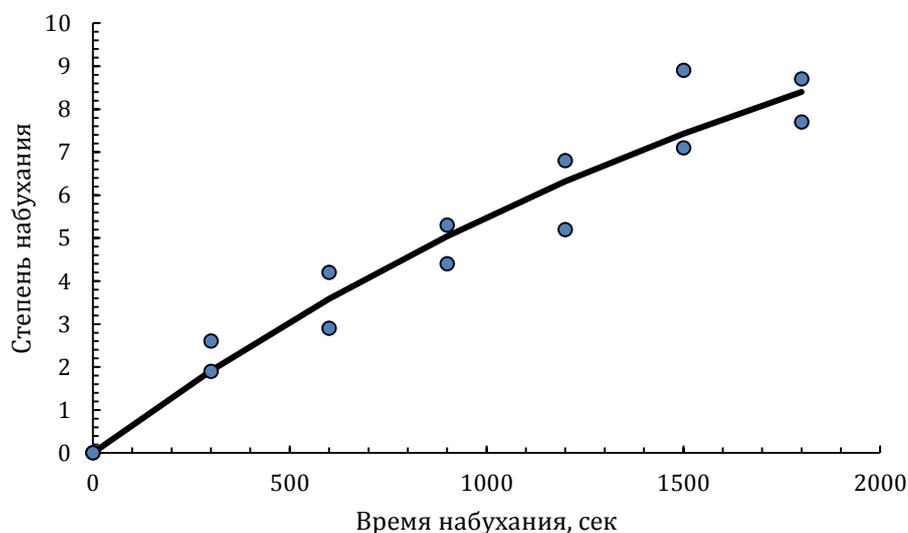


Рис. 2. Кинетика набухания желатины в воде при сонохимической обработке

Согласно [2] кинетика процесса набухания может быть представлена следующей формулой:

$$\alpha_{\tau} = \alpha_{\max} \cdot (1 - e^{-k \cdot \tau}), \quad (2)$$

где α_{\max} – максимальная степень набухания, k – константа набухания, сек^{-1} .

Методами нелинейного регрессионного анализа [4] из экспериментальных данных были определены константы процесса набухания желатины в контрольных и опытных условиях (таблица).

Значения констант набухания желатины

Условия набухания	контроль	опыт
Максимальная степень набухания	13,49	15,11
Константа набухания, $k \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$	3,80	4,51
R^2 величина аппроксимации	0,95	0,95

Из данных, представленных в таблице, видно, что набухание при сонохимической обработке идет с большей скоростью и до более высоких степеней набухания.

Такое изменение констант набухания возможно в случае формирования более объемных гидратных оболочек из молекул воды, подвергнутой сонохимической обработке, вокруг молекулы белка по отношению к контрольному образцу.

Список литературы

1. Дроздова Н.А., Евтушенко А.М., Крашенинникова И.Г., Красуля О.Н. Кинетика процесса изменения содержания влаги в мясных эмульсиях // *Мясная индустрия*. М., 2011. №12. С. 66-68.
2. Кириченко О.А. Практикум по коллоидной химии. Учебно методическое пособие. М.: Прометей, 2012. 110 с.
3. Колкин А.В., Крашенинникова И.Г., Евтушенко А.М., Красуля О.Н. Влияние сонохимически обработанной воды на реологические свойства водных растворов желатины // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире : материалы X Международной научно-практической конференции*. Санкт-Петербург. 2015. Т.1. С.4-8.
4. Ларсен, Рональд У. Инженерные расчеты в Excel. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. 544 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ПОДСИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО СКРЫТНОГО КЛАВИАТУРНОГО МОНИТОРИНГА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДМЕНЫ ЗАКОННОГО ОПЕРАТОРА

Казанцев И.С.

студент кафедры информатики и систем управления,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Россия, г. Москва

Кудряков С.Д.

начальник лаборатории, ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Москва

Шитиков А.С.

старший научный сотрудник, ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации,
Россия, г. Москва

В статье реализация механизмов скрытного мониторинга клавиатурного почерка оператора представляется совокупностью компонентов биометрической подсистемы, позволяющей обеспечивать защиту информационной структуры.

Ключевые слова: законный оператор, клавиатурный почерк, шаблон клавиатурного почерка, процесс скрытного клавиатурного мониторинга, биометрическая подсистема.

На основе проделанного анализа предлагается следующая архитектура биометрической подсистемы обнаружения подмены законного оператора (рисунок), обеспечивающая процесс получения шаблона почерка и сравнения почерков. Данная архитектура отражает логическую декомпозицию системы на подсистемы.

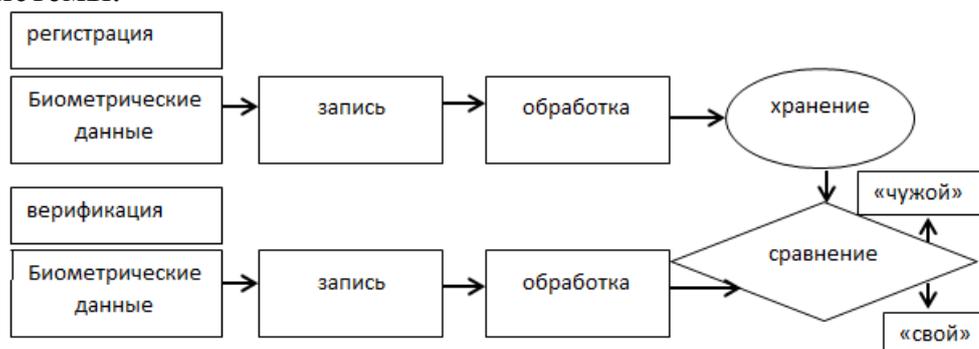


Рис. Упрощенная архитектура биометрической системы обнаружения подмены законного оператора

Как видно на рисунке, подсистема состоит из нескольких блоков:

1. Блок получения и записи клавиатурного почерка оператора. Отвечает за получение временных меток событий нажатия и отпускания клавиш, и отмечает, к какой клавише относятся эти события. Для получения времени возникновения событий используется таймер высокого разрешения, встраиваемый в современные ЭВМ. Данный блок содержит так же фильтр долгих нажатий на клавиши, являющимися выбросами для выборки времени удержаний клавиш.

Важным моментом является точность определения момента возникновения событий клавиатуры. Killourhy и Maxion [1] проводили эксперименты по исследованию влияния разрешения часов при анализе клавиатурного почерка. Они заметили, что коэффициент эффективности, увеличивается приблизительно на 4.2%, при использовании разрешения таймера 15 мс вместо разрешения таймера 1 мс. Системная погрешность вызывает проблемы, приводящие к погрешностям сбора времени. Следовательно, системы должны быть сделаны устойчивыми к погрешностям выборки времени.

2. Блок обработки выборки событий клавиатуры. Отвечает за вычисление усредненных значений времени удержания клавиш. В качестве усредненного значения выбрано математическое ожидание времени удержания клавиши.

3. Блок хранения клавиатурного почерка. Позволяет сохранить шаблонные значения клавиатурного почерка операторов в базу шаблонов.

4. Блок сравнения текущего клавиатурного почерка и шаблонного. Служит для сравнения почерков, которое основано на расчете Евклидова расстояния и принятия решения об аутентификации и идентификации оператора по результатам сравнения.

Для оценки точности распознавания оператора в разработанной подсистеме рассчитываются ошибки первого (FRR) и второго рода (FAR). FFR

(1.1) характеризует вероятность того, что законный оператор не будет узан подсистемой:

$$FFR = \frac{\text{Количество ложных отказов}}{\text{Общее количество попыток доступа}} \quad (1.1)$$

FAR (1.2) характеризует вероятность того, что оператор, который не зарегистрирован в системе, будет признан как законный:

$$FAR = \frac{\text{Количество ложных приемов}}{\text{Общее количество попыток доступа}} \quad (1.2)$$

Процесс постоянного скрытного клавиатурного мониторинга требует динамического поступления и обновления данных о клавиатурном почерке. Для этого предложено при возникновении события клавиатуры добавлять в выборку полученное новое значение времени удержания клавиши и удалять первое событие, хранившееся в выборке. Затем, на основе измененной выборки снова происходит сравнение клавиатурных почерков, что позволяет оперативно отреагировать на изменения клавиатурного почерка, например, в случае, если злоумышленник получил доступ к системе.

Проведено исследование известных систем контроля и управления доступом, основанных на аутентификации и идентификации оператора по клавиатурному почерку. Программное обеспечение, выпускаемое компаниями AdmitOneSecurity Inc. (Вашингтон) и Authenware Corp. (Флорида), BioChec (Нью-Йорк) включает в себя алгоритмы аутентификации по клавиатурному почерку клавиатурному почерку, в качестве характеристики почерка используется время между нажатиями клавиш. Почерк распознается во время ввода оператором пароля к системе. Биометрические системы Behaviometric (BehavioSec, Швеция), TypeSense (Deepnet Security, Лондон), DSGateway™ (Delfigo Security, Бостон), KeystrokeID (ID Control, Нидерланды), Trustable Passwords (iMagicSoftware, Калифорния), основаны на решении дополнить парольную авторизацию распознаванием клавиатурного почерка.

Список литературы

1. K. Killourhy, The Effect of Clock Resolution on Keystroke Dynamics. / K. Killourhy, R. Maxion // In R. Lippmann, E. Kirda, and A. Trachtenberg, editors, Recent Advances in Intrusion Detection, – volume 5230 of Lecture Notes in Computer Science, 2008- pp.331-350.

СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И АУТЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К ИНФОРМАЦИИ

Казанцев И.С.

студент кафедры информатики и систем управления,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Россия, г. Москва

В статье способы идентификации и аутентификации оператора ключевой системы рассматриваются как система действий при выполнении мероприятий по информационной безопасности от несанкционированного доступа к защищаемым ресурсам. Достоверность идентификации и аутентификации является главной в процессе авторизации поль-

зователя ключевой системы. Применяемые методы защиты информации в ключевой системе позволяют повысить уровень её надёжность от атак злоумышленника.

Ключевые слова: система контроля и управления доступом, идентификация, защищённость ключевой системы, несанкционированный доступ, средства обеспечения защиты информации.

Одним из основных факторов, определяющих состояние защищённости той или иной системы информационной инфраструктуры, является эффективность функционирования подсистемы управления доступом и защиты информации. Защита секретной и ценной информации от несанкционированного доступа необходима для предотвращения существенного материального и нематериального ущерба. Главной задачей в проблеме защиты информации в системе от несанкционированного доступа является задача разграничения функциональных полномочий и доступа к информации. Данная задача направлена на предотвращение возможности злоумышленника считывать или модифицировать информацию, хранящуюся в ЭВМ. Действия по защите информации от несанкционированного доступа включают мероприятия по недопущению злоумышленника к системе, которое основано на средствах распознавания оператора, созданию специального обеспечения для защиты информации в системе, использованию специальных средств защиты информации от несанкционированного доступа [1].

Выявлены следующие основные средства обеспечения защиты информации от несанкционированного доступа [2]:

1. Законодательные, организационные и морально-этические средства. Проведенный анализ данных средств показал, что они обладают низкой надёжностью без поддержки физическими, техническими и программными средствами. Также выявлено, что они обладают высокой зависимостью от субъективных факторов, например, от общей организации работы на предприятии или в организации.

2. Физические и инженерно-технические средства. Выявленными недостатками являются высокая стоимость, необходимость регулярного контроля и проведения регламентированных работ, возможность подачи ложных тревог.

3. Аппаратные и программные средства. Выявленные преимущества: надёжность, независимость от субъективных факторов, способность к модификации и развитию, универсальность. Обнаружены следующие недостатки, проявляющиеся в различных видах данных средств: высокая стоимость, зависимость от типа ЭВМ, недостаточная гибкость.

Одним из направлений применения программно-аппаратных средств являются системы контроля и управления доступом. Для успешного функционирования системы контроля и управления доступом к системе необходимо сделать невозможным обход системы управления и разграничения доступа действиями, находящимися в рамках существующей модели защиты информации, а также гарантировать идентификацию оператора, осуществляющего доступ к информации.

Указанные задачи выполняются путём проведения процессов контроля и управления доступом в ключевой системе, применяемых к оператору. Идентификацию, т.е., с одной стороны, присвоение субъектам доступа индивидуальных идентификаторов (текстовых, числовых или специальных устройств), а, с другой стороны, распознавание субъектов по присвоенным им уникальным идентификаторам [3]. Аутентификацию, т.е., подтверждение подлинности идентификации субъекта с целью доказательства того, что субъект является именно тем, кем он представился [4].

Таким образом сделан вывод о том, что обеспечение информационной безопасности ключевой системы зависит от качества функционирования процессов аутентификации и идентификации операторов.

Обнаружено, что в современных системах процессы аутентификации и идентификации, доступа к информации, связаны в основном с процессом авторизации, т.е. предоставления авторизованному субъекту (оператору) законных прав на доступ к информации, обрабатываемой и хранящейся в системе. Выделены следующие методы авторизации операторов, применяемых в ключевых системах:

1. Парольные – по контрольной парольной фразе или сочетанию букв и символов.
2. Атрибутные – по уникальному предмету (магнитные карты, смарт – карты, USB – токены и т.д.).
3. Биометрические – по физиологическим параметрам человеческого тела или поведению человека.

Проведен анализ современной ситуации в области современных систем контроля и управления доступом. По данным компании IDC (International Data Corporation) системы управления идентификацией и доступом составляют 59% от общего рынка средств ИТ – безопасности [5]. Исследование, проведенное CSI/FBI Computer Crime and Security Survey в 2007 году выявило, что 51% компаний для авторизации операторов применяют парольные методы, 35% атрибутные методы и только 20% биометрические методы [6]. По данным социологического исследования компании Unisys 68% клиентов в мире предпочитают, чтобы банки, платежные системы, государственные органы для идентификации использовали биометрию вместо паролей и карт [7]. Компания AtSecurity в начале 2013 года провела опрос среди европейских ИТ-специалистов на предмет используемых ими технологий авторизации в банковской сфере [8]. Низкая популярность биометрических методов связана с высокой стоимостью и сложностью настройки биометрических систем защиты информации.

По итогам анализа приведенных выше фактов, сделан вывод о том, что наиболее распространены парольные и атрибутные системы контроля и управления доступом.

Список литературы

1. Ясенев В.Н., Информационная безопасность в экономических системах: Учебное пособие / Ясенев В.Н. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. – 253 с.

2. Варфоломеев А.А., Основы информационной безопасности: Учебное пособие / Варфоломеев А.А. – М.: РУДН, 2008. – 412 с.
3. Jain A.K., Biometrics: Personal Identification in Networked Society, chapter Introduction To Biometrics. / Jain A.K., Bolle R., Pankanti S.// Springer, 1 edition, January 1999-pp. 1-41.
4. Burr W.E., Electronic Authentication Guideline: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology / Burr W.E., Dodson D.F., Polk W.T.// Technical Report 800-63. – National Institute of Standards and Technology (NIST), 2006. – 121 p.
5. Шляхтина С., ИТ-безопасность: сегодня и завтра / Шляхтина С.– Компьютер-Пресс – М.: КомпьютерПресс, 2008. – №3. – С. 20-23.
6. 2007 COMPUTER CRIME AND SECURITY SURVEY [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://i.cmpnet.com/v2.gocsi.com/pdf/CSISurvey2007.pdf>, свободный – Яз. Англ.
7. Биометрические системы: новое слово в информационной безопасности бизнеса [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.biometrics.ru/news/biometricheskie_sistemi_novoe_slovo_v_informacionnoi_bezopasnosti_biznesa/.
8. Исследование: самые популярные системы аутентификации в Европе [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://bloggerator.ru/page/issledovanie-populjarnye-sistemy-autentifikacii-biometricheskaja-autentifikacija-indeed-id-statistika>.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕЙ КЫРГЫЗСТАНА

Камчыбеков Д.К.

первый заместитель председателя, д-р техн. наук,
Ассоциация горнопромышленников и геологов Кыргызской республики,
Кыргызстан, г. Бишкек

В статье рассмотрены основные результаты по переработке и комплексному использованию углей, которые предложены в качестве рекомендаций для угледобывающих компаний Кыргызстана.

Ключевые слова: уголь, комплексное использование, химические технологии, гидрогенизация.

Уголь как технологическое топливо используется в черной и цветной металлургии, химической промышленности и других отраслях народного хозяйства.

Основными потребителями углей для энергетических целей являются тепловые электростанции (ТЭС), для которых уголь в перспективе будет основным видом топлива, такие как промышленные котельные, коммунально-бытовой сектор, различные отрасли промышленности и сельского хозяйства.

Одним из методов переработки углей является их полукоксование. Крупным перспективным потребителем продуктов термического разложения бурых углей, в частности полукокса, может стать производство кокса. В этом случае полукокс какой-то мере может заменить дефицитные коксующиеся угли. Наибольшее количество кокса расходуется в металлургической промышленности в доменном производстве, при агломерации руд, на ферросплавных заводах и т.д.

В связи с ограниченными запасами нефти и газа перспективным направлением переработки углей является получение жидких (гидрогенизация) и газообразных (газификация) синтетических топлив и химических продуктов.

При газификации углей можно получать энергетические газы для сжигания на электростанциях, восстановительные газы для металлургических процессов и синтез-газы, на основе которых производятся жидкие и газообразные синтетические топлива (бензин, метан, водород, метанол и др.)

В разнообразные химические продукты. В настоящее время производство жидких продуктов из угля в промышленных масштабах осуществляется во многих странах мира: в Германии, ЮАР, США, России, Великобритании, Японии, Индии, Канаде и др.

В Китайской Народной Республике получила развитие переработка сланцев, в настоящее время там производится около 4 млн т смолы.

В связи с перспективным ростом потребности мирового хозяйства в моторном топливе и трудностями удовлетворения ее нефтью вновь возродился интерес к углю как к сырью для производства бензина, дизельного топлива и некоторых видов химической продукции.

Сортовое угольное топливо, наряду с выделением его на обогатительных фабриках, установках механизированной породовыборки и шахтных сортировках, производится из молодых бурых углей марки Бз, каменноугольной и антрацитовой мелочи методом брикетирования. Метод брикетирования распространен во многих странах Европы, Азии, Африки и Северной Америки. Объектами брикетирования служат главным образом слабоструктурные бурые угли и в меньшей степени – мелочь каменных углей.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что политика большинства стран с развитой угольной промышленностью направлена на то, чтобы планомерно обеспечивать состояние технической готовности к тому моменту, когда замена нефти газа углем станет объективно необходимой либо с экономических позиций, либо с точки зрения создания стратегической ситуации.

В настоящее время наиболее эффективно комплексное энерго-химико-технологическое использование топлива. Идея комплексного использования топлива не является механическим соединением энергетического и технологического методов. Здесь имеется в виду органическое объединение процессов энергетического использования потенциала топлива и использование ценных в химико-технологическом отношении органической и минеральной части топлив. Именно этим можно объяснить, что в последнее время выросло количество занимающихся этим вопросом организаций России, Китае, США, Германии, Англии, Японии, Чехословакии и других странах [1].

Следует также иметь в виду, что рассматриваемые технологические схемы имеют далеко не одинаковые возможности по решению поставленной задачи – максимального перехода органической части угля в жидкое топливо с целью крупномасштабного производства. Данному критерию наиболее полно отвечают технологические схемы, в основу которых положен метод гидрогенизации углей. В этом случае в жидкие продукты переходит около 90

% органической массы угля, что обеспечивает меньший его расход на производство 1 т бензина, дизельного топлива и сжиженных газов по сравнению с другими вариантами. Процесс гидрогенизации переработки углей имеет и более высокий термический КПД (таблица) [2].

Таблица

Показатели процессов переработки угля в жидкое топливо

Процесс	Продукция	Расход угля, т	КПД
Гидрогенизация угля	Бензин, дизельное топливо, газ	5,2	0,56
Полукоксование угля и гидрогенизация смолы	Бензин, дизельное топливо	19	0,85
Газификация и синтез по методу Фишера-Тропша	Бензин, дизельное топливо, газ	6,8	0,4
Глубокая переработка нефти	Моторное топливо, газ	1,2	0,85

Приведенные примеры подтверждают, что гидрогенизацию углей можно рассматривать как наиболее перспективный путь решения проблемы увеличения ресурсов жидкого топлива. На ее основе вполне можно организовать в рамках одного предприятия крупномасштабное производство, соизмеримое с мощностью нефтеперерабатывающих заводов со всеми вытекающими из этого положительными последствиями экономического характера.

Проблема увеличения ресурсов жидкого топлива в технологическом плане может иметь варианты решения, а потому критерием их оценки должны быть народнохозяйственные затраты на единицу вырабатываемого жидкого топлива. В связи с этим размер затрат будет определяться расходами на непосредственное производство жидкого топлива (строительство и эксплуатация заводов) и развитие смежных отраслей, обеспечивающих заводы оборотными фондами. При определении затрат по рассматриваемым вариантам, последние поставлены в равные условия по качеству получаемой продукции, реализации в них современных достижений науки и техники в области технологии и организации производства, а также по требованиям охраны окружающей среды от загрязнения отходами и вредными выбросами.

Стратегическими целями развития угольной промышленности Кыргызстана в перспективе является надежное обеспечение экономики и населения страны качественным твердым топливом и продуктами его переработки. Одним из направлений может быть использование углей для получения газа и жидкого топлива. В этом плане определенный интерес представляют результаты исследований, проведенных Институтом высоких температур РАН совместно с научными учреждениями Кыргызстана. К сожалению, до сих пор нет законченных рекомендаций по технологии получения газа и моторного топлива из бурого угля. Это объясняется тем, что исследования велись лишь в лабораторных условиях, и в основном во Фрунзенском политехническом институте [1].

По имеющимся расчетам, из углей Кавакского бассейна в перспективе также выгодно получать облагороженное твердое топливо в брикетах. Прорабатывается вопрос о строительстве брикетных фабрик на базе месторождений Кара-Кече и Мин-Куш с постепенным наращиванием их производственных мощностей по мере роста потребности народного хозяйства республики в твердом топливе. В перспективе также возможны газификация углей, получение моторного топлива и производство удобрений. В этом варианте будет реально довести мощность разрезов Кара-Кече и Мин-Куш до 3 млн т в год. Кроме того, на Кара-Кечинском месторождении вскрышные породы содержат около 118 млн т известняка, который может быть использован в качестве флюсовых материалов; имеются также каолиновые глины для фарфоровой промышленности.

В целом, промышленное освоение Кавакского угольного бассейна представляется крайне необходимым: во-первых, создается надежная топливная база для северной части республики; во-вторых, брикетированный уголь можно транспортировать на значительные расстояния.

В перспективе одним из районов добычи и переработки каменных углей должен стать Узгенский бассейн, запасы которого с учетом прогнозных геологических (коксуемых и энергетически высококалорийных углей) оцениваются почти в 1 млрд т.

Как показали специальные исследования Института химии и химической технологии НАН КР, узгенские угли отличаются малым содержанием серы (0,4-0,9 %), фосфора (0,02-0,06 %) и невысокой зольностью (5-10 %); характеризуются более высоким выходом смолы (7,4 %) и сырого бензола. Полученные из узгенских углей коксы могут быть использованы для литейных нужд, переработки руд цветных металлов, коксовый газ может служить сырьем для получения азотных удобрений, а также использоваться в энергетических целях.

Целесообразно изучить перспективность и экономическую целесообразность создания коксохимической промышленности на базе Узгенского каменноугольного бассейна. Это позволит освоить производство производства пластических масс, искусственных волокон, красителей, удобрений, ядохимикатов и другой продукции, необходимой для удовлетворения не только потребностей республики, но и соседних государств. Решение этой проблемы связано с определением геологических запасов и перспективных угленосных площадей, с проведением исследований по химико-технологической переработке углей, с разработкой оптимальной технологии добычи угля.

Группой ученых Кыргызской Республики разработан проект получения спецкокса из неспекающихся углей месторождения Кара-Кече. Спецкокс из Кара-Кечинских углей по реакционной способности превосходит в 7,5-9,5

раза, а по удельному электросопротивлению в 2-2,5 раза используемые в России коксовые доменные орешки.

Химико-технологические испытания свойств углей Кара-Кечинского месторождения были проведены во ВНИИПС (г. Ленинград) в 1958 г. и ИОХ АН Киргизской ССР (г. Фрунзе) в 1981 г. Лабораторные исследования углей этого же месторождения проводились в ИОХ АН Киргизской ССР Ш.С. Сарымсаковым в 1981 г. и дали положительные результаты. Такие же испытания проводились и АО “УГЛЕРОДПРОМ” (Москва) на производных спец-кокса, полученного из углей месторождения Кара-Кече в январе 2005 г.

Химико-технологические исследования угля пласта “Основной” месторождения Кара-Кече, проведенные во ВНИИПС в Ленинграде (1958 г.) в заводских условиях (пробы весом 10 т) показали, что при сжигании угля в количестве 500 т в газогенераторах, при парокислородном дутье, могут быть получены следующие продукты:

Газ (очищенный от углекислого газа) в количестве 600 тыс. м³. Из этого количества газа 400 тыс. м³ идет на получение 70 т искусственного жидкого топлива, а 200 тыс. м³ метана (получается как побочный продукт) может использоваться в качестве бытового газа с теплотворной способностью 4700 больших калорий.

Подсмольная вода в количестве 300 м³ (выход ее из 1 т угля равен 0,6 м³). В 300 м³ подсмольной воды содержится: пирокатехина до 840 кг, фенолов до 400 кг, сульфата аммония до 400 кг, ацетона до 50 кг, уксусной кислоты до 500 кг.

По данным теплоэнергетической лаборатории Института ВЭ НАН КР выход продуктов термической переработки Кара-Кечинских углей при температуре 450-800 0С составляет: полукокса 67-85 %, жидких продуктов 3-12 % и газа 10-20 %.

Таким образом, приведенные примеры показывают, что основными путями кардинального повышения эффективности использования твердых топлив является, с одной стороны, создание новых способов и методов производства энергии и, с другой – комплексное использование топлива различными потребителями.

Список литературы

1. Джаманбаев А.С. Угли Киргизии – основа производства синтетического топлива. Проблемы использования углей Киргизии / А.С. Джаманбаев // Сб. научных трудов. Фрунзе: ФПИ, 1987.
2. Крапчин И.П. Экономика переработки угля / И.П. Крапчин. М.: Недра, 1989. 216 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БАДЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Качаев Р.О.

студент кафедры «Строительство подземных сооружений и горных предприятий», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, г. Москва

Куликова Е.Ю.

профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и горных предприятий», д-р техн. наук, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, г. Москва

Уборка (погрузка) породы является наиболее трудоемкой операцией проходки шахтного ствола и оснащения подъема. В проходческом цикле, уровень механизации при строительстве горнодобывающих предприятий составляет около 90%.

Ключевые слова: подземное строительство, вертикальные горные выработки, проходческий цикл, уборка (погрузка) породы.

В процесс уборки породы входят операции по погрузке ее в бадьи и выдача бадей на поверхность. Состав работ по уборке включает в себя: осмотр забоя и приведение его в безопасное состояние, спуск и подготовка к работе погрузчика, собственно погрузка породы в 1-й и 2-й фазах, разборка, разбивка крупных кусков породы, зачистка забоя, подача сигналов, приемка и направление бадей, обслуживание забойного насоса и заключительные операции. В 1-й фазе погрузка породы производится грейфером в проходческую бадью без применения ручного труда. В этой фазе производительность погрузки максимальна. Во второй фазе погрузка производится с применением ручного труда – подкидка породы, зачистка забоя и подготовка его к бурению шпуров. Объем погруженной породы во 2-й фазе составляет примерно 10-13% всего объема погруженной породы, а время 30-35% от общего времени погрузки. В первой фазе интенсивность погрузки породы зависит в основном от типа погрузочной машины время погрузочная машина и подъем полностью не загружены и работают со значительными простоями.

Средняя производительность труда проходчиков во второй фазе составляет в породах с $f = 4-6$ 1,5-2 м³/ч, в породах с $f = 7-9$ 1-1,5 м³/ч, что в 8-10 раз меньше производительности труда при погрузке породы в первой фазе.

Для повышения производительности труда при погрузке породы второй фазы применяют пневмомонитор – металлический патрубок диаметром 50 мм с пробковым краном и шлангом для подачи сжатого воздуха, имеющий сопло на конце. Пневмомонитором отделяется от массива отслаивающаяся порода и собирается в кучу мелкая порода. Применение пневмомонитора повышает производительность труда.

Производительность погрузки породы

$$P_n = \frac{V \cdot K_p}{T_n}, \quad (1)$$

где: T_n – время погрузки всей взорванной породы в первой $T_{I\phi}$ и второй $T_{II\phi}$ фазах погрузки (без подготовительно-заключительных работ)

$$T_n = T_{I\phi} + T_{II\phi}. \quad (2)$$

Время погрузки породы в первой фазе $T_{I\phi}$

$$T_{I\phi} = \varphi(t_m + t_T), \quad (3)$$

где: t_m – время работы машины по погрузке породы в бадью;

t_T – технологические простои машины, связанные с маневрами бады в забое;

φ – коэффициент, учитывающий неравномерность работы, регламентированный отдых, простои по организационным причинам и т. д., равный 1,15-1,2.

$$t_m = \frac{\alpha V K_p}{P_m K_0 K_n}; \quad t_T = \frac{\alpha V K_p t_n}{V_{\phi} K_3}, \quad (4)$$

где: α – доля породы в первой фазе;

V – объем взорванной породы, м³;

K_p – коэффициент разрыхления породы;

P_T – техническая производительность машины, м³/ч;

K_0 – коэффициент одновременности работы машин, равный 1 при $n = 1$ и 0,75–0,8 при $n = 2$;

K_n – коэффициент, учитывающий просыпание породы при разгрузке грейфера в бадью.

$$K_n = \left(\frac{d_{\phi}}{0,8d_2} \right)^2, \quad (5)$$

где: d_{ϕ} – диаметр бады, м;

d_2 – диаметр грейфера с раскрытыми лопастями;

V_{ϕ} – вместимость бады, м³;

K_3 – коэффициент заполнения бады, равный 0,9-0,95, причем большее значение принимается для бадей большой вместимости;

t_n – время простоя погрузочной машины по причине маневров бады в забое.

Как видно из формулы (4), время погрузки и, следовательно, производительность погрузки зависит от коэффициента просыпания пород K_n , который, в свою очередь определяется отношением диаметра бады к диаметру раскрытых лопастей грейфера. При $d_{\delta} \rightarrow d_z, K_n \rightarrow 1$ и t_m будет уменьшаться.

Мною предлагается специальная конструкция, позволяющая при погрузке увеличить диаметр загрузки бады.

Конструкция представляет из себя жестко закреплённый обод на устье бады, форма которого создана под типовое сечение, на который установлен подвижный борт радиусом 0.20м, находящийся в двух фазах: в активной и пассивной.

В активном состоянии борт находится под углом в 10 градусов, что исключает возможные потери горной массы при погрузке грейферными грузчиками за проектный диаметр бады, существенно увеличивая коэффициент просыпания породы, а в пассивном, обод находится под углом в 340 градусов и не участвует в фазе погрузки/разгрузки.

Коэффициент просыпания рассчитывается по следующей формуле :

$$K_n = \left(\frac{d_{\delta}}{0,8d_z} \right)^2 = \left(\frac{0.5 + 2.05}{0.8 \cdot 2.9} \right)^2 = 1.11 \quad (5)$$

Для расчёта параметров погрузки породы первой фазы, воспользуемся тем фактом, что при использовании конструкции, полностью исключается факт просыпания горной массы и незначительно снижается объём породы второй фазы. Продолжительность механической погрузки будет уменьшена, но при этом, простои по организационным вопросам будут увеличены, за счёт монтажа/демонтажа съёмного обода и перевода его в активное/пассивное состояние .

Расчёт времени погрузки породы в первой фазе :

$$t_m = \frac{\alpha V K_p}{P_m K_0 K_n} = \frac{0.9 \cdot 225 \cdot 2}{190 \cdot 0.8 \cdot 1.11} = 2.4, \text{ ч.} \quad (4)$$

$$t_T = \frac{\alpha V K_p t_n}{V_{\delta} K_3} = \frac{0.9 \cdot 225 \cdot 2 \cdot 0.018}{5 \cdot 0.95} = 1.53, \text{ ч.} \quad (4)$$

$$T_{I\phi} = \varphi(t_m + t_T), = 1.36 \cdot (2.4 + 1.53) = 1.36 \cdot 3.93 = 5.34, \text{ ч.} \quad (2)$$

Добившись рационализации процесса погрузки грейферными грузчиками, производительность погрузки породы первой фазы будет увеличена за счёт геометрических характеристик конструкции на устье бады, функционал которой направлен на увеличение исходного диаметра типовых бадей для оптимизации процесса при разработке вертикальных стволов .

$$P_n = \frac{V \cdot K_p}{T_{\text{Иф}}} = \frac{225 \cdot 2}{5.34} = 75.84, \text{ мЗ} \quad (1)$$

Таким образом, доказано, что применение данного технического приспособления значительно повысит общую производительность погрузки породы, что значительно сократит общее время на проходку ствола, позволит повысить производительность труда проходчиков и общую эффективность горно-строительных работ.

Список литературы

1. Инженерные задачи по дисциплине «Шахтное и подземное строительство». Раздел 1. Строительство вертикальных выработок. М.: МГГУ, 2008. – 324с.
2. Методические указания Корчак А.В., Томилин А.В. Раздел 1. Строительство вертикальных выработок. – М.: МГГУ, 2014. – 37 с.
3. Справочник инженера-шахтостроителя. В 2-х томах. Том 1. Под общей ред. В.В. Белого. М.: Недра, 1983. 439 с.
4. Шахтное и подземное строительство: Учеб. для вузов. – 3-е изд., М.: МГГУ, 2003. – Т.1. – 732 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИЕТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ «РАПАМИД» И ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ВНЕСЕНИЕМ ЭТОЙ ДОБАВКИ НА СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИНКОРПАРИРОВАННОГО РАДИОЦЕЗИЯ У ПОДРОСТКОВ – ЖИТЕЛЕЙ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Киреева Е.И.

старший преподаватель кафедры пищевых технологий, товароведения и экспертизы товаров, Луганский государственный университет имени Тараса Шевченко, Луганская Народная Республика, г. Луганск

Своеволина Г.В.

доцент кафедры пищевых технологий, товароведения и экспертизы товаров, к.т.н., доцент, Луганский государственный университет имени Тараса Шевченко, Луганская Народная Республика, г. Луганск

В статье рассмотрены результаты комплексно-клинико-лабораторных исследований по оценке радиозащитных свойств диетической добавки «Рапамид», хлебобулочных изделий из цельного зерна пшеницы с добавлением гидролизата из моллюсков и изделий из смеси пшеничной и ржаной муки у подростков – жителей радиоактивно загрязненных территорий. Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что употребление в течение 20 сут диетической добавки «Рапамид» и хлебобулочных изделий с внесением этой добавки способствовало значительному снижению содержания инкорпорированного радиоцезия у подростков.

Ключевые слова: гидролизат «Рапамид», изделия из цельного зерна пшеницы, изделия из смеси пшеничной и ржаной муки, радиоцезий.

Питание является одним из важнейших факторов, определяющих здоровье населения, особенно детского. Правильное питание обеспечивает нормальный рост и развитие ребенка, способствует профилактике заболеваний и создает условия для адекватной адаптации к окружающей среде. У большинства населения Украины обнаруживаются нарушения питания, обусловленные недостаточным потреблением витаминов, минеральных веществ, полноценных белков и нерациональным их соотношением [1].

Особую актуальность эта проблема приобрела после аварии на Чернобыльской АЭС, которая в связи с глобальным характером воздействия на население и окружающую среду получила название «Чернобыльская катастрофа». В результате создалась беспрецедентная ситуация, когда сотни тысяч детей получили не только острое облучение, но остались жить в условиях длительного поступления в организм радионуклидов по пищевым цепочкам [2, с. 296].

Исследованиями многих авторов доказано, что одним из наиболее неблагоприятных последствий Чернобыльской аварии является ухудшение здоровья пострадавшего детского населения [3, с. 20; 4, с. 59]. Интегральным параметром, отражающим все эти неблагоприятные воздействия, является повышение показателей заболеваемости и распространенности заболеваний, по сути дела, по всем основным классам болезней [5, с. 56].

Патология органов пищеварения занимает одно из ведущих мест в структуре заболеваемости детей и подростков, наблюдается выраженная тенденция к ее ежегодному росту. За годы, прошедшие после аварии, уровень распространенности по классу заболеваний органов пищеварения вырос более чем в 10 раз [6, с. 43, 7, с. 174].

Радионуклиды, прежде всего ^{137}Cs , непосредственно влияют на слизистую оболочку пищеварительного тракта и паренхиматозных органов (печень, поджелудочная железа). Это может быть одной из ведущих причин устойчивого роста показателей заболеваемости желудочно-кишечного тракта. Деформация пищевых рационов и длительное поступление радионуклидов в организм может обусловить целый ряд неблагоприятных последствий и привести к ухудшению состояния здоровья детского и подросткового населения. Установлено, что заболевания органов пищеварения, как правило, протекают на фоне иммунной дезадаптации и повышения частоты анемических состояний [8, с. 14].

Поэтому ситуация, которая сложилась на сегодняшний день, вызывает необходимость поиска пищевых композиций и диетических добавок с радиозащитными свойствами, изготовленными на основе отечественного сырья. Это могут быть продукты флоры и фауны Черного моря.

В последние годы особое внимание уделяется гидролизатам из рапан и мидий, в которых содержится огромное количество биологически активных веществ, необходимых для правильного функционирования человеческого организма.

Исследования, проведенные учеными Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского, подтвердили оздоравливающее воздействие гид-

ролизата на организм человека при стрессах и физических перегрузках, а также повышение иммунитета и профилактику воспалительных заболеваний [8, с. 12].

Гидролизат обладает антиоксидантными, противоаллергенными и радиопротекторными свойствами, положительно влияет на состояние сердечно-сосудистой и кроветворной систем, способствует выведению из организма токсических элементов и радионуклидов. Он показан для повышения общей сопротивляемости организма в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней и внутренней среды, для профилактики заболеваний и улучшения работоспособности.

На базе детской клиники ГУ «ННЦРМ АМН Украины» (г. Киев) нами были проведены комплексно-клинико-лабораторные исследования для оценки радиозащитных свойств диетической добавки «Рапамид», хлебобулочных изделий из цельного зерна пшеницы с добавлением этой добавки и изделий из смеси пшеничной и ржаной муки у подростков – жителей радиоактивно загрязненных территорий.

Радиозащитные свойства этих продуктов изучали у 73 подростков 11-16 лет – постоянных жителей загрязненных радионуклидами территорий (Житомирской и Киевской областей). Исходный уровень радиоцезия в организме детей колебался от 666 до 4477 Бк. Подростки были разделены на четыре группы.

I основную группу составили 20 подростков, получавших диетическую добавку «Рапамид». «Рапамид» назначался по 5 мл дважды в день.

II основную группу составили 19 подростков, получавших хлебобулочные изделия из цельного зерна пшеницы с добавлением гидролизата из моллюсков. Подростки ежедневно, три раза в сутки, получали по 50-60 г этих изделий.

III основную группу составили 16 подростков, получавших ежедневно, три раза в сутки, по 50-60 г булочки из смеси пшеничной и ржаной муки с добавлением гидролизата из моллюсков.

IV контрольную группу составили 18 подростков, получавших обычный рацион питания. Эти дети также жили на радиоактивно загрязненных территориях. Содержание ¹³⁷Cs в их организме колебалось от 888 до 3404 Бк.

Продолжительность курса применения составляла 20 суток. Исследования проводились при поступлении подростков в клинику и на 20 сутки. Всем подросткам как основной, так и контрольной групп было проведено радиометрическое обследование. Исследования проводились в соответствии с принципами минимального риска. Использовали материалы, взятые для установления диагноза.

Данные радиометрических исследований содержания радиоцезия в организме подростков, полученные в процессе применения диетической добавки «Рапамид» и хлебобулочных изделий с внесением этой добавки, приведены в таблице.

Динамика содержания цезия-137 в организме подростков в процессе применения диетической добавки «Рапамид» и хлебобулочных изделий с внесением этой добавки

Группы	Содержание цезия-137 в теле, Бк		Р	% снижения
	в начале исследований	в конце исследований		
I основная	1705,7 ± 234,7	1126,6 ± 147,4	< 0,05	33,9
II основная	1620,6 ± 197,4	1165,5 ± 137,9	< 0,05	28,1
III основная	1692,8 ± 210,2	1190,9 ± 171,3	< 0,05	29,6
контрольная	1577,9 ± 176,4	1227,3 ± 149,8	> 0,05	22,2

Как видно из таблицы, в начале испытаний диетической добавки «Рапамид» содержание радиоцезия в организме подростков I основной группы составляло $1705,7 \pm 234,7$ Бк, у подростков II основной группы – $1620,6 \pm 197,4$ Бк, у подростков III основной группы $1692,8 \pm 210,2$ Бк, у подростков контрольной группы – $1577,9 \pm 176,4$ Бк. То есть подростки основных и контрольной групп по содержанию ^{137}Cs в организме не имели достоверных различий.

Повторные радиометрические исследования на 20 суток показали, что уровень ^{137}Cs уменьшился в I группе с $1705,7 \pm 234,7$ Бк до $1126,6 \pm 147,4$ Бк ($p < 0,05$), во II группе – с $1620,6 \pm 197,4$ Бк до $1165,5 \pm 137,9$ Бк ($p < 0,05$), в III группе – с $1692,8 \pm 210,2$ Бк до $1190,9 \pm 171,3$ Бк ($p < 0,05$), то есть на 33,9 %, 28,1 %, 29,6 % соответственно, а у подростков контрольной группы, которые находились на обычном рационе питания, содержание радиоцезия в организме уменьшилось только на 22,2 % (с $1577,9 \pm 176,4$ Бк до $1227,3 \pm 149,8$ Бк).

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что употребление в течение 20 суток диетической добавки «Рапамид» и хлебобулочных изделий с внесением этой добавки способствовало более значительному снижению содержания инкорпорированного радиоцезия в организме подростков, постоянно живущих на загрязненных радионуклидами территориях.

Список литературы

1. Вплив харчування на здоров'я дитини <http://ua.textreferat.com/referat-15693-1.html>
2. Романенко А.Ю., Степанова Є.І. Стан здоров'я дітей, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (за даними 20-річних спостережень) // Журн. АМН України. – 2006. – Т.12, № 2. – С. 296-3062.
3. Лук'янова О.М. Здоров'я дітей – наше майбутнє // Медичний всесвіт – 2001. – №1. – С. 20-23.
4. Степанова Є.І., Лапушенко О.В., Кондрашова В.Г., Колпаков І.Є. Наслідки Чорнобильської катастрофи для здоров'я дитячого населення України // Довкілля та здоров'я – 2004. – № 2. – С. 59-62.
5. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Національна доповідь України. – К: КИМ, 2011. – 356 с.
6. Динаміка показників захворюваності та поширеності хвороб органів травлення у дітей – мешканців радіоактивно забруднених територій за 20 років після Чорнобильської катастрофи / Є. І.Степанова [та ін.] // Збірник наукових праць "Проблеми радіаційної медицини та радіобіології". – Київ, 2006. – С. 43-56.

7. Стан здоров'я та особливості функціонування органів та систем у дітей, які постраждали внаслідок Чорнобильської аварії / Є.І.Степанова, І.Є.Колпаков, В.Г.Кондрашова та інш. // Двадцять років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє. Збірка тез міжнародної конф., Київ, 24-26-квітня 2006 р. – К., 2006. – С. 174-175.

8. Корзун В.Н. Ионизирующая радиация и питание детей // В. Н. Корзун, Е. И. Степанова, Л. В. Курило, В. Ф. Торбин / Монография. – Чернобыль интеринформ. – 1997. 121 с.

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ АЛЛОКАЦИЙ ОБЪЕКТОВ С КОНТЕКСТОМ В ПРОГРАММАХ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ JAVA

Лазеба М.А.

магистрант 2 курса, кафедра компьютерных технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Россия, г. Санкт-Петербург

В статье рассматривается проблема эффективного профилирования потребления памяти в программах на java платформе. Представлен профилировщик AProf, специально для профилирования программ на продуктовых платформах без сильного влияния на производительность. Рассмотрены сильные и слабые стороны профилировщика и представлены планы по дальнейшему развитию инструмента.

Ключевые слова: профилирование, java, производительность.

Профилирование использования памяти java приложением чрезвычайно важно в сфере разработки программного обеспечения. Излишнее выделение новых объектов приводит к большому количеству мусора. Мусором называются объекты, на которые больше нет ссылок в исполняемом коде, то есть они становятся не достижимыми для исполняемого кода программы. В платформе java присутствуют встроенные механизмы сборки мусора [2]. Они позволяют не задумываться об освобождении памяти во время разработки программ, что сильно облегчает работу программиста. К сожалению, эти механизмы создают дополнительную нагрузку на систему, в случае излишней генерации мусора производительность всей системы может сильно упасть.

Для поиска причин чрезмерной генерации мусора в программе и необходимо профилирование программы на предмет создания новых объектов. Довольно легко получить информацию о всех созданных во время исполнения объектах, их количестве и типе. К сожалению, подобной информации обычно не достаточно. Рассмотрим пример, разработчики столкнулись с проблемой производительности из-за сборки мусора и собрали информацию об объектах в системе. Пусть получилось, что больше всего в системе создано массивов символов (char[]). Что это значит? Строки используются повсеместно в любом приложении, программисту мало знать, что было создано в системе, необходимо знать так же в каком методе произошло создание этих

объектов. Все стандартные профилировщики умеют собирать информацию о контексте вызовов и агрегировать информацию по методам [4].

Однако теперь на передний план выходит другая проблема, все стандартные профилировщики сильно замедляют систему, так как собирают слишком много информации. Взятие стектрейса и его анализ слишком дорогая операция чтобы выполнять ее при каждом создании нового объекта. Этот факт является проблемой, так как часто необходимо проанализировать проблему на боевой нагруженной платформе заказчика и сильные просадки производительности недопустимы.

Профилировщик AProf [3] был создан специально для решения такой задачи. Он следит только за небольшим множеством заранее заданных методов и собирает информацию о созданных объектах в под-вызовах этих методов. Он специально спроектирован таким образом, чтобы оказывать минимальное влияние на производительность и не генерировать мусор при работе самому. Таким образом его можно использовать постоянно на продуктовых системах как средство мониторинга и получать необходимую информацию.

Рассмотрим подробнее принцип работы AProf. Профилировщик подключается к приложению при запуске как java agent:

```
java -javaagent:aprof.jar <your-application-options>
```

Он анализирует все загружаемые во время работы классы и инструментует их. Во-первых, инструментуются места вызовов методов из списка слежения. Добавляется код, который сохраняет в локальную переменную потока точку вызова tracked метода. Далее в самом tracked методе таким же образом сохраняется информация о вызванном методе. Важно, что запоминается только первое вхождение в контекст, хотя код проверок, конечно, исполняется при всех вызовах tracked методов. Помимо этого, инструментуются места создания нового объекта, добавляются инструкции, которые распознают тип и размер создаваемого объекта, берут сохраненные точки контекста и увеличивают соответствующие им счетчики. Показания счетчиков периодически снимаются из другого потока, агрегируются и выводятся требуемым образом. Если во время исполнения встречается инструкция создания нового объекта, а контекст не известен, то это создание объекта приписывается специальному узлу unknown. Эта ситуация возможна, если на стеке вызовов нет метода из списка. С этой ситуацией необходимо бороться, добавляя новые методы в список слежения.

Вредной работой является повторное прохождение tracked методов при уже известном контексте, так как добавленные инструментацией кода инструкции выполняются, но не добавляют информации. Таким образом имеется следующий trade-off: с одной стороны, необходимо добавлять больше методов чтобы избежать unknown контекстов, с другой излишнее добавление методов негативно сказывается на производительности.

Покажем с помощью микробенчмарка влияние количества tracked методов в стеке вызовов на производительность. Результаты показаны в таблице.

Таблица

Tracked	Untracked	Time
0	1	0.020 ± 0.003 us/op
1	0	0.054 ± 0.004 us/op
0	10	0.034 ± 0.005 us/op
5	5	0.108 ± 0.029 us/op
10	0	0.157 ± 0.011 us/op

Тестирование проводилось на основе `jmh` [1]. Тестируемый код – несколько рекурсивных вызовов `tracked` метода, затем несколько рекурсивных вызовов не `tracked` метода, создание объекта. Первые две строчки сравнивают время работы в случае одного `tracked` и `untracked` метода. Видно, что пометка `tracked` добавляет 25 наносекунд к времени исполнения кода. При увеличении стека ситуация немного сглаживается, однако все равно ясно видно, что чем больше `tracked` методов на стеке тем медленнее исполняется код.

Конечно, по этим результатам нельзя судить о степени влияния профайлера на настоящее приложение, так как код в нем будет гораздо сильнее разбавлен полезной логикой. Тем не менее результаты доказывают, что лишние методы в `tracked` списке вредны для производительности и необходимо от них по возможности избавляться.

Дальнейшая работа

Основной проблемой профайлировщика `AProf` является необходимость задавать список методов для слежения. Собирать список вручную требует больших трудозатрат. В данный момент ведутся работы по автоматизации получения списка из скомпилированного байткода библиотеки методами статического анализа. Другим перспективным направлением представляется автоматическая адаптация списка слежения при мониторинге в зависимости от полученной статистики. Например, если какой-то из методов никогда не имеет под собой выделений объектов, то можно перестать за ним следить. И наоборот, при наличии большого числа аллокаций при неизвестном контексте можно попытаться выяснить контекст из стектрейса и начать следить за найденным методом.

Список литературы

1. Code Tools: `jmh` [Электронный ресурс] <http://openjdk.java.net/projects/code-tools/jmh/>
2. T. Lindholm, F. Yellin, G. Bracha, and A. Buckley, “The Java virtual machine specification,” 2014.
3. D. Parashenko, R. Elizarov, “About `AProf`” [Электронный ресурс] <https://code.devexperts.com/display/AProf/About+Aprof>
4. A. Sarimbekov, A. Sewe, W. Binder, P. Moret, and M. Mezini, “JP2: Call-site aware calling context profiling for the Java Virtual Machine,” *Science of Computer Programming*, vol. 79, pp. 146–157, Jan. 2014.

2D- И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Латинов О.О., Бурдуковский Н.П., Старичихин М.Г., Графова Н.С.
магистранты по направлению прикладная информатика,
Технологический университет, Россия, г. Королев

В статье рассмотрены вопросы, связанные с кратким анализом 2d – и 3d – моделирования, а также проанализированы достоинства и недостатки.

Ключевые слова: 2d – и 3d – моделирование, преимущества и недостатки 2d – и 3d – моделирования.

Начнем с того, что в последнее время трехмерное моделирование становится все более популярным, уже давно оставив позади себя двухмерное моделирование. Главный недостаток двухмерного моделирования состоит в том, что по чертежам сложно представить, как они будут выглядеть в пространстве, особенно когда это какой-либо объект или оборудование, которое состоит из одного или множества элементов. Поэтому при таком моделировании приходится сопутствовать эти чертежи реальными образцами, в роли которых может выступать первоначальное оборудование или партия и в данном случае ошибки приходится исправлять уже на созданном оборудовании, что существенно замедляет время от появления идеи до выпуска готовой продукции и приводит к лишним затратам.

3D – моделирование подразумевает более серьезную программу, которая стоит дороже программ для двухмерного моделирования и требует больше компьютерных ресурсов, но зато имеет решение недостатков подчеркнутых в двумерном моделировании. К основным преимуществам можно отнести:

- Свойство ассоциативности;
- Моделирование оборудования до создания чертежей, либо опытных образцов;
- Объемная компьютерная модель;
- Сокращение объема ручной работы и числа ошибок.

Из этого списка стоит подчеркнуть свойство ассоциативности, так как это серьезное преимущество (например, если изменить размер одного цилиндра в двигателе, как соответствующим образом изменятся размеры связанных с ним элементов и при этом эти перемены будут отражены на чертежах и спецификациях).

Для наглядности на мы можем посмотреть основное отличие, которое состоит в том, что в трехмерном пространстве появляется еще одно направление: кроме ширины и высоты, объекты характеризуются еще и глубиной (рис. 1).

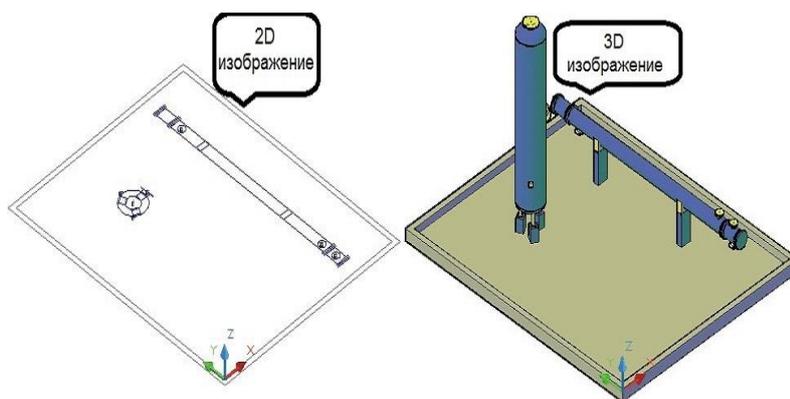


Рис. 1. Сравнение 2D и 3D

Дополнительное измерение также влияет на то, как мы смотрим на объект, который создаем. При работе в двумерном пространстве мы смотрим на плоскость чертежа под прямым углом, а работая в трехмерном пространстве, мы смотрим на объект под определенным углом; кроме того, объект может быть частично скрыт за другим объектом. Более того, при работе с трехмерной моделью можно изменять точку наблюдения; при этом нам предоставляется возможность создать несколько видовых экранов, что позволит оценить внешний вид с различных точек наблюдения.

Еще одно различие состоит в том, что в трехмерном пространстве объекты оказываются более компактными, поскольку нет необходимости в размещении нескольких вариантов объекта на одном листе, как это имеет место при работе с двухмерными чертежами. Однако трехмерные модели, особенно поверхностные, которые содержат линии сетки, оказываются достаточно сложными для восприятия.

Для управления трехмерными объектами нам потребуется больше слоев, чем при работе с двухмерным пространством; при этом мы будем изменять состояние слоев намного чаще. Для работы в трехмерном пространстве нам потребуются те же слои, что и для работы в двухмерном пространстве. Кроме того, придется воспользоваться несколькими дополнительными слоями, которые позволят избирательно изолировать части модели для упрощения просмотра и контроля над видимостью отдельных ее компонентов.

И наконец, проектирование объемных моделей требует других подходов, чем создание двухмерных чертежей. Работая в трехмерном пространстве, мы конструируем объект, а не просто рисуем его представления для различных видов экранов. В некоторых случаях трехмерное конструирование оказывается намного точнее, чем двухмерный чертеж. Нам необходимо быть предельно точными при обнаружении и размещении объектов. Подобная точность является действительно существенным преимуществом, поскольку заставляет намного точнее и аккуратнее работать.

Таким образом, несмотря на то, что мы еще не перечислили остальные достоинства трехмерной технологии над двухмерной, 2D можно сказать пока доминирует над 3D. По данным Aberdeen Group, даже на Западе 80% инженеров используют 2D-продукты. В нашей стране, судя по итогам недавнего опроса читателей PC Week/RE, ситуация почти аналогичная (рис. 2).

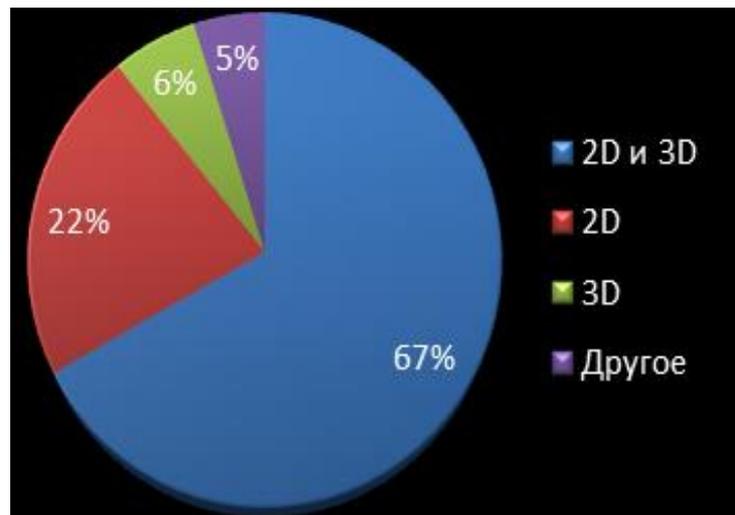


Рис. 2. Какие САПР применяются на вашем предприятии?

Исходя из этого, стоит подчеркнуть, что для решения множества задач совершенно достаточно двумерной системы, а также предприятия вынуждены выпускать 2D-чертежи из-за того, что стандарты на документацию еще не поменяны и легальным документом признается чертеж. К тому же не все смежники готовы принимать данные в виде 3D-моделей, а партнеры по созданию и поставщики составляющих также далеко не всякий раз способны работать с 3D. Можем также отметить пару причин, по которым предприятия не переходят на нынешние технологии проектирования, это: стоимость ПО, стоимость компьютеров и сложность освоения 3D-продуктов. Мы сделали приближенную оценку причин отказа от 3D (рис. 3).

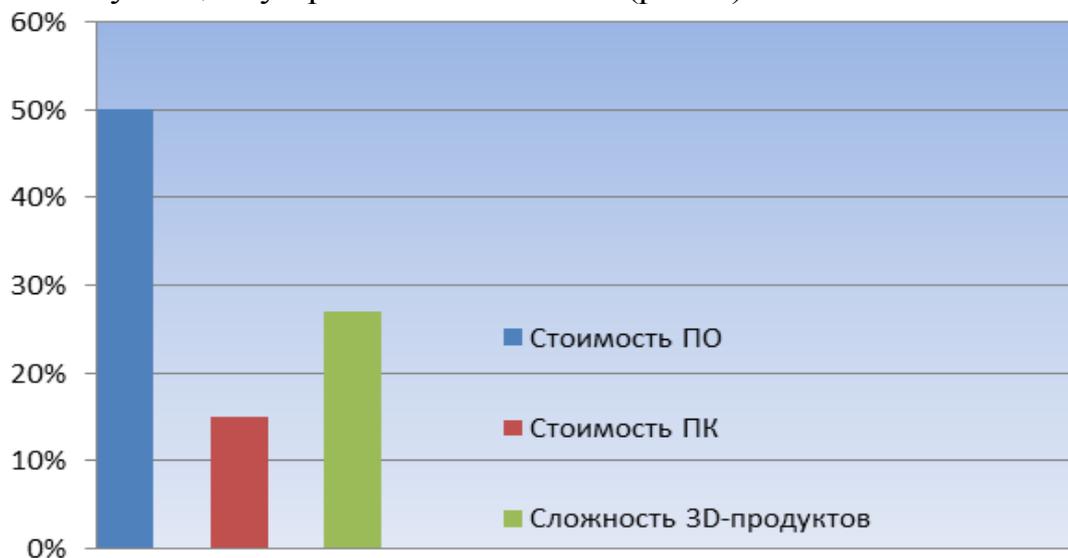


Рис. 3. Оценка отказа от 3D

Таким образом, были приведены различия, преимущества и недостатки двумерного и трехмерного моделирования.

Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что если перед предприятием стоят более сложные задачи, требующие трехмерного моделирования, и к тому же имеются подготовленные сотрудники, то переход окупается быстро. "Это достигается за счет повышения качества и скорости проектирования,

сокращения затрат на подготовку производства (количества опытных образцов и испытаний, а также дорогостоящей оснастки), более быстрого выпуска продукции в продажу. По сравнению с 2D – системами время окупаемости сокращается на порядок".

Но если продукция предприятия не часто подвергается изменениям, может быть полностью отражена с помощью двух-трех чертежей и не требует инженерных расчетов или создания программ для станков с ЧПУ, то, возможно, 3D – система вообще не требуется. Поэтому не стоит переходить на трехмерное моделирование только ради упрощения подготовки чертежей, так как это вряд ли принесет экономическую выгоду.

Список литературы

1. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Ю.В. Стреналюк, В.И. Привалов, В.И. Воловач, Е.П. Шевченко, В.М. Зимин, Е.С. Харламова, А.Э. Аббасов, Б.А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко. – М.: Издательство «Научный консультант», 2015. – 185 с.

2. Артюшенко, В. М. Системный анализ в области управления и обработки информации: монография [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Ю.В. Стреналюк, Н.А. Васильев, И.М. Белюченко, К.Л. Самаров, В.Н. Зиновьев, С.П. Посеренин, Г.Г. Вокин, А.П. Мороз, В.С. Шайдуров, С.С. Шаврин /под науч. ред. док.техн. наук, проф. В.М. Артюшенко. – Королев МО: МГОТУ, 2015. – 168 с.

3. САПР [Электронный ресурс] // PC Week. URL: <http://www.pcweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=82523>

4. Новости ИТ-отрасли [Электронный ресурс] // Компания NS Labs. URL: <http://www.nslabs.ru/news/news42.html>

5. Трехмерная_графика [Электронный ресурс] // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/трехмерная_графика

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРООБЪЕМНОГО ПРИВОДА ВЕДУЩЕЙ ОСИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Лепешкин А.В.

заведующий кафедрой «Гидравлика», канд. техн. наук,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Рассматривается разработанная математическая модель работы гидрообъемного привода вращательного движения, предлагаемого для использования в качестве привода ведущих колес одной оси самоходной машины. Данная математическая модель может быть использована в составе математической модели движения многоприводной колесной машины при анализе динамических процессов, сопровождающих движение этой машины в изменяющихся условиях, обусловленных внешними факторами, а именно: изменением условий взаимодействия ведущих колес с дорогой, управляющим воздействием и т.д.

Ключевые слова: самоходная колесная машина, гидрообъемная трансмиссия, математическое моделирование работы.

Данная математическая модель [1] разработана при выполнении научных исследований в рамках Научно-технической программы Минобразова-

ния России «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» подпрограмма «Новые авиационные, космические и транспортные технологии» раздел «Экологически чистый и высокоскоростной наземный транспорт» (шифр проекта: 205.03.01.045), посвященных разработке методов оптимального проектирования автомобилей высокой проходимости с бесступенчатой трансмиссией и прикладного программного обеспечения для их реализации.

Создание такой математической модели связано, в частности, с необходимостью разработки теоретических основ движения многоприводных колесных машин с регулируемой бесступенчатой гидрообъемной трансмиссией для оптимизации законов управления ею.

В качестве базового объекта при создании модели принят гидропривод (рис. 1) одной из трех осей опытного образца трехосного полноприводного автомобиля «Гидроход-49061» с регулируемой полнопоточной гидрообъемной трансмиссией, созданного ОАО «НАМИ-Сервис» совместно с АМО ЗИЛ при участии МГТУ «МАМИ». Этот объемный гидропривод включает один регулируемый насос с насосом подпитки, имеющий привод от двигателя машины, и два регулируемых гидромотора, включенных параллельно, выходной вал каждого из которых связан с соответствующим колесом одной оси этого автомобиля.

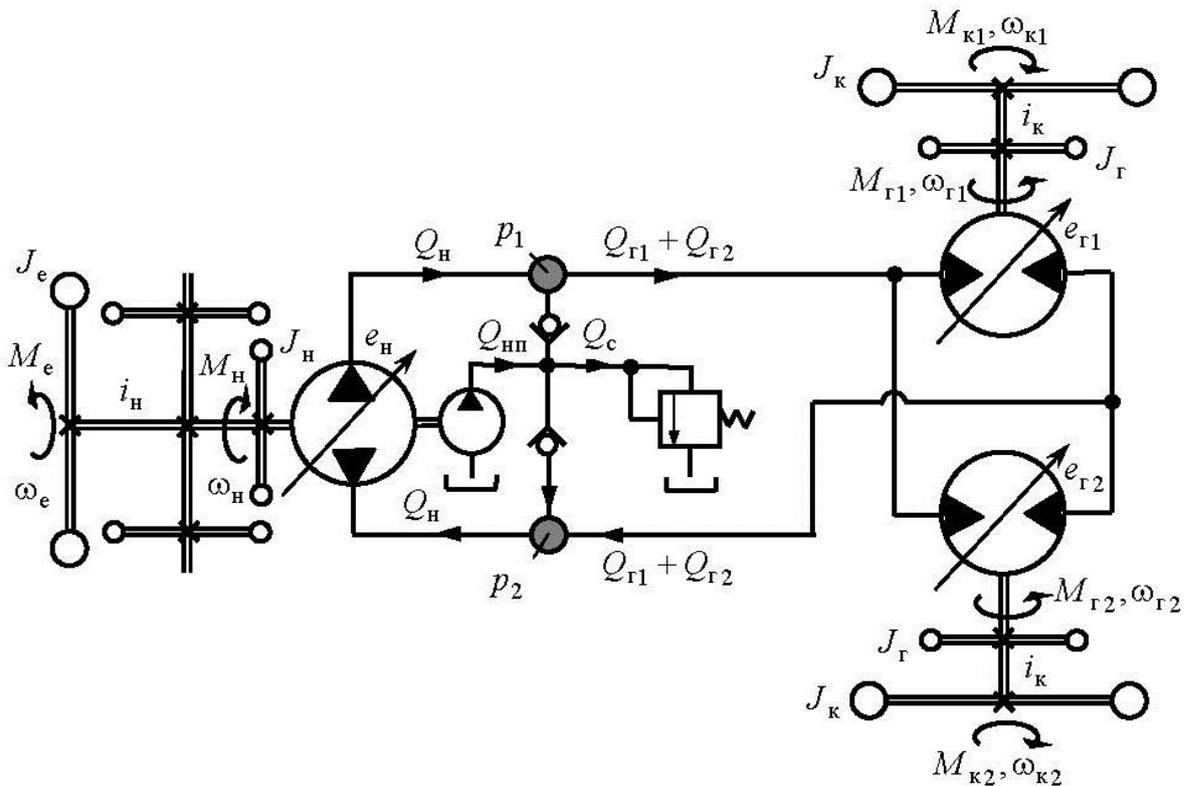


Рис. 1. Расчетная схема гидропривода

В соответствии с принятой расчетной схемой, приведенной на рис. 1, разработанная математическая модель в тяговом режиме работы гидропривода включает следующую систему дифференциальных уравнений:

- уравнение вращательного движения выходного вала двигателя, связанного с валом насоса

$$J_1 \frac{d\omega_e}{dt} = M_e - \frac{1}{i_n} \sum_{j=1}^3 (M_{nj} + M_{npj})$$

- уравнение изменения давления p_1 в узловой точке 1

$$\frac{V_1}{B_{ж}} \frac{dp_1}{dt} = Q_n - (Q_{r1} + Q_{r2})$$

- уравнение изменения давления p_2 в узловой точке 2

$$\frac{(V_2 + V_{np})}{B_{ж}} \cdot \frac{dp_2}{dt} = (Q_{r1} + Q_{r2}) + (Q_{np} - Q_c) - Q_n$$

- уравнения вращательного движения i -го колеса ведущей оси, связанного с валом соответствующего гидромотора

$$J_{2i} \frac{d\omega_{ki}}{dt} = i_k M_{ri} - M_{ki}$$

В этих уравнениях: J_1 – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся элементов двигателя, насосных редукторов и насосов; ω_e – угловая скорость вращения вала двигателя; M_e – крутящий момент, развиваемый двигателем машины, являющийся функцией угловой скорости вращения его вала ω_e и количества потребляемого двигателем топлива, зависящего от величины управляющего воздействия (поворота дроссельной заслонки или перемещения рейки топливного насоса), при моделировании используются рекомендации [2, 3]; $M_{nj} + M_{npj}$ – момент сопротивления вращению, возникающий на валу насоса с насосом подпитки j -го гидропривода машины; i_n – передаточное число согласующего насосного редуктора; V_1 и V_2 – объемы жидкости, условно сосредоточенные в узловых точках 1 и 2; $B_{ж}$ – приведенный объемный модуль упругости жидкости и стенок трубопровода, учитывая рекомендации [4], в расчете принято $B_{ж} = 1000$ МПа; Q_n и Q_{np} – подача насоса и насоса подпитки соответственно; Q_c – расход, сливающийся через переливной клапан системы подпитки; Q_{ri} – расход, потребляемый i -ым гидромотором; J_{2i} – суммарный приведенный к валу i -го ведущего колеса момент инерции колеса с шиной, вращающихся элементов колесного редуктора и гидромотора; ω_{ki} – угловая скорость вращения i -го ведущего колеса; M_{ri} – крутящий момент, реализуемый на валу i -ого гидромотора; M_{ki} – момент сопротивления вращению, возникающий на валу i -го ведущего колеса; i_k – передаточное число согласующего колесного редуктора.

Следует отметить, что в разработанной математической модели используются методы оценки относительных потерь в роторных гидромашинах, предложенные К.И. Городецким [5, 6]. В соответствии с ними относительные объемные и механические потери в роторной гидромашине зависят от перепада давления на ней, угловой скорости вращения ее вала, вязкости жидкости и величины параметра регулирования рабочего объема гидромашин. Согласно рекомендациям К.И. Городецкого коэффициенты, характеризующие соответствующие потери в гидромашин, определялись для данного типа гидромашин по результатам ее испытаний, используя методы аппроксимации [7, 8].

Для проверки адекватности разработанной математической модели гидропривода, подготовленной в виде соответствующего программного модуля, при проведении тестовых расчетов в приведенную выше систему дифференциальных уравнений включено уравнение продольного движения автомобиля [9], которое в рассматриваемом случае имеет вид:

$$m_a \frac{dV_a}{dt} = \sum_{i=1}^6 R_{xi} - G_a \sin \alpha - P_w - P_{кр}$$

где m_a – масса автомобиля, V_a – продольная скорость автомобиля, R_{xi} – горизонтальная составляющая усилия, передаваемая на остов автомобиля от i -го ведущего колеса, G_a – вес автомобиля, α – угол преодолеваемого подъема дороги, P_w – сила сопротивления воздуха, $P_{кр}$ – крюковая нагрузка.

На основании приведенной системы дифференциальных уравнений была разработана программа для персонального компьютера на языке FORTRAN, в которой вначале на основании статической модели системы (в данной статье не приводится) определяются начальные значения переменных, характеризующие ее работу в данных условиях движения автомобиля, а затем проводится расчет по приведенным уравнениям. При этом в зависимости от целей исследования проводится изменение соответствующих величин, определяющих внешние возмущающие или управляющие воздействия.

Следует отметить, что предварять указанный расчет должен обоснованный подбор типоразмера гидромашин, используемых в рассматриваемом гидроприводе. Методика этого подбора приведена в работе [10].

В настоящих материалах приводятся результаты моделирования разгона автомобиля и исследование влияния несимметричности условий работы ведущих колес оси автомобиля.

Режим разгона автомобиля исследовался для двух вариантов изменения по времени величины управляющего воздействия, которым является значение параметра регулирования рабочего объема насоса e_n . И в том и в другом случае для всех насосов e_n изменялось от 0,01 до 1 за одну секунду. Отличие заключается в том, что в первом случае изменение e_n происходило по линейному закону, а во втором – по закону квадратичной параболы. Результаты моделирования приведены соответственно на рисунках 2 и 3.

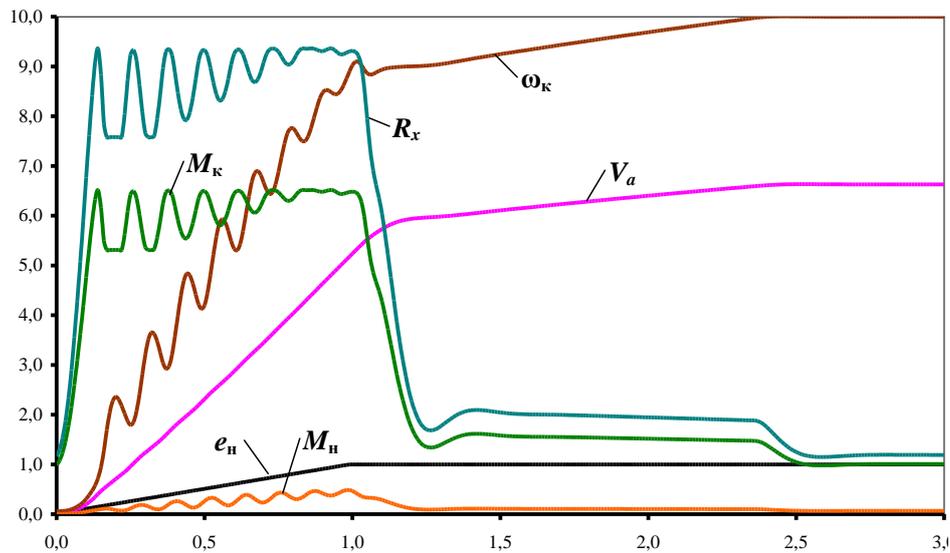


Рис. 2. Изменение e_H по линейному закону

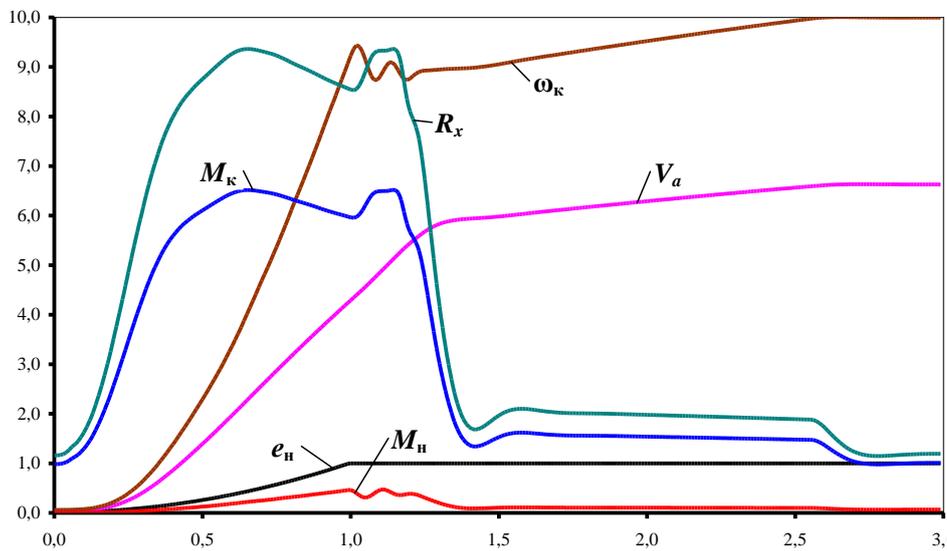


Рис. 3. Изменение e_H по закону квадратичной параболы

На этих графиках кроме характера изменения по времени e_H приведены соответственно получающиеся изменения R_{xi} [кН], M_{ki} [кН*м], ω_{ki} [рад/с], V_a [м/с] и M_{Hj} [кН*м] при условии равенства усилий, реализуемых ведущими колесами автомобиля. Полученные результаты моделирования показывают важность правильного выбора закона управления ГОТ. Из графиков видно преимущество, получающееся при использовании закона изменения e_H , соответствующего большей согласованности динамики процессов, возникающих в ГОТ, динамическим процессам, характеризующим разгон автомобиля.

При исследовании влияния несимметричности условий работы ГОТ анализировались два варианта ее возникновения: из-за неравенства вертикальных нагрузок R_{zi} на ведущие колеса одной оси и из-за неодинаковости

величин параметров регулирования гидромоторов $e_{\Gamma i}$. При этих исследованиях предполагается, что автомобиль продолжает двигаться прямолинейно.

Результаты моделирования приведены соответственно на рисунках 4 и 5.

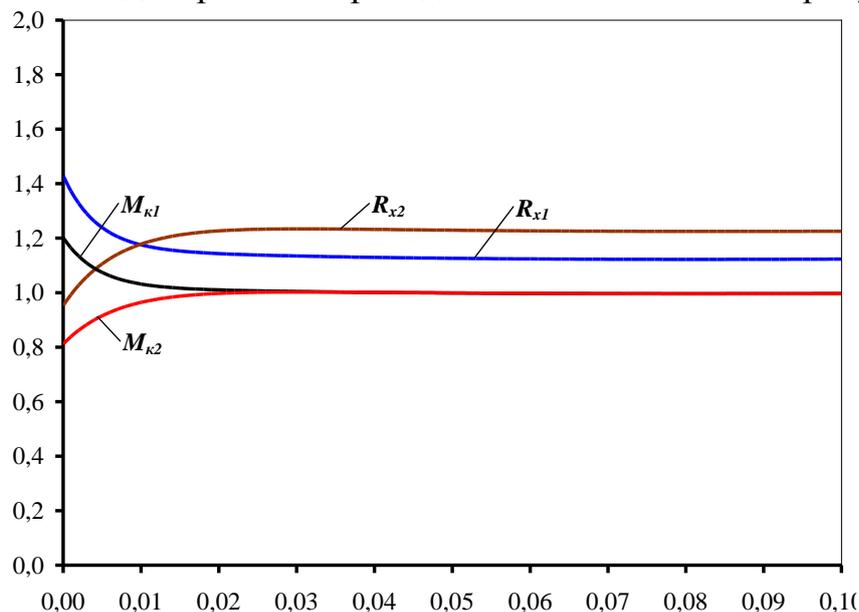


Рис. 4. Перераспределение вертикальных нагрузок на колеса одной оси

На рис. 4 показан характер изменения по времени моментов $M_{к1}$ и $M_{к2}$, реализуемых ведущими колесами одной оси, и продольных усилий R_{x1} и R_{x2} , передаваемых этими ведущими колесами на остов автомобиля, после скачкообразного перераспределения вертикальных нагрузок на эти колеса от одинаковых и равных 13,53 кН до значений $R_{z1} = 16,24$ кН и $R_{z2} = 10,82$ кН. При этом суммарная нагрузка на ось автомобиля оставалась неизменной.

Из графиков видно, что ГОТ принятой конструкции (рис. 1) при равенстве рабочих объемов гидромоторов стремится к равенству реализуемых моментов на ведущих колесах, то есть работает как дифференциальный привод.

На рис. 5 показан характер изменения угловых скоростей ведущих колес одной оси, реализуемых на них моментов и продольных усилий, а также изменение продольной скорости автомобиля при скачкообразном изменении рабочего объема одного из гидромоторов ГОТ. В данном случае скачком уменьшено значение параметра регулирования рабочего объема $e_{\Gamma 2}$ от 1 до 0,8.

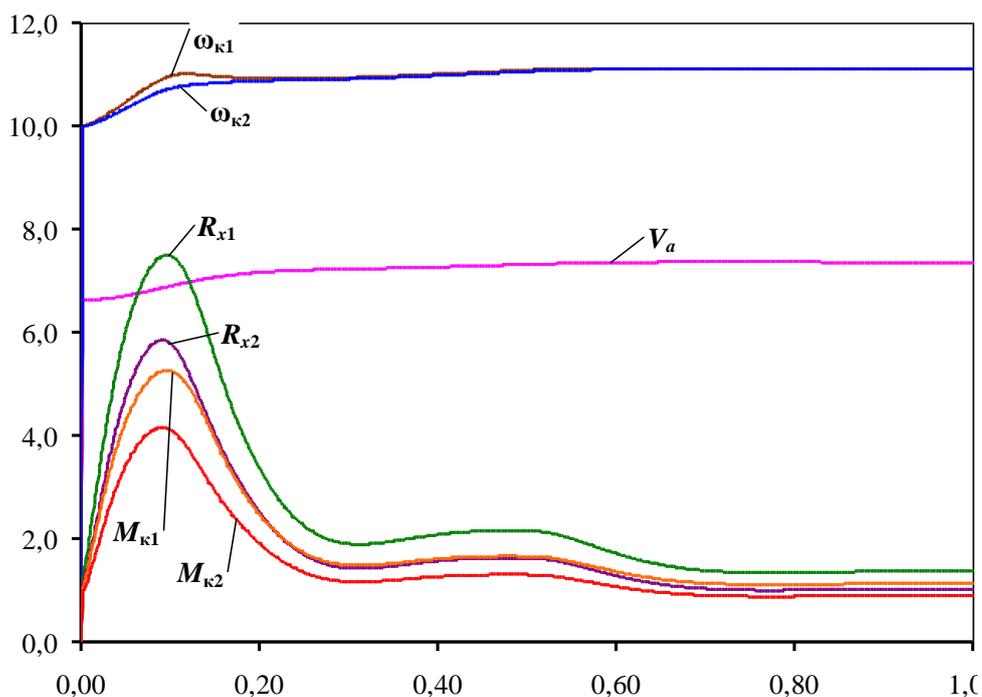


Рис. 5. Результат скачкообразного изменения рабочего объема одного из гидромоторов

Таким образом, анализ приведенных результатов математического моделирования работы ГОТ показывает, что они не противоречат физике рассмотренных моделируемых процессов, а значит, разработанная математическая модель гидропривода достаточно адекватно отражает процессы, сопровождающие ее работу, и может быть принята для решения поставленных задач и аналогичных исследований.

Список литературы

1. Лепешкин А.В. Математическая модель объемного гидропривода вращательного движения. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФАП № 11446. – М.: ВНИИЦ, 2008. № 50200801936.
2. Лепешкин А.В., Катанаев Н.К., Курмаев Р.Х. Идентификация работы двигателя самоходной машины для использования в математической модели её движения (на примере двигателя DT466) // Известия МГТУ «МАМИ». 2007. №2(4). С. 68–73. ISSN 2074-0530.
3. Катанаев Н.Т., Лепешкин А.В., Колбасов А.Ф. Моделирование скоростных характеристик двигателя // Известия МГТУ «МАМИ». 2016, № 1(27), с. 30–33. ISSN 2074-0530.
4. Беленков Ю.А., Лепешкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Учебник. – М., ИЦ «БАСТЕТ», 2013. – 406 с. ISBN 978-5-903178-36-0.
5. Городецкий К.И. Механический КПД объемных гидромашин // Вестник машиностроения. 1977. № 7, с. 11–13.
6. Лепешкин А.В. Математическая модель, оценивающая КПД роторной гидромашин // Приводы и управление. 2000. № 1. С. 17-19.
7. Лепешкин А.В. Определение коэффициентов потерь в формулах оценки объемного КПД роторной гидромашин. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФАП № 11198. – М.: ВНИИЦ, 2008. № 50200801681.
8. Лепешкин А.В. Определение коэффициентов потерь в формулах оценки механического КПД роторной гидромашин. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФАП № 11199. – М.: ВНИИЦ, 2008. № 50200801682.

9. Петрушов В.А., Московин В.В., Евграфов А.Н. Мощностной баланс автомобиля. – М., Машиностроение, 1984. 160 с.
10. Курмаев Р.Х., Круглов С.М., Лепешкин А.В., Медведев А.С., Куру Д.С. Методика подбора основных элементов гидрообъемной трансмиссии колесной машины // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 1(15), т. 1. С. 104-109. ISSN 2074-0530.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЬНОГО ЗУБОШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Лищенко Н.В.

доцент кафедры физики и материаловедения, канд. техн. наук, доцент,
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, г. Одесса

Ларшин В.П.

профессор кафедры технологии машиностроения, д-р техн. наук, профессор,
Одесский национальный политехнический университет, Украина, г. Одесса

Ковальчук Е.Н.

ст. преподаватель кафедры технологии машиностроения, канд. техн. наук,
Одесский национальный политехнический университет, Украина, г. Одесса

В статье дана характеристика прикладной теории оптимизации технических систем (конструкций и процессов). Выполнен теоретический анализ операции профильного зубошлифования на станке HOFLEER RAPID 1250 в качестве примера, содержащего все этапы методологии оптимизации этой операции: определение границ технической системы, выбор количественного критерия, определение внутренних переменных для идентификации вариантов, построение модели, отражающей взаимосвязи между переменными.

Ключевые слова: оптимизация, унимодальная функция, критерий оптимизации, независимые переменные, неопределённость припуска, частота измерения припуска, огибающая припуска, восстановление функции.

Оптимизация в технике (engineering optimization) – быстро развивающаяся область науки, вытекающая из математической теории оптимизации технических систем: конструкций и процессов. Под теорией оптимизации понимают совокупность фундаментальных математических результатов и численных методов, ориентированных на нахождение и идентификацию наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать полного перебора и оценивания возможных вариантов. Процесс оптимизации лежит в основе всей инженерной деятельности, поскольку классические функции инженера заключаются в том, чтобы, с одной стороны, проектировать новые более эффективные и менее дорогостоящие технические системы и, с другой стороны, разрабатывать методы повышения качества функционирования существующих систем [1, с. 10]. Традиционная постановка задачи оптимизации включает ряд этапов: установление границ технической системы, определение количественного критерия для сравнительного анализа вариантов, выбор внутрисистемных переменных для определения характери-

стик и идентификации вариантов, построение модели, отражающей взаимосвязи между переменными. Корректная постановка задачи является необходимым условием успешного завершения оптимизационного исследования и «ассоциируется в большей степени с искусством, нежели с точной наукой» [1, с. 11].

Применение оптимизационных исследований для операции зубошлифования на станках, работающих по методу обката тарельчатыми кругами, позволяет применить возможности оптимизации цикла обработки, для обеспечения наивысшей производительности (по объёму снятого материала за единицу времени) за счёт поиска экстремума унимодальной функции – машинного времени зубошлифования [2, с. 60-69]. Однако применительно к методу копирования такая задача не поставлена и не решена. Кроме того, анализ состояния вопроса показывает, что основное внимание в имеющейся литературе уделено не постановке задач оптимизации, а математическим приёмам их решения как для классического случая унимодальной целевой функции (unimodal programming), так для известных методов математического программирования: линейного (linear), нелинейного (nonlinear), целочисленного (integer), сепарабельного (separable), квадратичного (quadratic) и других.

Целью статьи является разработка математической модели для постановки и решения задачи оптимизации профильного зубошлифования на станке с ЧПУ HOFLEER RAPID 1250. В соответствии с перечисленными выше этапами постановки задачи выполнен ряд поисковых экспериментальных исследований на указанном станке. Выявлены две противоположные тенденции, зависящие от независимой переменной – числа N измерений припуска на заготовке зубчатого колеса (ЗК). Штучное время зубошлифования на станке с ЧПУ и встроенной системой измерения припуска складывается из двух составляющих: времени измерения $T_{\text{изм}}$ фактического расположения припуска на заготовке (этап наладки станка) и времени обработки $T_{\text{обр}}$, зависящего от фактического расположения измеренного припуска по правой и левой стороне впадин ЗК (этап обработки), т.е.

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{обр}} + T_{\text{изм}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{шт}}$ – штучное время операции, мин.

Достоверная информация о припуске по всем впадинам ЗК позволяет учитывать при обработке индивидуальные особенности заготовки и, как следствие, минимизировать непроизводительные затраты времени при уменьшении припуска. Степень достоверности этой информации зависит от числа N измерений припуска. Максимальное число измерений равно числу впадин (или числу зубьев) ЗК и предпочтительно для получения максимально достоверной информации. Однако с ростом числа измерений штучное время операции (в минутах) увеличивается в соответствии с формулой

$$T_{\text{изм}} = \frac{1}{60}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4), \quad (2)$$

где T_1 – время на развёртывание тактильного прибора (tactile device deployment time) в измерительную позицию, с; $T_2 = m \cdot z'$ – время на измерение

(время цикла качания ЗК при касании шупа датчика последовательно с правой и левой стороной впадины), с; m – время измерения одной впадины; $z' = N$ – количество измеряемых впадин (независимая переменная в математической модели); T_3 – время на вывод шупа датчика из впадины ЗК и поворот ЗК для измерения последующей впадины, с; T_4 – время поворота колеса для измерения последующей впадины.

$$\text{В свою очередь} \quad T_4 = \frac{2 \cdot \pi \cdot z' \cdot l}{z \cdot V}, \quad (3)$$

где $l = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{z}$ – длина дуги измерительной окружности радиуса R , приходящаяся на одну впадину ЗК при числе зубьев z , м; $V = \omega \cdot R$ – линейная скорость точки на измерительной окружности, м/с; $\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость ЗК, рад/с; n – частота вращения заготовки ЗК при измерении припуска, мин⁻¹.

Преобразуя выражение (3), получаем

$$T_4 = \frac{2\pi z'l}{zV} = \frac{2\pi z'l}{z\omega R} = \frac{2\pi z'2\pi R}{z^2 \frac{\pi n}{30} R} = \frac{4\pi^2 z'}{z^2 \frac{\pi n}{30}} = \frac{120\pi z'}{z^2 n}. \quad (4)$$

Заменяя в формуле (4) $z' = N$ получим по формуле (2)

$$T_{\text{изм}} = \frac{1}{60} \left[(T_1 + T_3) + N \left(m + \frac{120}{z^2 n} \pi \right) \right] \quad (5)$$

Видно, что с увеличением числа измерений N время измерения возрастает по линейной зависимости. Принимаем для расчета: $T_1 = 5$ с; $T_3 = 5$ с; $m = 2$ с, $m = 5$ с и $m = 8$ с (в зависимости от угловой скорости качания заготовки при измерении и типоразмера ЗК); $n = 10$ мин⁻¹. Для этих условий формула (5) принимает вид

$$T_{\text{изм}} = \frac{10}{60} + \frac{N}{60} \left(m + \frac{12\pi}{z^2} \right) \quad (6)$$

Основное время зубошлифования (в минутах), т.е. время обработки $T_{\text{обр}}$, можно найти по выражению, которое соответствует структуре технологической операции зубошлифования

$$T_{\text{обр}} = \left(\frac{b + l_1 + l_2}{S} i + \frac{\tau_{\text{дел}}}{60} \right) z, \quad (7)$$

где b – ширина зубчатого венца, мм; l_1, l_2 – величина пути врезания и перебега, мм; S – подача, мм/мин; $i = \frac{Z_{\text{max}}}{t_{\text{рад}}}$ – число ходов с подачей S для удаления

максимального одностороннего припуска Z_{max} , исчисляемого в радиальном направлении, мм; $t_{\text{рад}}$ – радиальная глубина шлифования, обеспечивающая необходимую размерную стойкость профиля шлифовального круга и отсут-

ствие прижогов, $t_{\text{рад}} = 0,015$ мм; $\tau_{\text{дел}}$ – время деления ЗК, с; z – число впадин (или зубьев) ЗК.

Например, для исследуемой заготовки ЗК: $b = 24$ мм; $l_1 = l_2 = 7,8616$ мм; $S = 7000$ мм/мин; $\tau_{\text{дел}} = 5$ с; $z = 40$.

Для установления связи времени обработки с величиной удаляемого припуска выполнено дополнительное исследование, позволившее установить связь величины припуска для отдельных впадин ЗК с числом его измерений на заготовке. Как отмечалось выше, уменьшение числа измерений припуска на заготовке выгодно с точки зрения уменьшения времени измерения, входящего в штучное время операции $T_{\text{шт}}$. Однако при уменьшении числа измерений припуска на заготовке возрастает неопределённость припуска в отдельных впадинах ЗК, которые были пропущены при измерениях. Отсутствие достоверной информации о припуске в этих впадинах приводит к необходимости дополнительного отвода шлифовального круга от заготовки ЗК, что равносильно увеличению припуска на обработку. В противном случае (без отвода круга от заготовки) при обработке пропущенных при измерениях впадин припуск может оказаться и выше и ниже предполагаемого – восстановленного после N дискретных измерений. Восстановление припуска в пропущенных при измерениях впадинах является самостоятельной задачей, решаемой, например, методом интегральных преобразований Фурье [3, с. 182]. Сущность этого метода заключается в восстановлении частотного состава сигнала, характеризующего припуск, в различных впадинах ЗК, которые были пропущены при измерении припуска. При разработке способа восстановления сигнала (информации) о припуске на пропущенных впадинах могут быть использованы различные методы идентификации модели восстанавливаемого сигнала о величине припуска. Например, оценку параметров модели производят методом наименьших квадратов, если заранее известно, что в процессе присутствует гармоническая компонента, период которой задан [4, с.151]. Однако, как показано ниже в основе восстанавливаемой функции (function being pieced out) содержится не одна синусоидальная компонента, а определённый набор таких компонент с разными периодами изменения, кратными периоду основной гармоники.

Выполнены исследования по восстановлению фактического распределения припуска по левой (рис. 1,а) и правой (рис. 1,б) сторонам впадин ЗК.

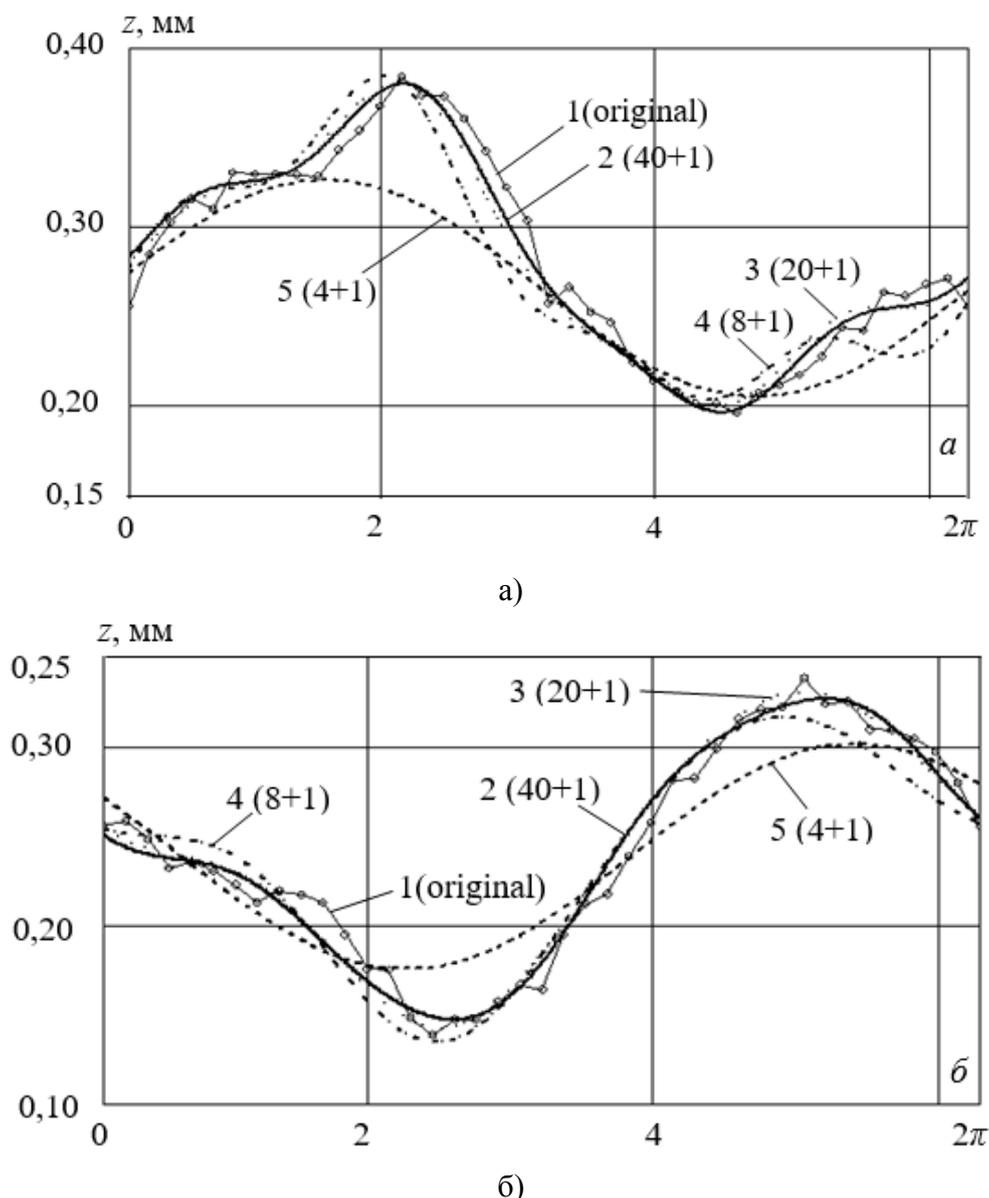


Рис. 1. Восстановление непрерывной огибающей линии дискретного распределения припуска z по правой (а) и левой (б) стороне впадин заготовки ЗК с числом впадин 40 («+1» означает дополнение до периода 2π)

На примере ЗК с 40 впадинами (линия 1 на рис.1) выполнено восстановление непрерывной огибающей линии (сигнала) припуска при различном числе N дискретных измерений припуска: $N = 40$ (линия 2), $N = 20$ (линия 3), $N = 8$ (линия 4) и $N = 4$ (линия 5). Восстановление (piecing out) сигнала выполнено на основании частотного преобразования Фурье по дискретным отсчётам (samples) с равным угловым шагом. Число отсчётов (40, 20, 8 и 4) соответствует фактическому числу измерений припуска с постоянным угловым шагом между отсчётами (9° , 18° , 45° и 90°). В соответствии с известной теоремой отсчётов В. А. Котельникова (Nyquist–Shannon sampling theorem) потенциально выявляемые частоты гармоник для указанного числа отсчётов составляют $20f$, $10f$, $4f$ и $2f$, где f – частота основной гармоники с периодом 2π .

Особенностью частотного анализа дискретных сигналов, характеризующих ограниченный (2π) участок исходного сигнала (аналог временного

процесса на ограниченном участке времени), является необходимость многократного повторения дискретного исходного сигнала протяженностью 2π , т.к. периодические составляющие дискретного сигнала теоретически могут быть выявлены только для исходного «бесконечного» во времени периодического сигнала. Причём, с уменьшением числа отсчётов на периоде 2π число необходимых повторов сигнала на этом периоде (40 отсчётов, 20 отсчётов, 8 отсчётов и 4 отсчёта) возрастает. Путём моделирования в программе LabVIEW 8.6 экспериментально установлено число необходимых повторов указанных периодов дискретных последовательностей: 3, 5, 10 и 20 повторов. При уменьшении числа повторов, по сравнению с указанными числами, идентификация амплитуд и фаз составляющих гармоник затрудняется. Описанный способ восстановления сигнала, характеризующего величину припуска во впадинах, которые были пропущены при измерениях, позволяет существенно уменьшить число необходимых измерений для выявления припуска во всех впадинах ЗК (по правой и левой стороне каждой впадины). Показано, что общее время операции зубошлифования, состоящее из времени наладки (время на измерение припуска $T_{изм}$) и времени обработки (время зубошлифования $T_{обр}$) имеет минимальное значение при оптимальном числе измерений припуска (рис. 2).

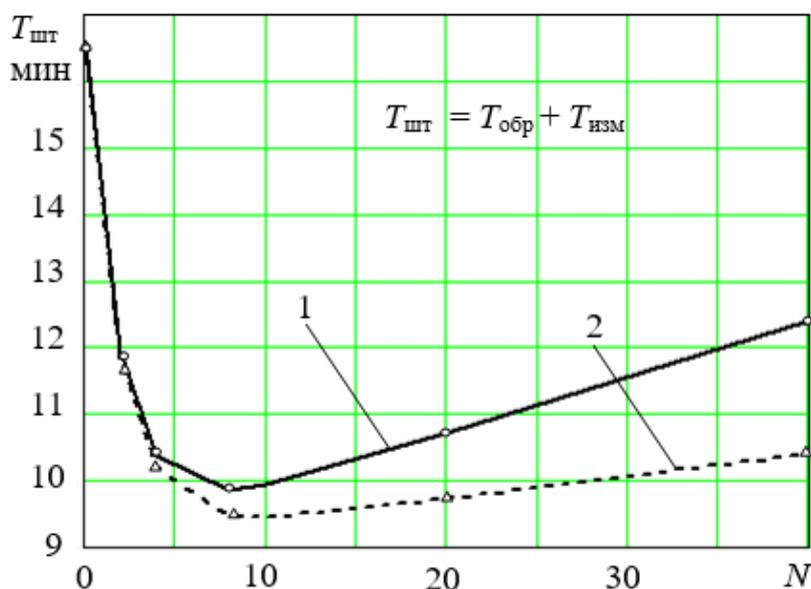


Рис. 2. Изменение штучного времени зубошлифования в зависимости от числа измерений припуска во впадинах ЗК: 1 и 2 – время измерения припуска в одной впадине 5 секунд и 2 секунды, соответственно

Список литературы

1. Реклейтис Г. Оптимизация в технике: В двух книгах. Кн. 1. Пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэтсел. – М.: Мир, 1986. – 349 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 8. "Оптимизация технологических процессов в машиностроении". – Одесса: ОНПУ, 2004. – 509 с.
3. Ларшин В.П. Выравнивание припуска по профилю при наладке на зубошлифование методом копирования / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко // Современные тенденции в

технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий: материалы VI Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. – Уфа: УГАТУ, 2016. – С.181-189.

4. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход), под ред. А.А. Первозванского / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЖЕЛЕЙНО-ФРУКТОВЫЙ МАРМЕЛАД С ПЛОДАМИ АРОНИИ

Лобосова Л.А.

доцент кафедры хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

Журахова С.Н.

магистрант кафедры хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

Свиридова О.Я., Решетникова А.С.

студенты кафедры хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающих производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

В статье обоснован выбор рецептурных компонентов. Определены органолептические, физико-химических показателей качества мармелада. Исследованы реологические зависимости. Рассчитана пищевая и энергетическая ценность мармелада.

Ключевые слова: мармелад, солодовый экстракт ячменя, фруктоза, плоды аронии.

Проблема рационального сбалансированного питания остро стоит во всех развитых странах. Дефицит пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ в рационе населения обусловил создание продуктов, обогащенных нетрадиционными видами сырья.

Поэтому актуально при разработке новых видов изделий, в частности мармелада, использовать нетрадиционные виды растительного сырья, богатого микро-и макроэлементами, витаминами, пищевыми волокнами [1].

Цель нашего исследования – разработка технологии желеино-фруктового мармелада на агаре с фруктозой на основе солодового экстракта ячменя и с добавлением пюре из плодов аронии.

Арония черноплодная обладает широким спектром лечебных свойств, благодаря своему биохимическому составу. В плодах аронии содержатся антибактериальные вещества, которые препятствуют распространению инфекции в организме человека, защищают его от проникновения вирусов [4].

В своем составе солодовый экстракт ячменя содержит большое количество глюкозы, мальтозы, фруктозы, декстринов, белковых веществ, так же минеральных веществ: калий, фосфор, натрий, кальций. Солодовый экстракт ячменя богат аминокислотами, такими как лейцин, изолейцин, фенилаланин, тирозин, триптофан [3].

Фруктоза является одним из заменителей сахара. Это натуральное сладкое вещество, содержащееся в пчелином меде, в ягодах, фруктах, овощах. Она в 1,7 – 1,8 раз слаще сахара. Энергетическая ценность фруктозы 4 ккал, т. е. такая же, как у сахара.

В качестве контрольного образца выбрана рецептура мармелада с сахаром-песком, крахмальной патокой, с добавлением яблочного пюре.

Провели замену сахара-песка на фруктозу, крахмальную патоку на солодовый экстракт ячменя, а яблочное пюре на пюре из плодов аронии.

Исследовали зависимость изменения пластической прочности полученных образцов с пюре из плодов аронии, от времени выстойки по сравнению с контрольным образцом. Наибольшей пластической прочностью – 38,5 кПа, обладает контрольный образец, при замене сахара на фруктозу значение пластической прочности уменьшается на 3,7 кПа. Пластическая прочность изделий при замене сахара и патоки на фруктозу и солодовый экстракт 32,5 кПа, с добавлением пюре из плодов аронии – 27 кПа, но этих значений достаточно для поддержания хорошей формоудерживающей способности жележных масс.

Исследованы реологические характеристики жележных масс с добавлением пюре из плодов аронии, фруктозы и солодового экстракта ячменя. Установлено, что эффективная вязкость мармеладной массы снижается при увеличении скорости сдвига, при добавлении в рецептурный состав фруктозы, солодового экстракта ячменя и пюре из плодов аронии. Установлено, что при их применении эффективная вязкость уменьшается на 20-30 %, что положительно скажется на процесс формования методом «шприцевания» [2].

По органолептическим показателям мармелад с пюре из плодов аронии обладает приятным вкусом и запахом, оригинальным цветом, студнеобразной консистенцией.

Энергетическая ценность жележно-фруктового мармелада составила 288 ккал, что на 25 ккал меньше контрольного образца.

Мармелад обладает повышенной пищевой ценностью, особенно по содержанию минеральных веществ и витаминов: калия, кальция, фосфора, витаминов С, Е, группы В.

По органолептическим показателям мармелад с пюре из плодов аронии обладает приятным вкусом и запахом, оригинальным цветом, студнеобразной консистенцией.

Разработка технологических решений рационального использования нетрадиционных видов фруктового сырья в производстве кондитерских изделий будет способствовать повышению эффективности консервных и кондитерских производств, что явится залогом успешного развития пищевой отрасли.

Список литературы

1. Новое в технике и технологии мармелада функционального назначения [Текст]: монография / Г. О. Магомедов, И. Х. Арсанукаев, А. Я. Олейникова, Л.А. Лобосова. – Воронеж : ВГТА, 2009. – С. 206.
2. Олейникова, А. Я. Технология кондитерских изделий [Текст]: учебник / А. Я. Олейникова, Л.М. Аксенова, Г. О. Магомедов. – СПб.: Изд-во «РАПП», 2010. – 672 с.
3. Солодовые экстракты – кладезь полезных веществ [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.solod-opt.com/malt_extracts.html Загл. – с экрана.
4. Черноплодная рябина – лечебные свойства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.inmoment.ru/beauty/health-body/pomegranate-juice>

ОБЪЕМНЫЙ ГИДРОПРИВОД ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА, УСТАНОВЛИВАЕМОГО НА ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ

Медведев А.С.

аспирант кафедры «Гидравлика», Университет машиностроения,
Россия, г. Москва

Лепешкин А.В.

заведующий кафедрой «Гидравлика», канд. техн. наук, профессор,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Михайлин А.А.

профессор кафедры «Гидравлика», канд. техн. наук, профессор,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

В работе даются предложения по созданию объемного гидропривода дополнительного генератора, устанавливаемого на автомобиле, который по роду своего использования должен обеспечивать электрическое питание потребителей со стандартными параметрами (напряжение 380 В, частота 50 Гц). Для решения данной задачи предложен вариант гидропривода, подключенный к валу двигателя транспортного средства, с автоматической стабилизацией скорости вращения вала гидромотора. Проведен подбор гидромашин для предложенного варианта гидропривода с расчетной мощностью генерируемого тока 8 кВт.

Ключевые слова: объемный гидропривод электрогенератора, системы стабилизации скорости, подбор гидромашин

В предлагаемой статье рассматриваются транспортные средства (ТС), на которых по условиям эксплуатации устанавливается дополнительной оборудование, требующее электрического питания переменным током 380(220) В с постоянной частотой 50 Гц.

Примерами таких транспортных средств могут быть:

1) автомобиль-рефрижератор, имеющий разработанную в центре «Интербизнеспроект» экологически чистую малогабаритную воздушную турбохолодильную установку (ВТХУ). По утверждению разработчиков потреб-

ность в соответствующих небольших автомобильных рефрижераторах составляет для России порядка 25 тысяч машин в год;

2) автомобиль для служб ЖКХ, например, содержащий установку парогенератора для аварийно-восстановительных работ (размораживание труб, люков и линий электропередач), строительных работ (пропаривание арматуры перед заливкой монолита, пропаривание бетона), мойки и очистки фасадов зданий, мостов и т.д. [3];

3) автомобильные пункты здравоохранения и медицинского обслуживания (мобильные лаборатории, пункты переливания крови и т.п.) [3].

Во всех этих примерах для обеспечения работы вспомогательного оборудования требуется переменный ток с постоянной частотой, который на мобильном транспортном средстве можно обеспечить следующими способами:

1) подключение к внешнему источнику питания в местах прямой возможности подключения к электросети;

2) установка на ТС специального бензо- или дизель-генератора;

3) подключение генератора напрямую к валу двигателя ТС с автоматическим регулированием частоты генерируемого переменного тока электронными средствами;

4) использование для привода генератора объемного гидропривода со стабилизацией скорости выходного звена, подключенного к валу двигателя.

Рассмотрим все эти виды подключения подробнее и выявим плюсы и минусы каждого из них.

Первый способ хорош тем, что на ТС не надо устанавливать дополнительного оборудования (за исключением вывода разъема для подключения). Если потребитель знает, как именно будет использоваться дополнительное оборудование, и может рассчитать места использования автомобиля, то этот способ самый подходящий. Минус состоит в том, что автомобиль с вспомогательным оборудованием не может работать автономно и вдали от источника электропитания, это снижает область использования данного ТС.

Второй способ хорош тем, что можно купить готовый дизель-генератор и установить его на ТС. Однако, эти устройства достаточно дорогостоящие, требуют технического обслуживания (через определенный срок, предусмотренный производителем), их необходимо периодически заправлять топливом и отводить выхлопные газы, а так же он занимает дополнительное полезное место. На практике дизель-генератор чаще используют на прицепах. Такой вид размещения освобождает пространство в ТС, но ухудшает его маневренность и создает излишние проблемы при парковке и езде задним ходом. Помимо этого, для управления автопоездом нужна специальная категория водительского удостоверения.

Третий способ не требует никакого дополнительного оборудования для передачи крутящий момент от вала двигателя к валу генератора. Но в плюсе таится и главный минус, потому что частота вращения двигателя варьируется в диапазоне от 700 до 6000 об/мин. Потребителю же необходима постоянная частота. При этом размеры дополнительного электрогенератора, работающего на таком диапазоне изменения частоты вращения вала, довольно большие,

что делает практически невозможным размещение его в подкапотном пространстве стандартного автомобиля.

Четвертый способ хорош тем, что используемый гидропривод автоматически поддерживает необходимое значение частоты вращения вала генератора независимо от получающейся в данный момент времени частоты вращения вала двигателя ТС. При этом используется штатный двигатель ТС, все необходимое оборудование размещается на этом же ТС и при включенном двигателе всегда вырабатывается необходимая электроэнергия. К недостаткам этого метода относятся решение задач, связанных с компоновкой агрегатов гидропривода (насоса, гидробака, регулирующих устройств) и гидромотор-генератора на ТС, дополнительные капиталовложения, необходимость обеспечения технических условий при работе гидросистеме.

Рассмотрим вариант реализации последнего из предложенных способов более подробно.

Аналогом данного способа является привод электрогенератора двигателя внутреннего сгорания, на который был получено Авторское свидетельство СССР под номером SU 1306747 [1]. На рисунке 1 представлена его схема.

Привод работает следующим образом.

Стабильность числа оборотов вала гидромотора 3 независимо от загрузки электрогенератора обеспечивает регулятор расхода 4, работающий совместно с переливным клапаном 5, который поддерживает постоянное давление на входе в регулятор расхода 4. При этом имеющийся избыток жидкости сливается переливным клапаном 5 в бак.

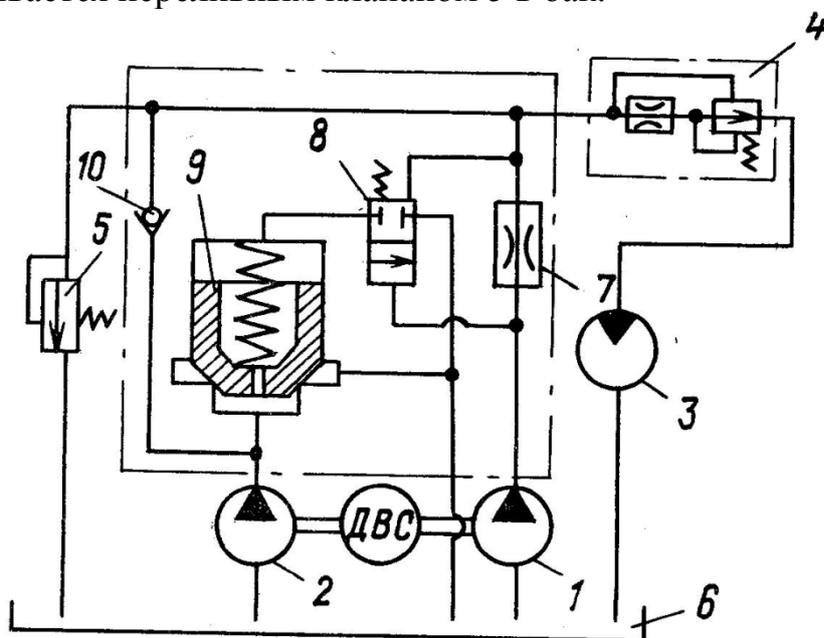


Рис. 1. Схема гидропривода электрогенератора [1]: 1 и 2 – первая и вторая секции двухсекционного насоса, 3 – гидромотор, 4 – регулятор расхода, 5 – переливной клапан, 6 – гидробак, 7 – нерегулируемый дроссель, 8 – управляемый двухпозиционный золотник, 9 – разгрузочный клапан, 10 – обратный клапан

Переменная частота вращения коленчатого вала ДВС определяет обороты вала нерегулируемого двухсекционного насоса.

Если эта частота вращения такова, что при ней существует нехватка расхода рабочей жидкости, поступающего от основной секции 1 насоса, то поток от нее проходит через дроссель 7 и за обратным клапаном 10 объединяется с потоком рабочей жидкости, поступающего из второй (вспомогательной) секции 2 насоса. Разгрузочный клапан 9 при этом закрыт, так как его заклапанная полость заперта золотником гидрораспределителя 8, находящимся под действием пружины, сила которой превышает усилие от возникающего перепада давления на гидродросселе 7.

По мере увеличения числа оборотов коленчатого вала возрастает подача рабочей жидкости, что ведет к увеличению расхода, идущего на слив через переливной клапан 5 из-за наличия в гидросистеме регулятора расхода 4, ограничивающего значение подачи в гидромотор 3. Когда подача только одной основной секции 1 насоса обеспечивает потребный расход в гидромотор, происходит автоматическая разгрузка вспомогательной секции 2 насоса. Это происходит вследствие достижения перепада давления на нерегулируемом дросселе 7 величины, необходимой для сжатия пружины и смещения золотника 8 управляющего распределителя, обеспечивающего слив жидкости из заклапанной полости клапана 9 в гидробак 6. Разгрузочный клапан 9 при этом откроется, рабочая жидкость из напорной гидролинии вспомогательной секции 2 насоса пойдет на слив, и давление в гидролинии вспомогательной секции 2 снизится до величины сливного. Произойдет так называемая разгрузка вспомогательной секции 2 насоса. При понижении числа оборотов вала двигателя гидропривод работает в обратном порядке [1].

Одним из этапов реализации принятого схемного варианта гидропривода является оптимальный подбор агрегатов, используемых в нем. Прежде всего это относится к подбору гидромашин.

Ниже приводится пример подбора гидромашин для гидропривода, схема которого представлена на рис. 1. При расчете используются рекомендации, приведенные в работе [2].

Пусть необходимо спроектировать гидропривод генератора для получения электрической энергии в виде переменного тока с частотой 50 Гц мощностью 8 кВт.

Исходя из того, что требуемая частота электрического тока 50 Гц получается при частоте вращения вала генератора 3000 об/мин, определим момент сопротивления, возникающий на валу гидромотора, считая его равным моменту на валу генератора при 8 кВт генерируемой мощности:

$$M_{\text{в}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot 60}{2\pi \cdot n_{\text{в}}} = 25,48 \text{ Ё /л} .$$

Если принять, что в гидроприводе предполагается использовать шестеренный двухсекционный насос, обеспечивающий максимальное рабочее давление 16 МПа, то для преодоления полученного момента необходим гидромотор, рабочий объем которого равен:

$$W_{0\text{в}} = \frac{2\pi \cdot M_{\text{в}}}{\Delta p_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{л}}} = 11,11 \text{ м}^3 / \text{л} \text{ ,}$$

здесь η_f – механический КПД гидромотора, принят равным 0,9.

Анализ предложений на сайтах в интернете [5] показал, что наиболее близким по требуемым характеристикам является нерегулируемый аксиально поршневой гидромотор серии 310 с рабочим объемом $W_{0\text{аи}} = 11,6 \text{ см}^3/\text{об}$, с максимальной частотой вращения до 6000 об/мин и массой 4 кг.

Учитывая принятый гидромотор, расход жидкости, обеспечивающий необходимую частоту вращения вала генератора 3000 об/мин, равен:

$$Q_{\text{аи}} = \frac{W_{0\text{аи}} \cdot n_{\text{аи}}}{\eta_f} = 610,526 \frac{\text{м}^3}{\text{н}},$$

здесь объемный КПД гидромотора η_f принят равным 0,95.

Исходя из этого необходимый суммарный рабочий объем двухсекционного насоса, обеспечивающий на оборотах холостого хода двигателя ($n_{\text{оо}} = 750 \text{ об/мин}$) требуемый для гидромотора расход, равен:

$$W_{0\text{и}\Sigma} = \frac{Q_{\text{аи}} \cdot 60 \cdot i_{\text{д}}}{n_{\text{оо}} \cdot \eta_{\text{и}\text{т}}} = 94,8 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

здесь объемный КПД насоса $\eta_{\text{и}\text{т}}$ принят равным 0,85.

Из каталога двухсекционных насосов [4], как наиболее близкий, выбран насос НШ63Г-32УК-3, у которого суммарный рабочий объем составляет $95 \text{ см}^3/\text{об}$ (используется на оборотах холостого хода двигателя), рабочий объем первой секции равен $63 \text{ см}^3/\text{об}$ (вспомогательная секция), а рабочий объем второй секции (основная секция) равен $32 \text{ см}^3/\text{об}$.

В заключении определим частоту вращения вала двигателя, при которой можно отключать вспомогательную секцию насоса. Для наглядности представим это определение графически (рис. 2).

На графике показана зависимость необходимого рабочего объема насоса, обеспечивающего требуемый расход для гидромотора, от оборотов двигателя автомобиля. Из этого графика можно определить обороты двигателя, при которых необходимость использования двух секций шестеренного насоса отпадает. С этого момента с обеспечением требуемой подачи будет справляться одна основная секция насоса.

Так как в рассматриваемом случае меньшая (основная) секция насоса имеет рабочий объем $32 \text{ см}^3/\text{об}$, то при достижении оборотов двигателя значения 2170 об/мин вспомогательная секция насоса должна отключается. Это и отображено на графике (рис. 2).

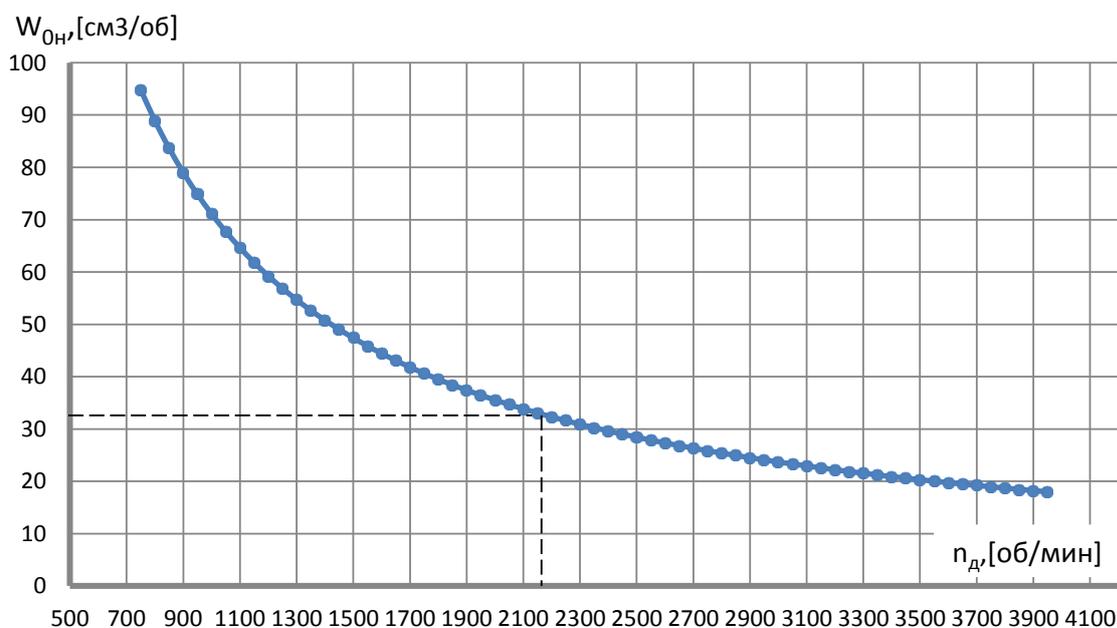


Рис. 2. Необходимый рабочий объем гидронасоса

Список литературы

1. А.с. № SU 1306747 от 13.11.85. Бюл. № 16 от 30.04.87. Привод электрогенератора двигателя внутреннего сгорания. Авт.: Некрасов Б.Б., Соколов В.К., Баранов Ю.И., Лепешкин А.В.
2. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. М., МГИУ, 2008. 5-е издание, доп. и перераб. ISBN 978-5-2760-0905-8.
3. <http://www.inruscom.com>
4. http://www.artr.ru/Gidravlik/Gidravlik_pumps/nsh/gear_sh_2nsh.htm
5. http://www.psm-hydraulics.ru/catalog/gidromotory/nereguliruemye_motory

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Никифоров Б.Т.

профессор, Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Данная статья посвящена теоретическому обоснованию и разработке технологии производства высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита для производства различных изделий в машиностроении, в том числе в электроэнергетике.

Ключевые слова: производство, высокопрочный чугун, шаровидный графит.

Среди специалистов [3] установилось твердое мнение, что высокопрочный чугун с шаровидной формой графита [ЧШГ] в XXI столетии займет лидирующее положение и будет конкурентным не только со сталью, но и с легкими, менее технологичными и значительно более дорогими Al-сплавами, который можно будет подвергать пластической деформации. Уже в настоящее время доля ЧШГ в общем объеме производства литых заготовок в разви-

тых странах составляет от 35 до 47%, в то же время в России выпуск ЧШГ составляет 3,5%. Низкий уровень производства ЧШГ в России объясняется устаревшей технологической базой в основном плавильного производства, не обеспечивающей жестких требований химического состава, необходимой температуры жидкого расплава, высокой чистоты шихтовых материалов и ферросплавов по сере и фосфору.

Основным плавильным агрегатом чугунолитейного производства в настоящее время является вагранка, с помощью которой выплавляется 67,5% чугуна. Просто ваграночный чугун и ваграночный с дуплекс процессом: вагранка – индукционная печь (копильник) или электропечь по своим технологическим параметрам не обеспечивают требуемого химического состава чугуна по сере и фосфору. Выплавленный таким способом чугун пригоден только для производства серого (СЧ) и ковкого (КЧ) чугуна.

В последние годы предприятия стали устанавливать для плавки чугуна среднечастотные индукционные печи (ИП) с емкостью тигля от 0,5 до 6,5 т. Достоинством индукционных плавильных печей является экологичность (отсутствия продуктов сгорания топлива), бесшумность, возможность использования различных шихтовых материалов, достижение необходимого уровня перегрева. Вместе с тем ИП обладают серьезным недостатком – в них невозможно проводить активные шлаковые процессы, рудный или кислородный кип и для производства качественного металла необходимы высококачественные шихтовые материалы и ферросплавы. Попытка выплавлять в таких печах ЧШГ вызывает определенные трудности получения низкосернистого чугуна. ГОСТ 7293-85 устанавливает химический состав ЧШГ, причем содержание углерода и кремния для различных марок от ВЧ35 до ВЧ100 варьируется достаточно в широких пределах в зависимости от толщины стенки отливки (в пределах до 50 мм, от 50 до 100 мм и свыше 100 мм), а содержание S и P фиксируется постоянными данными: не более 0,02 и 0,1 % соответственно. Производство ЧШГ с содержанием S до 0,02% не гарантирует стабильного получения ЧШГ по ГОСТ 7293-85. Особенно чувствительным оказывается достижение пластических свойств соответствующих марок. Стабильные свойства, как свидетельствует практика КАМАЗа и АвтоВАЗа, достигаются только при содержании S до 0,012%. Поэтому настоятельной технологической необходимостью производства чугуна в ИП является процесс дополнительной печной или внепечной десульфурации.

Методика исследования включала:

1. Анализ процесса плавки, выбор и обоснование плавильных агрегатов, обеспечивающих оптимальный (дешевый) состав шихтовых материалов и высокое качество расплава по химическому составу.
2. Сравнение позитивных и проблемных аспектов методов модифицирования: «Сэндвич – и Инмолд – процессов».

С целью выбора оптимального процесса десульфурации расплава чугуна, выплавленного в ИП были проведены расчеты изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса), ΔG^0T ; минимум ΔG^0T указывает на эффективность процесса десульфурации; результаты расчетов приведены в таблице.

**Термодинамический потенциал реакций десульфурации
при различных температурах**

Реакции десульфурации	- ΔG^0 1800 К, Дж/моль; температу- раперегрева в ИП	- ΔG^0 1750 К, Дж/моль; температура перелива рас- плава из ИП в раздаточный или разливочный ковш	- ΔG^0 1700 К, Дж/моль;	- ΔG^0 1650 К, Дж/моль; температура заливки форм
	$3\text{FeS} + \text{CaC}_2 + 2\text{CaO} = 3\text{CaS} + 3\text{Fe} + 2\text{CO}$	653670,50	635513,07	611816,58
$\text{FeS} + 2\text{FeO} + \text{CaC}_2 = \text{CaS} + 3\text{Fe} + 2\text{CO}$	232028,59	227413,58	221638,94	215910,28
$\text{FeS} + \text{Ce} = \text{CeS} + \text{Fe}$	290138,31	295413,40	300916,42	306828,69
$\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe}$	134446,67	133438,67	132983,35	132577,10
$\text{FeS} + \text{Mg} = \text{MgS} + \text{Fe}$	119597,27	127592,68	135983,01	144792,46
$\text{FeO} + \text{Mg} = \text{MgO} + \text{Fe}$	174777,38	183018,94	191368,52	200550,19

Анализ значений ΔG^0T показывает, что наиболее эффективным десульфуратором является CaC_2 , особенно в сочетании с CaO . Следовательно, после термовременной выдержки в ванну ИП следует вводить в колокольчике $\text{CaC}_2 + \text{CaO}$. При такой технологии расчетное содержание S в шихте допускается до 0,1%. Десульфурацию РЗМ (Ce) можно проводить как в печи, так и при выпуске металла в раздаточный ковш. Эффективность десульфурации Ce не зависит от температуры расплава. Десульфурующая способность Mg находится практически на одном уровне с Mn, причем следует заметить, что сродство Mg к кислороду в среднем на 41,5% сильнее, чем сродство Mg к S; следовательно, Mg расходуется как на образование MgO, так и на образование MgS. Поэтому попытки на некоторых предприятиях дополнительно к «Инмолд-процессу» вводить магниевый модификатор под струю металла при заполнении разливочного ковша положительных результатов не дают.

Многочисленные исследования по методу модифицирования не выявили однозначного преимущества ни «Сэндвич-процесса», ни «Инмолд-процесса». Для принятия решения о методе модифицирования в каждом конкретном случае необходимо учитывать тип плавильного агрегата, способ и время разливки, номенклатуру литья. В общем случае «Инмолд-процесс» рекомендуется применять для установившегося технологического процесса, при таком методе ввода модификаторов сокращается их количество, лучше усваивается магний, отсутствует пироэффект, временной фактор не играет ни какой роли, но за счет усложнения и увеличения литниковой системы снижается выход годного литья. «Сэндвич-процесс» модифицирования рекомендуется при выпуске разнообразной номенклатуры литья при соблюдении временного фактора.

Процесс плавки чугуна в ИП вступает в противоречие между минимумом стоимости шихтовых материалов и качеством продукции. Использование дешевых шихтовых материалов ведет к повышенному проценту брака.

Разрешение данного противоречия возможно при использовании прогрессивных технологических процессов плавки чугуна дуплекс процессом: основная электродуговая плавильная печь постоянного тока (ЭДППТ) – индукционный миксер (копильник) с основной, нейтральной или кислой футеровкой. ЭДППТ позволит применить активный металлургический процесс плавки и рафинирования расплава от серы и фосфора, а миксер (копильник) позволит довести жидкий расплав до требуемого химического состава, необходимой температуры перегрева и провести термовременную выдержку. Плавка чугуна в электродуговой печи устраняет негативные наследственные последствия используемой шихты. Новым в данной технологии по сравнению с процессами, применяемыми на КАМЗе и АвтоВАЗе, является замена электродуговых печей переменного тока (ЭДП) на ЭДППТ. Использование ЭДППТ по сравнению с ЭДП позволяет на рядовой шихте (с использованием стального и чугунного лома) получать содержание серы $S < 0,015\%$ и стабильные механические свойства ВЧ50 ($\sigma_b = 500-650$ МПа, $\delta=14-18\%$, НВ=160-185) в литом состоянии без термической обработки; кроме того применение ЭДППТ приводит к снижению расхода графитированных электродов до 1,5 кг/т расплава, на 30-85% уменьшить потери ферросплавов, в 10-15 раз сократить количество пылегазовыделений, на 15-20 дБА снизить уровень шума [1,2].

При «Сэндвич-процессе» можно рекомендовать хорошо зарекомендовавшие на производстве следующие модификаторы:

- сфероидирующий модификатор марки Сферомаг 611-Lsi (ТУ 021-72684889-13) 1,2 % массовой доли;

- графитизирующий модификатор, марки Циркалой (ТУ 082-001-72684889-09) 0,28 % массовой доли;

- после термовременной выдержки на зеркало металла в ковше подается флюс перлитовый коагулирующий, марка Барьер (ТУ 5717-001-11035757-2006) 10 кг (0,2 % массовой доли).

Сэндвич-процесс получения ВЧШГ предусматривает размещение сфероидизирующего модификатора в углублении донной части ковша, пригрузку поверхности модификатора слоем стальной обрезки или чугунной стружки для задержки (по времени) начала взаимодействия жидкого расплава чугуна и сфероидизирующего модификатора в результате чего, магий (входящий в состав модификатора) испаряется, его пузырьки поднимаются к поверхности металла, по пути своего движения пузырьки растворяются в жидком чугуне. Чем выше столб металла в ковше, тем длительнее путь пузырька к поверхности металла, тем дольше время контакта пузырька магния с жидким чугуном и, как следствие, тем выше степень усвоения магния чугуном.

В последние годы проявляется повышенный интерес к аусферритному (бейнитному) чугунам, однако обнадеживающих производственных результатов пока явно не хватает. Объясняется это с одной стороны достаточно сложной технологией его производства, а с другой – недостатком информации и интереса у проектирующих организаций к этому уникальному по своим свойствам материалу. Высокие механические свойства ($\sigma_b = 1000$ и более

МПа, δ от 2 до 7 %, НВ = 320-348, КС = 0,2 – 0,4 МДж) объясняется уникальной структурой чугуна. Структура правильно обработанного аустенитно-бейнитного чугуна представляет собой сочетание бейнитного феррита и больших объемов (до 45%) – стабилизированного аустенита. Несмотря на сложную технологию получения аусферритного чугуна, он должен найти широкое применение в отечественном машиностроении.

Список литературы

1. Малиновский И.К., Ярных Л.В. Экология при использовании дуговых печей постоянного тока нового поколения // Литейное производство. – 1999. № 1. – С. 40-41.
2. Сивко В.И., Вазиев И.К. Производство отливок из высокопрочного чугуна. Опыт ОАО «Камский литейный завод» // Литейное производство. – 1998. №12. – С. 9-12. – 1999. №2. – С. 6-8.
3. Щербединский Г.В. Чугун как перспективный материал XXI столетия // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. №7. – С. 83-93.

ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ КОМБИНИРОВАННОГО КОАГУЛЯНТА МЕЛАССА – ХЛОРИД НАТРИЯ

Никулина Н.С.

преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов, канд. тех. наук, Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС, Россия, Воронеж

Провоторова М.А.

аспирант кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

Булатецкая Т.М.

студент гр. Х-141, факультет экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

Никулин С.С.

профессор кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, д-р тех. наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, г. Воронеж

В статье рассмотрена возможность применения в технологии производства эмульсионных каучуков коагулянта, состоящего из двух компонентов меласса – хлорид натрия. Показано, что применение комбинированного коагулянта позволяет снизить расход коагулирующих агентов. Полученные каучуки, резиновые смеси и вулканизаты соответствовали предъявляемым требованиям.

Ключевые слова: латекс, хлорид натрия, меласса, коагуляция, каучук, показатели.

Промышленность синтетического каучука в настоящее время активно развивается. Внедрение новых технологий и оборудования, а также совершенствование компонентного состава эмульсий и коагулирующих систем, позволяет повысить производительность процесса, снизить потери ценного сырья и материалов, снизить загрязнение окружающей среды.

Большое внимание уделяется разработкам, позволяющим использовать в технологии производства синтетических каучуков отходы и побочные продукты ряда производств [1].

В производстве эмульсионных каучуков проблематичной стадией является выделение его из латекса. Применение для выделения каучуков из латексов низко- и высокомолекулярных четвертичных солей аммония позволяет исключить применение минеральных солей и снизить загрязнение окружающей среды [2]. Полимерные четвертичные соли аммония (ПЧСА) обладают высокой коагулирующей способностью, и невысоким расходом при выделении каучука из латекса (3-5 кг/т каучука) [2]. Однако дефицитность и высокая стоимость данных продуктов отражается на себестоимости каучука и, соответственно, изделий на его основе. Кроме того, ПЧСА обладают высокой антисептической активностью. Это требует соблюдения точных дозировок в технологический процесс и исключения попадания его на очистные сооружения, т.к. это приведет к дестабилизации работы очистных сооружений.

На предприятиях, производящих сахар, в качестве побочного продукта в больших количествах образуется отход – меласса, которая в настоящее время выпускается двух видах: классическая (ГОСТ Р 52304-2005) и обедненная (ТУ 9112-002-01503401-2011). Анализ компонентного состава показывает, что в данных отходах отсутствуют вредные и опасные для здоровья человека вещества. Меласса – сиропобразная жидкость темно-бурого цвета со специфическим запахом. В состав мелассы входит 20-25 % воды, около 9 % азотистых соединений, 58-60 % углеводов (главным образом сахара), 7-10 % золы. Возможность применения мелассы в качестве коагулирующего агента базируется на том, что в её составе входят азотистые соединения, применение которых для выделения каучуков из латексов показано в работе [2].

Цель исследования – изучение возможности применения комбинированного коагулянта на основе хлорида натрия и мелассы классической для выделения каучука из латекса СКС-30 АРК с оценкой показателей резиновых смесей и вулканизатов.

Коагуляцию латекса проводили по методике, описанной в работе [3]. Исходный раствор мелассы разбавляли водой до концентрации 13-15 %. Температура коагуляции 20 °С. Сухой остаток латекса 21,2 %. Водный раствор серной кислоты с концентрацией ~ 2,0 %

Проведенными исследованиями установлено, что полноту выделения каучука из латекса достигали при следующем расходе комбинированного коагулянта: хлорида натрия 19-30 кг/т каучука, мелассы 60-20 кг/т каучука. Таким образом, общий расход комбинированного коагулянта составлял 50-79 кг/т каучука, что в 2-3 раза меньше, чем такого распространенного коагулянта, как хлорид натрия (150-170 кг/т каучука). Необходимо отметить, что расход соле-

вой составляющей в комбинированном коагулянте снижается в 8-9 раз. Данная технология выделения является перспективной и может конкурировать с реально действующими технологиями в промышленных масштабах.

Данное предположение подтверждается и результатами исследований каучука СКС-30 АРК. Приготовленные на его основе резиновые смеси и вулканизаты по своим показателям соответствуют предъявляемым требованиям. По такому показателю, как, устойчивость к старению, вулканизаты на основе экспериментального каучука превосходят контрольные образцы.

Список литературы

1. Никулин С.С., Шеин В.С., Злотский С.С., Черкашин М.И., Рахманкулов Д.Л. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза. М.: Химия, 1989. 240 с.
2. Вережников В.Н., Никулин С.С. Применение азотсодержащих соединений для выделения синтетических каучуков из латексов // Химическая промышленность сегодня. 2004. № 11. С. 26-37.
3. Пояркова Т.Н., Никулин С.С., Пугачева И.Н., Кудрина Г.В., Филимонова О.Н. Практикум по коллоидной химии латексов. М.: Издательский дом Академии Естествознания. 2011. 124 с.

ОСОБЕННОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Перекрестов А.Е., Германова В.А.

аспиранты кафедры «Технологии конструкционных материалов»,
Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), Россия, г. Москва

В статье проводится обзор материалов, используемых для изготовления блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, приводятся их основные преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется блокам цилиндров из алюминия и его сплавов. Рассматриваются методы упрочнения его рабочих поверхностей.

Ключевые слова: алюминиевый блок цилиндров и его рабочие поверхности, искровое упрочнение, микродуговое оксидирование.

С момента своего появления до современных моторов, конструкция блоков цилиндров прошла длительную эволюцию. В цилиндрах перемещаются поршни, передающие энергию расширяющихся, после сгорания топливо-воздушной смеси, газов на коленчатый вал, который преобразует эту энергию во вращательное движение. Блок цилиндров является основной деталью двигателя и к ней предъявляются высокие требования по надежности и долговечности. В связи с этим, блок цилиндров отливают целиком. Конструкции современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) изготавливаются из разных материалов, так, существуют чугунные, магниевые и алюминиевые блоки цилиндров. Материал для изготовления детали выбирается

на основании присущих ему свойств. Чугунные блоки цилиндров характеризуются большей износостойкостью по сравнению с алюминиевыми.

Магниевые блоки цилиндров сочетают в себе твердость чугуна, и легкость алюминиевого материала, но производство таких блоков требует гораздо более значительных затрат, в связи с чем их изготовление не применяется на конвейерном производстве. Преимущественно, магниевые блоки отливаются для автоспорта.

По сравнению с чугунными блоками, алюминиевые блоки цилиндров значительно снижают вес всей конструкции не только за счет низкой плотности материала: плотность алюминия (ГОСТ 1583-93) – 2700 кг/м^3 , что в 2,5 раза ниже, чем плотность чугуна (ГОСТ 1412-85) – $6800\div 7300 \text{ кг/м}^3$. Также в виду того, что теплопроводность алюминия (теплопроводность алюминия – $202\div 236 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) в 2,5 раза превышает теплопроводность чугуна (теплопроводность железа – $92 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). Использование алюминиевых блоков позволяет уменьшить требуемый объем охлаждающей жидкости для охлаждения блока цилиндров, что также снижает массу конструкции. Необходимость снижения веса у транспортных средств обусловлена снижением расхода топлива: чем больше вес конструкции, тем больше разгоняемая масса, больше сопротивление качению и сопротивление на подъемах. Уменьшение веса транспортного средства позволит сократить потребление топлива, следовательно, снизит выброс вредных веществ. Не маловажным преимуществом алюминиевых блоков является высокое качество поверхности, коррозионная стойкость и многообразие методов обработки поверхности.

Одной из самых распространенных проблем, с которыми встречаются обладатели автомобилей с алюминиевыми блоками цилиндров двигателей внутреннего сгорания, является износ рабочих поверхностей. Для повышения срока службы алюминиевых блоков цилиндров используют специальные сплавы или покрытия либо применяют методы модификации поверхностного слоя. В первом случае, существуют следующие технологии формирования рабочих поверхностей: монолитные, гетерогенные и частично-монолитные. Технология производства монолитной рабочей поверхности заключается в использовании заэвтектического алюминий-кремниевый сплав ALUSIL. Самым распространенным сплавом из данной категории является сплав AISi17Cu4Mg с повышенным содержанием кремния до 17%. Рабочие поверхности могут быть гетерогенные. Гильзы цилиндров могут быть заливаемыми, запрессованными на горячую и мокрыми гильзами. Частично-монолитные рабочие поверхности изготавливаются методом покрытия рабочей поверхности цилиндров (в качестве покрытия используют никель, хром и др.) или методом лазерного легирования кремнием.

Среди методов упрочнения поверхностного слоя алюминиевых блоков цилиндров стоит отметить следующие: метод искрового упрочнения и микродуговое оксидирование. Метод искрового упрочнения позволяет получить модифицированный слой толщиной до 300 мкм из оксидов или нитридов материала подложки в результате импульсного воздействия на поверхность за-

готовки искрового разряда, параметры которого позволяют осуществить проникновение атомов и ионов газовой среды вглубь материала заготовки.

Сущность микродугового оксидирования состоит в том, что под действием высокого напряжения, между находящейся в электролите деталью и электродом, на поверхности заготовки возникают точечные мигрирующие микродуговые разряды. Под воздействием этих разрядов поверхностный слой детали преобразуется в керамическое покрытие, прочно сцепленное с основой.

Таким образом, упрочнение алюминиевых блоков цилиндров является перспективным направлением для современного машиностроения, так как позволит повысить эффективность конструкции по сравнению с чугунными блоками и снизить затраты, по сравнению с магниевыми блоками ДВС.

Список литературы

1. Мусин Н. Х., Дударева Н. Ю. Перспективы повышения износостойкости цилиндров двигателей внутреннего сгорания методом искрового упрочнения / Молодой ученый. – 2010. – №1-2. Т. 1. – С. 90-94.
2. Калачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
3. Дятчин Н.И. История развития техники: Учебное пособие / Н.И. Дятчин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2001. – 320 с.
4. Новиков А.Н. Упрочнение восстановленных головок блоков цилиндров из алюминиевых сплавов микродуговым оксидированием: монография /А.Н. Новиков, В.В. Жуков. – Орел: ОРЕЛГТУ, 2010. – 84 с.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Помигуев А.В.

адъюнкт кафедры аэродромно-технических средств,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, г. Воронеж

Шуклин И.К.

начальник учебно-методического центра, канд. техн. наук, доцент,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, г. Воронеж

В статье приведен сравнительный анализ централизованных и наземных средств электроснабжения воздушных судов, выявлены недостатки данных средств. Представлены способы преобразования различных видов энергии в электрическую и перспективы использования электрохимической энергоустановки на топливных элементах для обеспечения воздушных судов электрической энергией.

Ключевые слова: источник электрической энергии, электрохимическая энергоустановка, электрохимический генератор, топливный элемент.

В настоящее время питание бортовых потребителей воздушных судов (ВС) электрической энергией при подготовке к вылету и выполнении регламентных работ осуществляется с помощью централизованных и наземных средств электроснабжения (СЭС).

В состав централизованных СЭС на постоянных аэродромах базирования авиации для наземного обслуживания электроэнергетических систем ВС и запуска их авиационных двигателей входят агрегатные, преобразовательные установки (ПРУ) и кабельная распределительная сеть от агрегатной до ПРУ. Электрическая энергия к агрегатным подводится от трансформаторной подстанции, которая подключена к высоковольтной линии энергосети. Каждая агрегатная рассчитана на электроснабжение нескольких ПРУ. Преимуществом централизованных СЭС является возможность одновременного обслуживания 8-12 ВС, а при необходимости и более, что сокращает время подготовки их к вылетам. При этом сокращаются экономические затраты, так как получение требуемой электроэнергии происходит за счет преобразования энергии промышленной сети, которая является достаточно недорогой и постоянно доступной в условиях повседневной деятельности войск. Однако в условиях ведения боевых действий возникает высокая вероятность поражения противником электроэнергетических объектов аэродрома, в том числе и линий электропередач [1, с. 33].

В качестве наземных СЭС на аэродромах государственной авиации используют подвижные, передвижные агрегаты и стационарные преобразователи, использующие различные типы силовых установок и схемы построения электроэнергетических систем.

Подвижные агрегаты используют энергию сгорания топлива в силовых установках с последующим преобразованием механической энергии в электрическую. Широкое применение получили подвижные электроагрегаты, автономность которых обеспечивается использованием двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в качестве силового привода генераторов. Однако низкая надежность данных электроагрегатов предопределена сложной конструкцией узлов отбора мощности ДВС, а также необходимостью его работы на высоких оборотах (2000 об/мин), что снижает стабильность поддержания частоты выходного тока. Опыт эксплуатации подвижных электроагрегатов показал, что использование в качестве привода источников электрической энергии ДВС обеспечивает только требованиям автономности и мобильности, однако способствует ухудшению экологических и эргономических параметров электроагрегатов, а зависимость его эксплуатационных характеристик от условий окружающей среды ограничивает его надежные характеристики [1, с. 38].

Передвижные электроагрегаты и стационарные преобразователи используют энергию промышленной сети. Они преобразуют энергию переменного трехфазного тока 380 В, 50 Гц промышленной сети в электроэнергию, параметры которой удовлетворяют требованиям бортовых потребителей ВС. Данные средства хотя и удовлетворяют требованиям по обеспечению воздушного судна электрической энергией, однако являются разработками 80-х

годов XX века, морально устарели и достигли своего технического предела.

Исходя из особенностей наземного обслуживания ВС и выявленных недостатков централизованных и наземных СЭС остается актуальным вопрос необходимости и актуальности поиска технических решений по совершенствованию данных средств аэродромно-технического обеспечения полетов. Современное развитие науки и техники предоставляет возможность создания автономных, малозаметных, надежных, экологически чистых, рассредоточенных и мобильных источников электрической энергии и использования новых источников электрической энергии (ИЭЭ) вместо существующих [3, с. 17].

Проведя анализ преобразования различных видов энергии в электрическую следует, что электрическую энергию можно получить преобразованием солнечной, ветровой, химической и ядерной энергий.

Важным достоинством солнечного излучения является то, что оно не нуждается в специальных средствах доставки и его ресурс неисчерпаем. Достоинством данного способа является то, что солнечная батарея не имеет движущихся и трущихся частей, а значит, может служить достаточно длительное время (до 25 лет). Несмотря на то, что преобразование солнечной энергии в фотоэлектрических генераторах происходит в одну стадию, данный способ имеет низкий коэффициент полезного действия (КПД) (20-30 %) вследствие низкой способности фотоэлементов преобразовывать световую энергию в электрическую. Таким образом, использование солнечных батарей на аэродромных СЭС ВС нецелесообразно.

Получение электроэнергии при помощи ветра происходит ветроэнергетическими установками в две стадии. Преимуществом ветрового способа являются простота конструкции, использование возобновляемого ресурса, отсутствие вредных выбросов. Принцип действия ветроэнергетических установок заключается во вращении ветроколеса с лопастями под напором ветра и передаче крутящего момента валу генератора, вырабатывающего электрическую энергию. Но ветер постоянно не дует, поэтому для функционирования данной энергетической системы необходимо предусмотреть какие-либо накопители энергии (аккумуляторы, конденсаторы), что усложняет источник и снижает надежность. Таким образом, использование энергии ветра зависит от его особенностей в местах расположения аэродромов, а слишком большое ветроколесо усложняет конструкцию ИЭЭ, демаскирует его и снижает безопасность полетов в районе аэродрома, то есть использование ветроэнергетических установок на аэродромах государственной авиации также нецелесообразно.

При ядерном способе получения электроэнергии генератором является атомный реактор. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжелых элементов, как и на обычных тепловых электростанциях преобразуется в электроэнергию. Данный способ является наиболее современным и имеет ряд существенных преимуществ: он экономичен, при нормальных условиях функционирования абсолютно не загрязняет окружающую среду, не требует привязки к источнику сырья и соот-

ветственно может применяться на передвижных тележках. Но недостатками атомного способа является опасность радиоактивного заражения местности при авариях в мирное время и уязвимость при ведении боевых действий. Следовательно, использовать ядерный способ для наземного обслуживания ВС также нецелесообразно[1, с. 51].

Среди всего многообразия альтернативных источников энергии для наземного обеспечения авиации перспективным может выступить электрохимическая энергоустановка на топливных элементах (ТЭ).

ТЭ – это электрохимические генераторы для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую. Они принципиально отличаются от всех генераторов электроэнергии тем, что в них химическая энергия преобразуется в электрическую, минуя стадию превращения в тепловую энергию. В ТЭ протекает тот же процесс горения топлива, что и в двигателях внутреннего сгорания – взаимодействие топлива с кислородом. В них непрерывно подаются топливо и окислитель и отводятся продукты реакции, благодаря чему они могут работать без остановок длительное время. По сравнению с ДВС электрохимические генераторы имеют ряд эксплуатационных преимуществ: они работают при низкой температуре, бесшумно, без вредных выхлопных газов, выдерживают высокие перегрузки, их КПД растет с уменьшением нагрузки. Все эти качества очень полезны во многих случаях применения этих автономных источников тока[2, с. 26].

ТЭ – лишь составная часть электрохимической энергоустановки, которая содержит еще системы кондиционирования, подготовки топлива, утилизации отходов и др. Первичным топливом могут быть метан, пары метанола, керосина, синтез-газ и т.д. КПД у генераторов с ТЭ изменяются от 30% (ДВС и газовые турбины) до 60-65% (энергоустановки с твердооксидными ТЭ).

В общем случае ТЭ состоит из двух электродов с электродными камерами и ионного проводника (электролита) между ними. На аноде (отрицательный электрод) происходит реакция электроокисления топлива, а на катоде (положительный электрод) протекает электрохимическое восстановление окислителя. Электроды служат для проведения электрохимических реакций, подвода или отвода электронов. В электролите происходит движение положительно и отрицательно заряженных частиц (ионов). Ионный проводник также служит для разделения окислителя и восстановителя. При работе ТЭ анод и катод замыкаются проводником первого рода, по которому двигаются электроны от анода к катоду, образуя электрический ток[4, с. 37].

Таким образом, электрохимическая энергоустановка является перспективным ИЭЭ и её целесообразно использовать для обеспечения электрической энергией ВС. По сравнению со многими другими автономными энергоустановками она обладает рядом достоинств в том числе: безвредностью; отсутствием шума и вибрации; высоким КПД, отсутствием потребления реагентов в нерабочем состоянии; модульной конструкцией, позволяющей получать установки различной мощности и напряжения и размещать их в пространстве разной формы; простотой эксплуатации и хранения; достаточно высокой надежностью.

Список литературы

1. Винокуров С.Д., Лазукин В.Ф., Шуклин И.К., Винокуров В.Д. Требования к электрохимическим генераторам для наземного обслуживания воздушных судов: монография. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), 2015. 191 с.
2. Коровин Н.В. Электрохимические генераторы. М.: Энергия, 1974. 208 с.
3. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. М.: Издательство МЭИ, 2005. 280 с.
4. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы. М.: Энергоиздат, 1982. 448 с.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГЕОКАРТИРОВАНИИ

Попова Е.О.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск

В статье рассказывается о полярных сияниях, их характеристиках, и применении данных собранных по полярным сияниям в построении карт геологической разведки.

Ключевые слова: полярные сияния, исследование, распределение, измерение, построение.

Ориентация полярных сияний одна из наиболее увлекательных проблем. Она сложнее чем кажется, поэтому интересна для исследователей. Неравномерность распределения полярных сияний в пространстве является их существенной особенностью поэтому она определила название самого явления. Пространственное распределение – это распределение совокупности средних положений сияния в проекции на земную поверхность. Полученная двумерная картина называется географическим распределением сияния. Для получения наиболее точной картины необходима третья координата-высота сияния. Для описания географического распределения всех сияний используют линии равной частоты появления в пределах видимого света. Наиболее корректное распределение получается в то время, когда сияние находится в зените [3, с. 210].

Основные максимальной частоты проявления сияний находятся в зоне высоких широт. Размеры и положение зон сияний сравнительно стабильны, и только некоторые варьируются в зависимости от уровня геомагнитной возмущенности и фаз цикла солнечной активности. С переходом от минимума к максимуму солнечной активности зона сияний смещается к экватору на 2-3 градуса широты, эти изменения наиболее заметны в дневное время чем в ночное.

Рассмотренные высокоширотные дискретные сияния вызываются низкоэнергичными электронами, существенную роль может играть также тепловое возбуждение, поэтому для этих сияний характерны большие высоты и

увеличение отношения интенсивности линии 630 нм к интенсивности эмиссий 557,7 и 427,8 нм. Наряду с дискретными формами здесь может наблюдаться диффузное свечение с увеличенной относительной интенсивностью излучения иона молекулярного азота 391,4 и 427,8 нм, так называемое свечение полярной шапки, возникающее, по-видимому, на высотах менее 100 км. Возникновение этого свечения совпадает с особым типом нарушений распространения радиоволн, известным под названием поглощение в полярной шапке и вызываемым вторжением в атмосферу солнечных протонов и альфа-частиц с энергиями в десятки мегаэлектронвольт. Большая энергия возбуждающих частиц определяет значительную глубину их проникновения в атмосферу и малую высоту сияний [2, с. 384].

Так же сияния активно проявляются в зоне средних широт. В средних широтах в основном проявляются красные монохроматические дуги. Они возбуждаются мягкими электронами, поэтому их высоты значительно больше максимума свечения и расположены примерно на 400 км. Визуально эти дуги не наблюдаются из-за низкой чувствительности глаза в красной области спектра. На территории страны имеется очень мало наблюдаемых монохроматических дуг. Область появления устойчивых красных дуг можно рассматривать как среднеширотную авроральную зону, в которой сияния представляются особым морфологическим типом [4, с. 17].

В вертикальном направлении полярные сияния вытянуты вдоль силовых линий геомагнитного поля, что определяется самой их природой — ведущие центры траекторий заряженных частиц, возбуждающих свечение, движутся вдоль магнитного поля. Лучи сияний в буквальном смысле слова визуализируют силовые линии. Если лучистые дуги и полосы располагаются вблизи зенита, образуется веерообразное сияние-корона. В ее центре из-за конечной длины лучей обычно видно темное пятно, внутри которого находится место перспективного схождения практически параллельных между собой лучистых образований. Эта точка пересечения продолжения лучей называется их радиантом или зенитом полярного сияния. Сдвиг зенита сияний относительно магнитного зенита обусловлен тем, что при появлении даже не очень активных сияний и сопутствующем им усилении ионосферных токов конфигурация магнитного поля всегда искажается. Определение положения аврорального зенита и его изменений не может быть выполнено для произвольных моментов времени, а осуществимо лишь при появлении лучистых сияний в зенитной области, что накладывает существенные ограничения на эксперимент. Для исключения «размазывания» изображения деталей структуры при регистрации необходимо высокое временное разрешение аппаратуры. Наблюдения за движением аврорального зенита дают возможность по данным наземной регистрации оценить величину малых вариаций и предельного электрического тока в области сияний. Значение таких измерений для физики полярных сияний может быть огромным. Высота представляет собой одну из важнейших морфологических характеристик полярных сияний, непосредственно зависящую от энергии первичных возбуждающих частиц [1, с. 12].

Несмотря на то, что в мире выполнены десятки тысяч измерений, вопрос изучения высот сияний остается актуальным. Определение высот наземными средствами требует синхронной регистрации из двух пунктов, что усложняет работу. В реальных условиях редко удастся измерить высоту конкретного рассматриваемого сияния. Поэтому исследователи так часто вынуждены при анализе просто задавать наиболее вероятное значение высоты.

Список литературы

1. Надубович Ю.А. Визуальные наблюдения полярных сияний. – Якутск 1975. С. 10-15.
2. Надубович Ю.А. Морфологические исследования полярных сияний (практика и результаты). – Новосибирск 1992. С. 384.
3. Попов Л.Н., Краковецкий Ю.К., Захаренко В.Н., Парначев В.П., Одинцов Н.М. О новом дистанционном методе ионосферно-теллурического профилирования для прогнозирования нефтегазоносных структур // Вестник Томского государственного университета. № 321. 2009. С. 209-211.
4. Старков Г.В. Планетарная динамика аврорального свечения: сборник ПГИ. – Санкт-Петербург 2000. С. 15-20.

ВСЕ НОВОЕ – ЭТО ДАВНО ЗАБЫТОЕ СТАРОЕ

Рыжкин В.В.

аспирант кафедры «Автомобили и транспортно-технологические системы»,
Университет машиностроения (МАМИ), Россия, г. Москва

В данной статье, рассмотрена альтернатива шумного и экологически не безопасного двигателя внутреннего сгорания. Альтернативой является двигатель Стирлинга, который относится к двигателю внешнего сгорания. Двигатель Стирлинга в сравнении с двигателем внутреннего сгорания является экономичнее и экологически безопаснее, что дает ему право конкурировать в современном мире.

Ключевые слова: двигатель, источник энергии, альтернатива, сгорания, экология, регенерация, рабочее тело.

Человечество XXI века, смотрит вперед с оптимизмом и ждет от науки все новые разработки, которые направлены на улучшение жизни. Действительно на сегодняшний день идет внедрение в нашу жизнь все более экономичных, экологически безопасных и перспективных технологий.

Одно из главных направлений современной науки, о которых пойдет речь в этой статье, об альтернативном двигателестроении. Альтернативные двигатели называются так, потому, что они преобразуют в механическую работу, альтернативные источники энергии, такие как ветер, солнце, вода и т.д., либо традиционные топлива керосин, бензин, дизель, спирт, и т.д.

Двигатели, всевозможных типов, дают нам энергию, свет, тепло и информацию. На сегодняшний день, двигатели являются той частью нашей современной цивилизации, без которой нормальное существование и развитие, будет невозможно. Двигатели обеспечивают рост производства, сокращают

расстояние и вообще берут на себя всю основную тяжелую работу. В настоящее время, широко распространены двигатели внутреннего сгорания, но они имеют ряд недостатков: шум, вибрация, вредные отработанные газы, которые еще и уносят 30% неиспользуемой тепловой энергии. Все это пагубно влияет на нашу с вами природу. Но уже сегодня существует альтернатива. Класс двигателей, от которых вред минимален – это двигатели Стирлинга им и посвящена эта статья.

Двигатель Стирлинга, был запатентован еще в начале XIX века, а точнее 27 сентября 1816 года Шотландским священником Робертом Стирлингом (1790-1878 гг.) который с детства проявлял интерес к механике. Да действительно в этом году в сентябре двигателю Стирлинга исполниться уже 200 лет. И в то далекое время, двигатель Стирлинга, появился как альтернатива, небезопасной паровой машине Джеймса Уатта (1736-1819 гг.). Роберт Стирлинг был священником в местечке Лайф Кирк, в то время многие работали в шахтах, не исключением были даже шестилетние дети. Основным источником энергии для откачки воды из шахт, была паровая машина, котел которой часто взрывался, унося много жизней. Роберту Стирлингу это было известно не понаслышке, и на фоне этого он решил, создать более безопасную альтернативу, паровой машине. Ему были известны первые элементарные “двигатели горячего воздуха” появившиеся еще в конце XVIII века. Они работали при наименьшем давлении, чем паровая машина, и поэтому не взрывались, что в свою очередь делала их безопаснее. Главным достижением Роберта Стирлинга, являлось добавление регенератора. Регенератор, увеличил производительность двигателя, за счет сохранения тепла в горячей части, в то время когда рабочее тело охлаждалось. Этот процесс намного повысил производительность всей системы.

В 1843 году брат Роберта Стирлинга, Джеймс Стирлинг использовал двигатель брата на заводе, где он работал инженером. Там выяснилось, что в отличие от паровой машины, двигатель Стирлинга не только безопаснее, но и намного экономичнее. Но на тот момент времени, двигатель Стирлинга имел свой главный недостаток: большой удельный вес на единицу выработанной мощности, но это не мешало ему быть широко распространённым. Хотя если мы посмотрим историю всего двигателя строения, то увидим, что в начале своего появления все поршневые двигатели, будь то внутреннего или внешнего сгорания, были громоздкими и маломощными. И только благодаря долгой и упорной работе тысяч ученых и инженеров, двигатели стали такими, какими мы их знаем сейчас. Двигатель Стирлинга хоть и был забыт на фоне появившихся двигателей Николауса Августа Отто и Рудольфа Дизеля, о нем все же вспоминали, когда требовалась механическая энергия в труднодоступных местах земного шара. В 1938 году фирма Филипс инвестировала в разработку двигателя Стирлинга не малые средства и получила компактный двигатель мощностью более 174 кВт и КПД более 30 процентов. Вот и доказательство того, что когда в разработку вкладывают средства, силы и время она начинает приносить свои плоды.

Принцип работы двигателя Стирлинга заключается в постоянно чередующемся нагревании и охлаждении рабочего тела в закрытом пространстве (цилиндр, полость). Рабочим телом в основном является обычный воздух, но для максимальной эффективности используют водород или гелий. Так же в роли рабочего тела, использовалась вода или иная жидкость со схожими свойствами. Характерной чертой двигателя Стирлинга с жидким рабочим телом являются небольшой размер, но высокая удельная мощность и большое давление. Стоит отметить, что рассматривались двигатели Стирлинга и с двухфазным рабочим телом. В основе работы двигателя Стирлинга лежит закон идеальных газов $PV=nRT$, это означает, что при нагревании газа его объем увеличивается, а при охлаждении уменьшается. Двигатель Стирлинга использует цикл Стирлинга, который по термодинамической эффективности не уступает циклу Карно и даже обладает преимуществом. Цикл Карно состоит из мало отличающихся между собой изотерм и адиабат. Практическая реализация цикла Карно мало перспективна. Цикл Стирлинга позволил получить практически работающий двигатель в приемлемых габаритах.

Двигатели Стирлинга делятся на три типа альфа, бета, гамма. Самые распространенные и эффективные это альфа и бета типы. Но стоит также отметить, что и сейчас двигатель Стирлинга имеет недостатки, которые требуется исправить:

- Система охлаждения имеет объем в два раза больше чем у двигателя внутреннего сгорания.

- Для получения высоких характеристик применяется высокое давление свыше 100 атмосфер, что приводит к проблеме удержания рабочего тела.

- Высокая температура и давление вынуждают применять высококачественные и дорогие материалы, но если взять во внимание стоимость современного дизельного двигателя с системой common rail сводит этот недостаток к норме.

Не смотря на имеющиеся недостатки двигатель Стирлинга, в сравнение с традиционными двигателями внутреннего сгорания он так же и имеет значительные преимущества над ними.

- Всеядность и неприхотливость к качеству топлива.

- Способен оставаться работоспособным в таких условиях, в которых традиционный двигатель внешнего сгорания будет обычным железом.

- Двигатель конструктивно очень прост, он не требует таких сложных систем как газораспределительный механизм, что приводит к большому моторесурсу и делает его сверх надежным.

- Способен запускаться самостоятельно, следовательно, не нуждается в тяжелом стартере и аккумуляторной батарее.

- Меньший расход топлива.

- Является наиболее экологически безопасным, так как работает в замкнутом цикле и не имеет выхлопа, что делает его еще и бесшумным. Экологичность двигателя обусловлена, прежде всего, экологичностью источника тепла. Также стоит отметить, что полноту сгорания в двигатели внешнего сгорания обеспечить на много проще чем в двигатели внутреннего сгорания.

- Применяя ромбический механизм в двигатели Стирлинга, делает его идеально сбалансированным амплитуда вибрации менее 0,0038 мм.

Так же стоит отметить, что двигатель Стирлинга имеет интересную и полезную особенность, за которую он получил прозвище “оборотень”. Особенность заключается в том, что если привести двигатель Стирлинга в движения другим двигателем то горячий цилиндр начнет охлаждаться и температура достигнет -200 С. Мы уже получаем не двигатель, а криогенную установку, вот такая особенность.

После того как в 1816 году двигатель Стирлинга был изобретен он пережил первый период своего массового распространения в конце XIX века после чего был практически забыт. Возможно сейчас настало самое время снова начать массово использовать экологически безопасный и эффективный двигатель Шотландского священника Роберта Стирлинга.

Список литературы

1. Бреусов В. Стирлинги уже давно работают в космосе.
2. Двигатели Стирлинга. Пер. с англ. Под ред. В.М.Бродянского. М.: Мир, 1975.
3. Двигатели Стирлинга / [В.Н. Даниличев, С.И. Ефимов, В.А. Звонок и др.]; под ред. М.Г. Круглова. – М.: «Машиностроение», 1977.
4. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
5. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга: Пер. с англ. М.: Энергия, 1978.
6. Уокер Г. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1985. «Колеса» (статья).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛОКУЛЯНТОВ В ВИДЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ

Савдур С.Н.

доцент кафедры экономико-математического моделирования, канд. техн. наук,
Институт управления, экономики и финансов К(П)ФУ,
Россия, г. Казань

Половкина Э.А.

доцент кафедры экономико-математического моделирования, канд. экон. наук,
Институт управления, экономики и финансов К(П)ФУ,
Россия, г. Казань

Рассматривается технологический модуль глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов. Показана целесообразность использования математического аппарата теории сетей Петри при моделировании и проектировании данного технологического модуля. Построена модель в виде модифицированной сети Петри и на ее основе разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом очистки сточных вод.

Ключевые слова: сеть Петри, очистка сточных вод.

В связи с возрастающими требованиями к качеству очищаемых сточных вод возникает проблема интенсификации работы действующих очистных сооружений. Использование флокулянтов на разных стадиях очистки промышленных сточных и обработки осадка позволяет повысить качество очищенной воды и увеличить пропускную способность очистных сооружений без значительных капитальных затрат [4].

Современные очистные сооружения крупных промышленных предприятий характеризуются сложной многоуровневой структурой, поэтому могут рассматриваться как сложные кибернетические системы. Эффективность функционирования таких систем можно обеспечить с помощью современных методов обработки информации, применяя методы системного анализа сложных объектов на основе математического описания технологического процесса [2].

Применение методов системного анализа определяет процедуру разработки системы управления установкой очистки промышленных сточных вод, которая предусматривает составление математической модели на основе сетей Петри, что обеспечивает управление потоками в установке.

Структурная схема глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов представлена на рис. [4].

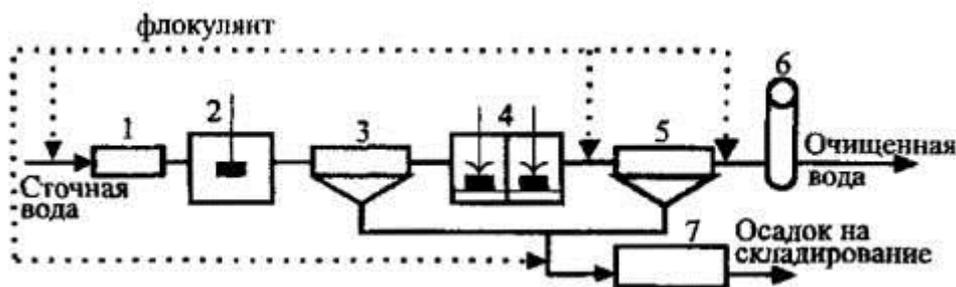


Рис. Структурная схема глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов

На рисунке изображены: 1 – сооружение смешения, 2 – сооружение флокуляции, 3 – сооружение механической очистки, 4, 5 – сооружение биологической очистки, 6 – сооружение глубокой очистки, 7 – сооружение обезвоживания осадка.

Технологический процесс глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов рационально может быть описан модифицированными сетями Петри. Для описания системы нами предлагается использование N-схем, опирающихся на математический аппарат сетей Петри, одним из достоинств которого является возможность представления сетевой модели как в аналитической форме, с возможностью автоматизации процесса анализа, так и в графической форме с обеспечением наглядности разрабатываемой модели [3].

При анализе технологических схем следует учитывать основное ограничение формализма N-схем, которое состоит в том, что они не учитывают временные характеристики моделируемых систем, так как время срабатывания перехода считается равным нулю. Учитывая эти условия, нами предло-

жены модифицированные сети Петри (МСП). Модификация сетей Петри (МСП)- сеть Петри вида $S = \langle P, T, I, O, M, L, \tau_1, \tau_2 \rangle$, где $T = \{t_j\}$ – конечное непустое множество символов, называемых *переходами*, оцениваются исходя из количества условных порций продукции при непрерывной подаче в аппараты технологической схемы.

$P = \{p_i\}$ - конечное непустое множество символов, называемых *позициями*. В нашем случае – это множество аппаратов технологической схемы;

$I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – входная функция, которая для каждого перехода t_j задает множество его позиций $p_i \in I(t_j)$.

$O: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – выходная функция, которая отображает переход в множество выходных позиций $p_i \in O(t_j)$.

$M: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ – функция маркировки (разметки) сети, которая ставит в соответствие каждой позиции неотрицательное целое число, равное числу меток в данной позиции, которое меняется в процессе работы сети.

Срабатывание перехода мгновенно изменяет разметку $M(p) = (M(p_1), M(p_2), M(p_3), \dots, M(p_n))$ на разметку $M'(p)$ по следующему правилу:

$$M'(p) = M(p) - I(t_j) + O(t_j) \quad (1)$$

Запись уравнения (1) означает, что переход t_j изымает по одной метке из каждой своей входной позиции и добавляет по одной метке в каждую из выходных.

$\tau_1: T \rightarrow N$ и $\tau_2: P \rightarrow N$ функции, определяющие время задержки при срабатывании перехода и время задержки в позиции.

Динамика выполнения МСП определяется движением меток, моделирующих движение дискретных потоков полупродуктов.

Таким образом, рассмотренная модификация сетей Петри позволяет решать следующие задачи:

- 1) анализ функционирования аппаратов системы в условиях нестандартных ситуаций;
- 2) анализа переключения управления на сетевом уровне;
- 3) анализа технологических схем дискретно – непрерывных производств для обеспечения устойчивого, стабильного состояния.

Для управления процессом глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов разработана математическая модель технологической схемы и ее программная реализация. Математическая модель системы глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов разработана в виде МСП, реализация, которой позволила исследовать системные связи и законы функционирования установки в целом [1]. Построены также модели основных аппаратов, реализующих технологический процесс глубокой очистки промышленных сточных вод. Из СП – моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки.

С использованием СП-модели нами разработан программный комплекс системы технологического модуля глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов, имитирующей функционирование очистки в виртуальном времени. Средствами SCADA-технологии TRACE

MODE разработан программный комплекс системы управления технологическим процессом глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов. Система управления технологическим процессом позволяет выполнять диспетчерский контроль основных элементов системы управления, останавливать систему глубокой очистки промышленных сточных вод с применением флокулянтов и анализировать ее состояние как в целом, так и в целях прогнозирования развития внештатных ситуации [5].

Список литературы

1. Азимов Ю.И. Технологический модуль очистки нефтесодержащих сточных вод // Известия КазГАСУ. 2009. № 2 (12). С. 227 – 232.
2. Анаников С.В., Савдур С. Н., Басырова Д.И. Технологический модуль очистки сточных вод производства полимеров. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 6. С. 121 – 125.
3. Анаников С.В., Азимов Ю.И., Савдур С. Н. Разработка систем управления оборотного водоснабжения в нефтехимических производствах // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 2. С. 136 – 139.
4. Гандурина Л. В. Практический опыт применения флокулянтов в водоочистке // Вода и экология. 2001. № 3. http://бopak.pф/files/pdf/bopak_11.pdf (дата обращения: 30.05.2016).
5. Савдур С.Н., Понкратова С.А. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 7. С. 218 – 226.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПОМОЩИ САПР ТП

Суровцева О.А.

старший преподаватель кафедры управление качеством, канд. техн. наук,
Донской государственный технический университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье изложены научно обоснованные технологические разработки в области автоматизации технологической подготовки производства обуви. Их внедрение обеспечит технологов доступным инструментом для проектирования технологических процессов сборки обуви, что будет способствовать повышению эффективности производства.

Ключевые слова: технологический процесс, автоматизация, информационное обеспечение.

В настоящее время на обувных предприятиях существует отставание развития систем автоматизированного проектирования технологического процесса от систем автоматизированного проектирования конструкторских работ.

Следуя принципу стандартизации при построении АСТПП, необходимо, по возможности, заниматься не разработкой собственных программных средств для автоматизации задач проектирования и управления, а стремиться к поиску уже готовых систем, которые, с одной стороны, отвечают необхо-

димым функциональным требованиям, а с другой – уже доказали свою надежность и качество при их использовании на других предприятиях.

Наиболее универсальным программным продуктом, который может стать основой создания комплекса интегрированного проектирования, и инструментарием, позволяющим автоматизировать процесс технологического проектирования, является, на наш взгляд, САПР ТП «ТехноПро» – разработка корпорации «Вектор-Альянс» для машиностроительной промышленности.

Программной средой для реализации «ТехноПро» выбрана наиболее популярная система управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, которая имеется на каждом предприятии России, так как она входит в комплект Microsoft Office.

Для использования «ТехноПро» в других отраслях промышленности пользователям надо самостоятельно поместить в «ТехноПро» свои технологические знания

Для обеспечения оперативной и информационной поддержки ТПП на обувных предприятиях разработана база данных (БД) «ОбувьПро» и адаптирована для работы в составе системы «ТехноПро» для автоматизированного проектирования технологического процесса.

Структура БД «ОбувьПро» включает:

- базу «Конкретные технологические процессы» (КТП), в которой проектируются технологические процессы (ТП) сборки обуви различных методов крепления с дальнейшей выдачей их на печать;

- информационную базу (ИБ) с перечнями технологического оснащения, включая оборудование, приспособления, инструменты, а также тексты переходов, инструкции, наименования операций, нормы времени, нормы расхода материалов и т.д. Проектирование каждого ТП основано на выборе строк данных из ИБ. Структура и содержание ИБ полностью доступны для изменения пользователями;

- базу «Общие технологические процессы» (ОТП) с наборами операций, переходов, оснащения, применяемых, как при автоматическом, так и при диалоговом проектировании ТП;

- базу «Условия и расчеты», в которую вносятся условия выбора операций, оснащения для автоматизированного проектирования ТП, а также необходимые расчеты параметров ТП;

- базу «Конструкторская директивная и нормативная документация» (КД);

- базу «Справочники», которая открывает доступ к базе материалов, справочникам кодирования элементов конструкции изделия и их параметров.

В БД можно применять диалоговый, полуавтоматический или автоматический режим проектирования, а также их сочетание.

Список литературы

1. Суровцева О.А. Разработка информационного обеспечения технологического процесса производства обуви // Современное научное знание: теория, методология, практика. 2015. Ч.3. С. 117-118.

2. Суровцева О.А., Федорова Н.Ю. Автоматизация процесса работы с поставщиками на аптечных предприятиях // Символ науки. 2016. Ч. 2, №10. С. 99-100.
3. Суровцева О.А. Адаптация САПР ТП «ТехноПро» для автоматизированного проектирования технологических процессов производства обуви // Современные тенденции развития науки и технологии, сборник научных трудов. 2016. № 2. С. 117-118.
4. Суровцева О.А. Разработка САПР ТП «ОбувьПро» // Инновационные направления в научной и образовательной деятельности. 2015. Ч.1. С. 117-118.
5. Суровцева О.А. Решение задач технологической подготовке производства обуви с использованием потенциала машиностроительной САПР ТП // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития. 2015. Ч.1. С. 65-67.
6. Суровцева О.А. Формирование технологических процессов с использованием потенциала универсальных САПР ТП // Наука сегодня. 2015. Ч.1. С. 71-73.
7. Суровцева О.А. Разработка информационного обеспечения для автоматизированного проектирования технологического процесса // Символ науки. 2015. №9. С. 116-117.
8. Суровцева О.А. Управление технологическими процессами при помощи машиностроительной САПР ТП // Символ науки. 2015. Ч. 2. №10. С. 143-145.
9. Суровцева О.А. Автоматизация технологических процессов производства обуви с использованием САПР ТП «ТехноПро» // Современные тенденции развития науки и технологии. 2015. Ч.3. С. 120-122.
10. Суровцева О.А. Адаптация машиностроительной САПР ТП для улучшения качества технологической подготовки производства // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. Ч.1. С. 137-139.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ВОЛС С DWDM

Хранов С.Д., Латипов О.О., Графова Н.С., Старичихин М.Г.
магистранты по направлению прикладная информатика,
Технологический университет, Россия, г. Королев

В статье рассмотрены вопросы, связанные с кратким анализом технологией DWDM. Произведен анализ передачи оптического сигнала без воздействия нелинейных искажений.

Ключевые слова: ВОЛС, DWDM, EDFA, ОВ.

В настоящее время стремительное развитие оптической передачи информации привело к тому, что нелинейные искажения, считавшиеся незначительными, стали играть роль основного фактора, сдерживающего дальнейшее увеличение скорости и дальность передачи информации. Знание принципов возникновения нелинейных искажений позволит правильно подобрать не только тип оптического волокна, но и правильно спроектировать оптическую систему. Как известно любая транспортная сеть состоит активных и пассивных компонентов. Такими компонентами являются передатчик, усилитель и приёмник, а также оптические разветвители и волоконно-оптический кабель, представляющие собой пассивные компоненты. Активные компоненты вносят искажения только в спектр транслируемого сигнала [1, 7].

Вносимые искажения по своему характеру делятся на линейные и нелинейные. Теоритически, все виды линейных искажений можно устранить в конечной точке приёма [2, 3].

Линейные искажения никогда не связаны с уровнем сигнала, а вот нелинейные искажения всегда связаны с уровнем мощности сигнала и не подлежат устранению в конечной точке приема [4, 6].

При передаче сигналов в DWDM ВОЛС неизбежны искажения. Прежде всего, возникают линейные искажения, с коэффициентом затухания $\alpha \sim 0,2$ дБ/км [5,9]. Кроме того, с увеличением мощности и частоты сигнала увеличивается нелинейные искажения – Бриллюэновского рассеивания, Рамановское рассеяние, перекрестная фазовая модуляция и т.д. Кроме того, значительную роль играет дисперсия – сигналы разных длин волн из-за разного коэффициента преломления приходят на приемник с различными временными задержками. В настоящее время наиболее распространённым и дешёвым стандартном волокне – SMF – эта величина составляет порядка 17 пс/нм/км.

Поэтому применяются компенсаторы дисперсии – отрезки специального ОВ с отрицательной дисперсией (DCF)[5]. В среднем на каждые 100 км SMF требуется 20 км DCF[6]. Однако такой отрезок отрицательной дисперсии вносит дополнительное затухание на 10 дБ. Все это приводит к необходимости примерно через каждые 100 км ВОЛС использовать дополнительные оптические усилители. Наиболее распространенные и дешёвые из них – это усилители на основе ОВ, легированного эрбием (EDFA). Они могут усиливать сигнал на 10-30 дБ, но неизбежно ухудшают соотношение сигнал/шум в ОВ (OSNR), главным образом – из-за собственной спонтанной эмиссии [7].

Уровень собственных шумов усилителя прямо пропорционален коэффициенту усиления. Шумы накапливаются, в результате OSNR падает после каждого усилителя и примерно через 1000 км оказывается на уровне порогового значения фотоприемника при заданной вероятности ошибок и сигнал необходимо восстанавливать. Отметим, что это расстояние можно удвоить при том же расстоянии между оптическими усилителями, если использовать помехоустойчивое кодирование. Поэтому сегодня практически на всех ВОЛС устанавливают оборудование DWDM, использующее помехозащищающие коды Рида–Соломона с избыточностью не менее 7% [8].

Типичная структура регенерационного участка ВОЛС длиной 2000 км на основе SMF с пятью каналами в ОВ и скоростью модуляции 2,5 Гбит/с каждый и FEC показана на рисунке.

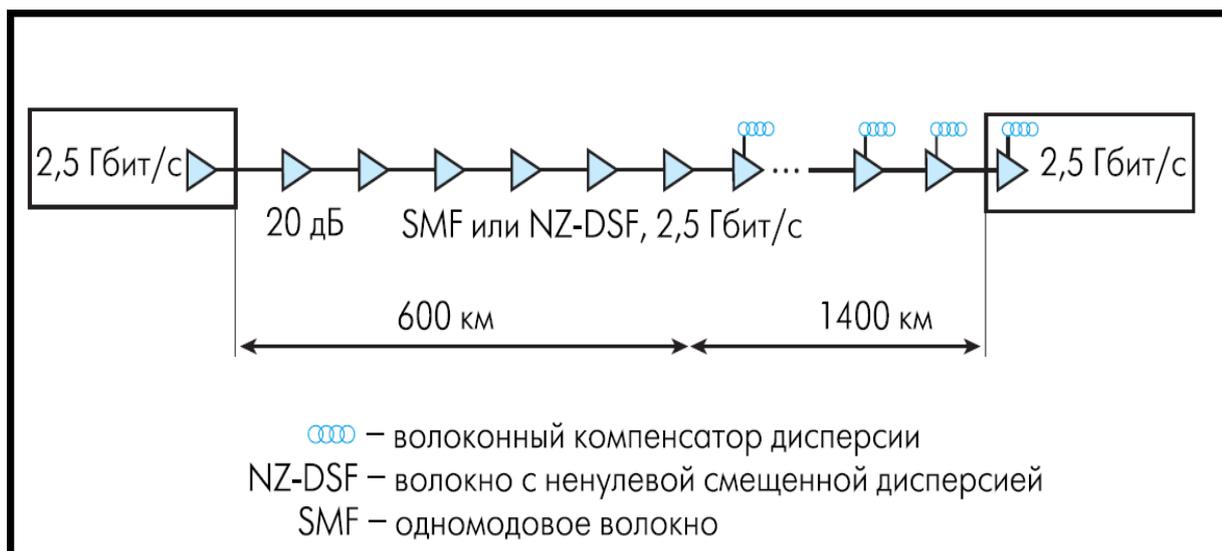


Рис. Структура ВОЛС на стандартном ОВ на скорости 2.5 Гбит/с в каждом DWM-канале

Первые 600 км такой линии не требуют компенсации дисперсии, каждые последующие 100 км оснащены модулем, включенным между двумя EDFA. Отметим, что данная конфигурация является почти предельной для скорости модуляции 2,5 Гбит/с – использовано минимально возможное число EDFA, длина регенерационного участка – максимально возможная, т.е. отношение OSNR составляет порядка 12 дБ. В каждом канале на вход первого усилителя поступает оптический сигнал с уровнем 10 дБм. Здесь он усиливается до 10 дБм, после компенсатора дисперсии падает до 0 дБм и далее усиливается до 10 дБм. Таким образом, суммарная мощность сигнала в пяти каналах – 50 милливатт что не вызывает нелинейных искажений. Теоретически мощность суммарного сигнала можно увеличить на 3–6 дБм, а расстояние между усилителями, соответственно, до 120 км, но при этом возникает опасность нелинейных искажений.

Список литературы

1. Аббасова Т.С., Артюшенко В.М. Электромагнитная совместимость электропроводных кабелей и коммутационного оборудования высокоскоростных структурированных кабельных систем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. Т.4. №4. С. 22-29.
2. Аббасова Т.С., Артюшенко В.М. Методы инсталляции и проектирования электрических кабельных линий в 10-гигабитных системах связи // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2009. Т.5. №2. С.8-16.
3. Артюшенко В.М. Защита структурированных кабельных систем от внешних электромагнитных воздействий // Промышленный сервис. 2005. №3. С. 20-27.
4. Артюшенко В.М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех // В.М. Артюшенко: монография. – Королев МО: Изд-во «Канцлер», 2014. – 298 с.
5. Артюшенко В.М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов // В.М. Артюшенко: монография, ФГБОУ ВПО ФТА. – М., 2013. – 314 с.
6. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Экспериментальное исследование параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. №3. С. 17-24.

7. Латипов О.О. Анализ эффекта четырехволнового смещения [Текст] / О.О Латипов, С.Д Храпов, Н.С. Графова Современные тенденции развития науки и технологий: сб. статей. – Белгород – 2015. – № 9(3). – С. 60-62.

8. Храпов, С. Д. Анализ эффекта и методов борьбы с Бриллюэновским рассеянием [Текст] / С.Д. Храпов, А.Р. Щеткина. Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сб. статей. – Белгород – 2014. – № 4(1). – С. 137-140.

9. Храпов, С. Д. Анализ высокоскоростных беспроводных оптических систем нового поколения [Текст] / С.Д Храпов, О.О Латипов, Н.С. Графова, А.Д. Храпов. Современные тенденции развития науки и технологий: сб. статей. – Белгород – 2015. – № 9(3). – С. 83-86.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УГЛЕРОДНОГО НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ КЛЕЕВЫХ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНЫХ ДИСПЕРСИЙ

Чугай Д.И.

студент кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»,
Россия, г. Тамбов

Баранов А.А.

доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов»,
канд. техн. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов

Представлена технологическая схема углеродного наномодифицирования клеевых композиций на базе поливинилацетатных дисперсий. Показана возможность гибко менять параметры процесса и реализовывать различные схемы модифицирования для получения нетоксичных адгезивов с добавками углеродных нанотрубок, обеспечивающими улучшение эксплуатационных характеристик клеевых соединений.

Ключевые слова: поливинилацетатные дисперсии, углеродные нанотрубки, наномодифицирование, технологическая схема.

Идентификация параметров наномодифицирования клеевых композиций на базе поливинилацетатных (ПВА) дисперсий требует проведения комплексных исследований, включающих:

- подбор марки ПВА дисперсии (с пластификатором или без) и наномодификатора с учетом его морфологии;
- разработку способов ввода углеродного наномодификатора в полимерную ПВА дисперсию (диспергирование в растворителях, непосредственное смешивание, распределение в дисперсионной среде полимера);
- поиск рациональных соотношений ПВА дисперсия/углеродный наноструктурный материал, обеспечивающих улучшение эксплуатационных характеристик клеевых соединений.

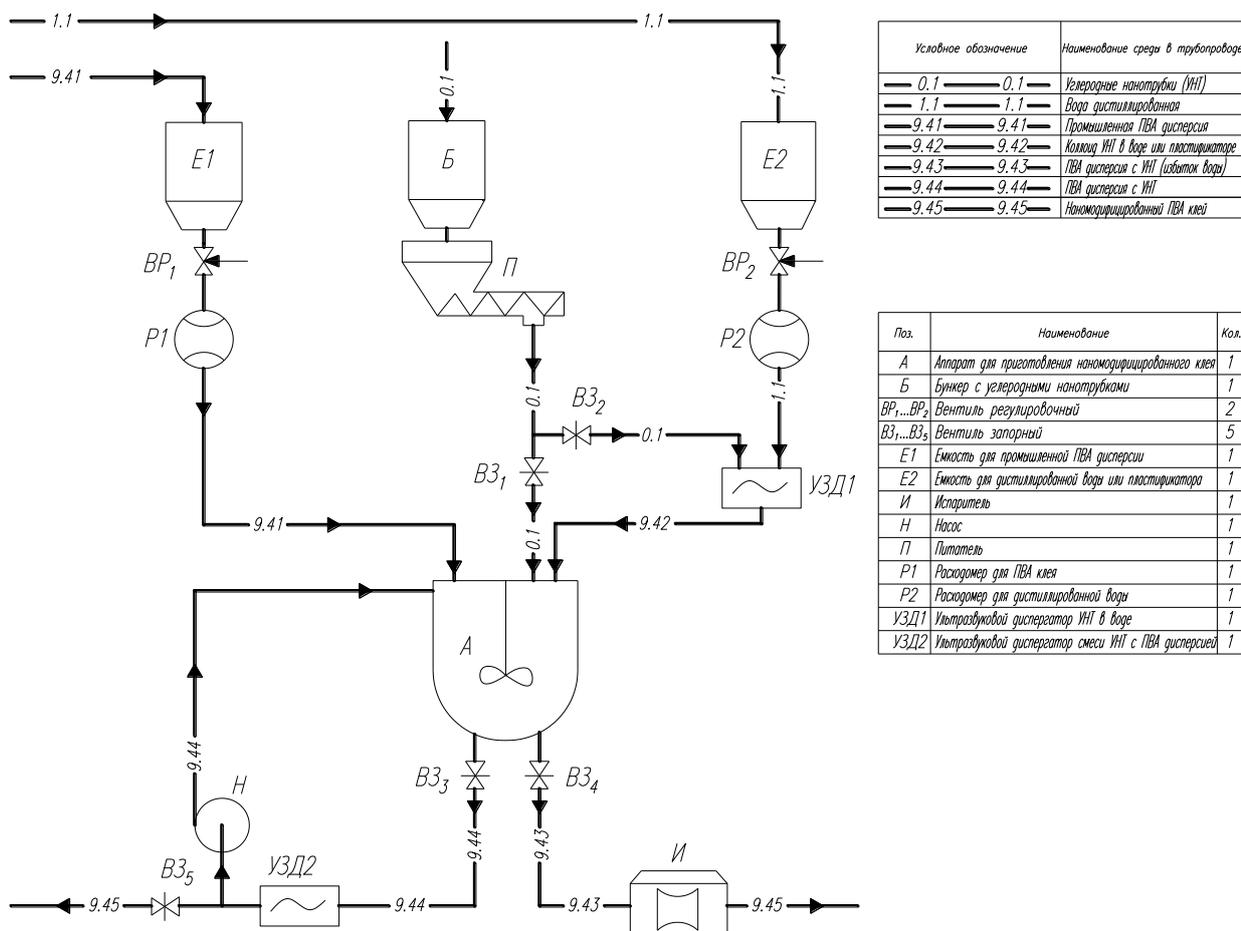


Рис. Технологическая схема получения наномодифицированных клеевых композиций на базе поливинилацетатной дисперсии

Для решения этих проблем необходима разработка технологической схемы наномодифицирования углеродным наноструктурным материалом ПВА дисперсии с возможностью гибко изменять параметры проведения процесса и реализовывать различные схемы модифицирования. В результате обзора литературы и патентных исследований установлено, что для приготовления ПВА адгезивов с наномодификаторами необходимо обеспечить равномерное распределение углеродных наночастиц в объеме связующего. Для этого необходимы высокоэнергетические воздействия, например ультразвуковая обработка, для обеспечения высокой степени диспергирования нанодобавки в объеме исходного адгезива или в объеме растворителя, добавляемого в адгезив.

Таким образом, необходимо учесть возможности:

- ультразвукового воздействия на продукты или их прекурсоры на различных стадиях;
- предварительного смешивания компонентов клеевой композиции;
- дозирования и регулирования материальных потоков;
- удаления избытка растворителя, если диспергирование осуществлялось в нем.

В предлагаемой технологической схеме получения нетоксичных клеевых композиций на базе ПВА дисперсии, модифицированной углеродными

нанотрубками (рисунок) из емкости $E1$ через регулирующий вентиль BP_1 и расходомер $P1$ в аппарат с перемешивающим устройством A загружается необходимое количество промышленной ПВА дисперсии или промышленного ПВА клея. По линии подачи углеродного наномодификатора из бункера B через питатель Π поступают углеродные нанотрубки.

Если предполагается первоначальная подготовка дисперсии наномодификатора в растворителе, то заданное количество нанотрубок подается в емкость ультразвукового диспергатора $УЗД1$. Туда же из емкости $E2$ через систему регулирования, состоящую из вентиля BP_2 и расходомера $P2$, поступает растворитель (дистиллированная вода или пластификатор). Подготовленный коллоид углеродных нанотрубок в воде или пластификаторе направляется для усреднения и окончательного распределения наномодификатора в структуре адгезива в аппарат A для приготовления наномодифицированного клея. После перемешивания в аппарате A адгезив содержит избыток растворителя, поэтому перед получением продукта дисперсионная среда с наномодификатором проходит обработку в испарителе $И$ вакуумного типа.

Если интенсивной обработке подлежит смесь ПВА дисперсии и нанотрубок, то углеродный наноструктурный материал питателем Π подается непосредственно в аппарат с мешалкой A с уже загруженной дисперсией на базе поливинилацетата. После цикла смешивания полупродукт по линии 9.44 подается на обработку в проточный ультразвуковой диспергатор $УЗД2$, на выходе из которого целевой адгезив отправляется на упаковку.

К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ В КОНТАКТЕ ПАР ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ В КОРОБКАХ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Шаринов В.М.

советник ректора по научной работе, д-р техн. наук, профессор,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Городецкий К.И.

профессор кафедры «Автомобили и тракторы», д-р техн. наук, профессор,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Сопкин В.А.

доцент кафедры «Автомобили и тракторы», канд. техн. наук,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Дмитриев М.И.

доцент кафедры «Автомобили и тракторы», канд. техн. наук,
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Рассмотрено изменение коэффициента трения на парах трения фрикционных муфт в коробках передач автомобилей и тракторов при переключении передач без разрыва по-

тока мощности. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента трения на парах трения фрикционной муфты от скорости скольжения дисков. Известно, что момент трения фрикционной муфты выключаемой передачи определяется статическим коэффициентом трения, а фрикционной муфты включаемой передачи – динамическим коэффициентом трения. Установлено, что статический коэффициент трения может превышать динамический коэффициент трения в 1,7...2,2 раза. Следовательно, при математическом моделировании процесса переключения передач в коробке передач с помощью фрикционных муфт необходимо учитывать реальные значения коэффициентов трения на парах трения выключаемой и включаемой муфты.

Ключевые слова: автомобиль, трактор, коробка передач, фрикционная муфта, коэффициент трения.

При моделировании процесса переключения передач без разрыва потока мощности в коробках передач (КП) с помощью фрикционных муфт (ФМ) работающих в масле одним из важнейших факторов, требующих точного описания является коэффициент трения в контакте ведомых и ведущих дисков ФМ. От правильности выбора функции, описывающей характер изменения коэффициента трения в зависимости от скорости скольжения, зависит достоверность математической модели и, впоследствии, качество процесса переключения передач и долговечность ФМ КП [1].

Процесс переключения передач с помощью ФМ в КП сводится к управлению давлениями в бустерах ФМ включаемой и выключаемой передач. При создании математической модели важно правильно описать процесс переключения с точки зрения использования в расчетах правильного значения коэффициента трения, зависящего как от режима трения, так и от профиля канавок на поверхности трения. Исследование процесса переключения передач в КП с помощью фрикционных муфт подробно рассмотрено в работах [2-10]. Установлено, что процесс переключения передач в КП без разрыва потока мощности происходит при буксовании дисков ФМ Φ_K включаемой передачи и замкнутых дисках ФМ Φ_{K-1} выключаемой [3, 5-10]. При этом, пока ФМ Φ_{K-1} выключаемой передачи замкнута, ее момент трения определяется величиной статического коэффициента трения f_o в контакте неподвижных дисков. Момент трения дисков включаемой ФМ Φ_K будет определяться динамическим коэффициентом трения f , который по величине существенно меньше статического коэффициента трения f_o [1, 11-15].

Так как $f_o > f$, то в процессе переключения передачи при сбросе давления рабочей жидкости в бустере выключаемой ФМ Φ_{K-1} до определенной даже весьма маленькой величины она может оставаться замкнутой, в то время, как включаемая ФМ Φ_K даже при большем давлении жидкости в ее бустере будет буксовать.

На рис. 1 приведены результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента трения для различных типов спеченных порошковых фрикционных материалов в функции от скорости скольжения при их работе по стали в масле. Испытания проводились с полноразмерными фрикционными дисками. Металлические диски были выполнены из стали 65Г.

В качестве объектов исследования были выбраны натурные фрикционные диски со спеченным порошковым материалом МК-5 на медной основе, Шадеф на железной основе, а также HS43 и HS09 (Hoerbiger, Австрия) на медной основе.

Из анализа приведенных результатов следует, что при одинаковой скорости скольжения в зависимости от типа фрикционной накладки динамический коэффициент трения f может отличаться в 1,4...1,6 раза. При этом статический коэффициент трения f_0 для всех типов рассмотренных материалов может превышать динамический коэффициент трения f в 1,7...2,2 раза. Аналогичные данные получены в работах [14, 15]. Кроме этого значение динамического коэффициента трения f зависит от профиля канавок на поверхности трения [11-13].

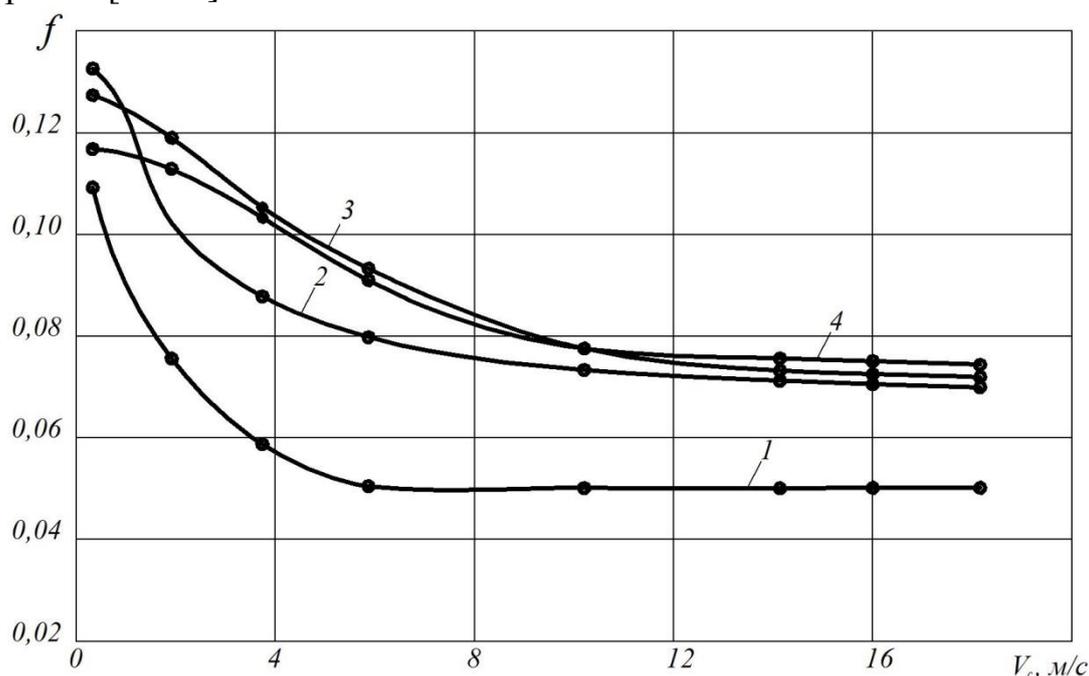


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения для спеченных порошковых материалов по стали в масле:
1 – МК-5; 2 – Шадеф; 3 – HS43; 4 – HS09

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента трения для различных профилей канавок в функции от скорости скольжения при их работе по стали 65Г в масле. Испытания проводились на натурных фрикционных дисках со спеченным порошковым материалом МК-5 на медной основе при докритическом (нормальном) режиме трения, когда процесс трения протекает без разрушения масляной пленки между трущимися поверхностями и не носит полужидкостный (граничный) характер. В этом случае износ пар трения и коэффициент трения минимальны.

Приведенные результаты подтверждают существенное влияние профиля канавок на значение динамического коэффициента трения. Коэффициент трения дисков МК-5 по стали в масле при работе в докритической области для дисков с различными видами маслоотводящих канавок в зависимости от скорости скольжения составляет 0,03...0,048 при скоростях скольжения от 4 до 20 м/с. Наиболее высокие значения $f = 0,045...0,048$ относятся к дискам,

имеющим обычные спиральные канавки, а также спиральные с малым числом радиальных канавок. Увеличение числа радиальных канавок снижает коэффициент трения f .

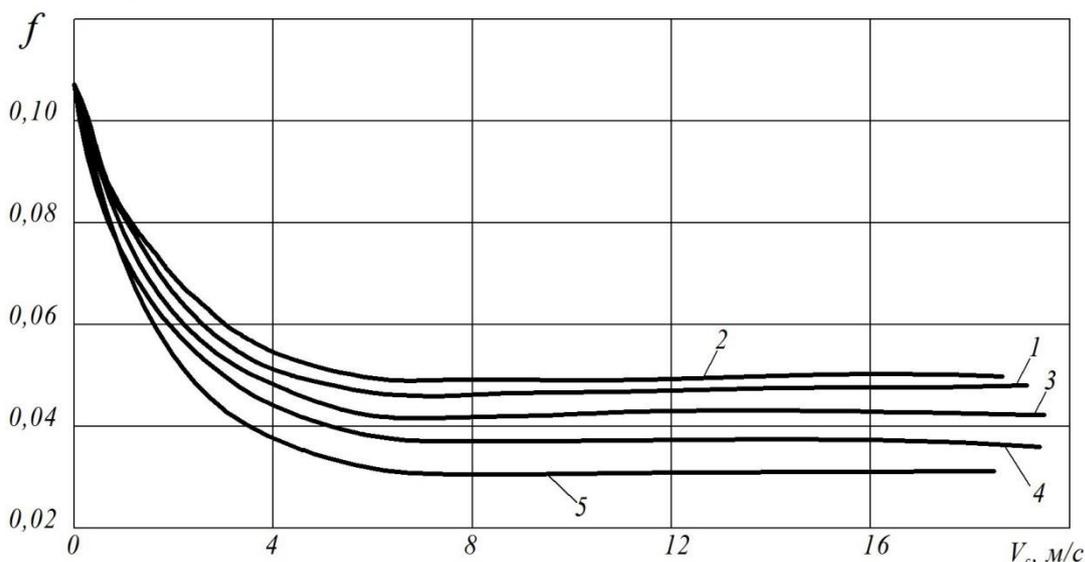


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения с различным профилем и количеством канавок на поверхностях трения:

1 – спиральные канавки с шагом 5 мм и шириной канавки 1,7 мм; 2 – спиральные крестообразные канавки шириной 5 мм; 3 – спиральные канавки с сеткой 32×32 мм и шириной 6 мм; 4 – спиральные канавки с сеткой 16×16 мм и шириной 3 мм; 5 – спиральные канавки с сеткой 8×8 мм и шириной 1,2 мм

Аналогичные данные получены в работе [15], где отмечается влияние профиля канавок на значение коэффициента трения спеченного порошкового фрикционного материала ФМ-12 по стали.

Следовательно, при создании математических моделей, описывающих процесс переключения передач в КП с ФМ, необходимо учитывать, что значение статического коэффициента трения в контакте дисков замкнутой ФМ выключаемой передачи в 1,7...2,2 больше динамического коэффициента трения ФМ включаемой передачи. При этом значение динамического коэффициента трения зависит от фрикционных свойств самого материала и для разных типов фрикционных материалов может отличаться в 1,4...1,6 раза.

Профиль канавок на поверхности трения для заданного фрикционного материала может изменять динамический коэффициент трения в 1,3...1,6 раза.

Таким образом, при математическом моделировании процесса переключения передач в КП с помощью ФМ необходимо учитывать реальные значения коэффициентов трения на парах трения выключаемой и включаемой ФМ.

Список литературы

1. Шарипов В.М, Дмитриев М.И., Зенин А.С. и др. К вопросу о буксовании фрикционных сцеплений при переключении передач без разрыва потока мощности в коробках передач автомобилей и тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2015. №5. С. 5-9.
2. Львовский К.Я. Исследование процессов переключения передач под нагрузкой в тракторных трансмиссиях: дис...канд. техн. наук. М., 1970. 276 с.

3. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Зенин А.С., Савкин Я.В. Работа сцепления в коробке передач при переключении без разрыва потока мощности от двигателя // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2010. № 11. С. 8-15.
4. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. Методы расчета параметров буксования фрикционных муфт и выравнивающего элемента синхронизаторов при переключении передач. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 122 с.
5. Шарипов В.М., Городецкий К.И., Дмитриев М.И. и др. Переключение передач в КП трактора без разрыва потока мощности // Тракторы и сельхозмашины. 2012. №5. С. 19-23.
6. Шарипов В.М., Городецкий К.И., Дмитриев М.И. и др. Математическая модель процесса переключения передач в коробке передач трактора с помощью фрикционных муфт // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 1(13). С. 112-122.
7. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Зенин А.С. и др. Определение параметров буксования фрикционных муфт для различных вариантов их установки в тракторных коробках передач при переключении передач без разрыва потока мощности // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1. № 1(15). С. 242-248.
8. Dmitriev M., Sharipov V. Definition of slippage parameters of friction clutches in gearboxes with fixed axles// Lecture Notes in Electrical Engineering. 2013. Т. 193 LNEE. № VOL. 5. pp. 65-77.
9. Sharipov V., Dmitriev M. Definition of Slippage Parameters of Friction Clutches for Different Installation Versions in Tractor Gearboxes// SAE Technical Paper 2013-01-2894, 2013. DOI: 10.4271/2013-01-2894.
10. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Зенин А.С. Математическая модель процесса переключения передач в коробке передач трактора // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 5. С. 50-69. DOI: 10.7463/0514.0711329.
11. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2004. 592 с.
12. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
13. Сергеев Л.В., Кадобнов В.В. Гидромеханические трансмиссии быстроходных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1980. 200 с.
14. Барский И.Б., Борисов С.Г., Галягин В.А. и др. Сцепления транспортных и тяговых машин/ Под ред. Ф.Р. Геккера, В.М. Шарипова, Г.М. Щеренкова. М.: Машиностроение, 1989. 344 с.
15. Скадорва А.Ф., Карташевич А.Н. Критерий оценки функционирования фрикционной муфты коробки передач гусеничного трактора «Беларус-2103» // Вестник Белорусско-Российского университета. 2014. №4(45). С. 80-91.

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Швагерик Э.А.

студент кафедры «Автомобили и ТТС», магистр,
Московский государственный машиностроительный университет,
Россия, г. Москва

В статье рассматриваются инновации в машиностроении на примере электробуса. Таким образом внедряются новые пути модернизации российской экономики на основе инновационной продукции машиностроения. Предлагается решение следующих задач: восстановить инновационную функцию машиностроения, обеспечить инновационно-

технологическое развитие производственного аппарата машиностроения, экологичность транспорта, а также показана очевидная выгода новых технологий.

Ключевые слова: инновации, машиностроение, технологии.

Ни в одной отрасли промышленности внедрение прогрессивных технологий и новой техники не дает столь быстрых и весомых результатов, как в машиностроении. Затраты на внедрение прогрессивных технологий окупаются за полтора-два года, а затраты на новое производственное оборудование – за два-два с половиной года. Вместе с тем отсутствие обновления производственного аппарата инновационно насыщенными инвестициями, новыми технологиями производства явилось основной причиной утраты конкурентоспособности основными отраслями машиностроения РФ. За последние годы происходят перемены. Некоторые ведущие корпорации РФ выходят на путь внедрения новых технологий и занимаются разработкой экологически чистых видов транспорта. По этому пути идет ПАО «КАМАЗ» [1, с. 15].

«КАМАЗ» внедряя новые технологии вывел на рынок электробус. Новинка продуктовой линейки – электробус КАМАЗ-55994Э со временем должен стать основным видом общественного транспорта. «Экологичность, бесшумность и экономичность в эксплуатации являются явным преимуществом электробуса КАМАЗ-55994Э перед традиционными автобусами с двигателями внутреннего сгорания.

В КАМАЗ-55994Э нет привычного заднего моста. Вместо него установлен специальный электропортальный мост со встроенными мотор-колёсами. Благодаря ему удалось не только решить вопрос с передачей энергии от электродвигателя к колёсам, но и сохранить максимально низкий пол даже в кормовой части салона. Таким образом, электробус получился полностью низкопольным.

Экономическая целесообразность. Дело в том, что на электробусе КАМАЗ-55994Э применён батарейный модуль на литий-титанатных аккумуляторах ВМ-17440 инжиниринговой компании Drive Electro. Его основная особенность – возможность ультрабыстрой зарядки. Приставка «ультра» означает, что электробус может зарядить батарею до 80% за 6–20 минут в отличие от предыдущего поколения быстрозаряжаемых аккумуляторов, которым для этого требовалось не менее двух часов. Кроме того, количество циклов заряда–разряда теперь достигает 10 000 против 3000 ранее, а значит, снята ещё одна проблема – «выгорание» батареи при использовании режима ускоренной зарядки и, как следствие, её недолговечности.

А ещё новые батареи могут работать в диапазоне от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с использованием системы термостатирования до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$), что убирает проблему для круглогодичной эксплуатации электробусов в северных регионах страны.

На практике работа на линии электробуса не будет отличаться от таковой у обычного автобуса. КАМАЗ-55994Э не привязан к каким-либо источникам питания и может свободно перемещаться по любым улицам горо-

да. На маршрутах с плечом до 50 км будет достаточно одной станции ультрабыстрой подзарядки на конечной остановке. Дело в том, что электробус рассчитан на подзарядку как от «фирменного» «зарядного столба», так и от обычной троллейбусной линии. Так что если на маршруте есть троллейбусные провода, а график позволяет, то электробус может за 6 минут зарядиться, не создавая проблем троллейбусам. Этого хватит, чтобы проехать 60 километров. Тем более, что система автоматизированной зарядки сама стыкует токоприёмник с зарядкой и контролирует качество контакта.

Сегодня рекорд для электробусов – 200 километров пути на одной зарядке. Батареи очень выносливы – чем чаще их подзаряжают, тем дольше они служат – до 12 лет. Экономическая выгода Электробусы вдвое дороже традиционных автобусов (дизельный автобус стоит около 9 млн. рублей, электробус – 18 млн.). Преимущества электробуса существенны. Срок службы в полтора раза больше. Да и скачки цен на топливо его не сильно беспокоят. На один километр пути машина тратит около 1,5 киловатта электричества, это стоит всего 5 рублей. Автобус за один километр сжигает топлива на 13 рублей.

Покупка электробуса может окупиться примерно через 6-7 лет. А польза для экологии вообще неоценима – электробус никак не влияет на окружающую среду [2].

Список литературы

1. Борисов В.Н., Пучкаева О.В. Инновационно-технологическое развитие машиностроения как фактор инновационного совершенствования обрабатывающей промышленности. // Проблемы прогнозирования. 2009. № 4.
2. http://www.kamaz.ru/press/releases/elektrobus_kamaz_transport_novogo_pokoleniya/?sphrase_id=394116

КРИВИЗНА ЛИСТА ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРАВКЕ НА ЧЕТЫРЕХРОЛИКОВОЙ МАШИНЕ

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров холодной правки толстого стального листа на четырехроликовой листопрямительной машине.

Ключевые слова: стальной лист, листопрямительная машина, знакопеременный изгиб, упругопластическая среда.

Прокат стального листа. Доля листового проката в общем объеме прокатного производства в России составляет более 40%. Постоянный рост объемов листового проката связан с развитием металлургических трубных заводов, магистральных газонефтепроводов, судостроения, капитального

строительства, автомобильной, авиационной и электротехнической промышленности [1–75].

Листовая сталь подразделяется на толстолистовую (толщиной от 4 до 160 мм) и тонколистовую (толщиной до 3,9 мм включительно) горячей и холодной прокатки.

Горячекатаный листовой прокат основан на прокате стальной заготовки, нагретой до 1000–1300°C, на гладких или калиброванных роликах до получения необходимой толщины. Горячая правка поверхности листа используется в прокатных цехах при температуре 500–700°C сразу после выхода заготовок из клетки прокатного стана. Она не может обеспечить высокую точность плоскостности поверхности листов, так как в процессе остывания образуется волнистость краев или коробоватость центров листов.

Основной причиной неплоскостности листа является его неравномерное обжатие по ширине из-за неодинакового размера щели между прокатными роликами, которое влечет за собой разную по величине вытяжку отдельных участков листа – более обжатые участки получают большую вытяжку по длине листа, чем менее обжатые. Взаимодействие остаточных напряжений сжатия в более вытянутых участках и остаточных напряжений растяжения в менее вытянутых участках вызывает потерю устойчивости плоскостной формы листа.

Сталь листовая горячекатаная поставляется в рулонах и листах и используется как промежуточное сырье или в качестве самостоятельного строительного материала.

Холоднокатаный листовой прокат является одним из самых экономичных видов металлопродукции и происходит без нагревания. Из него можно изготавливать разнообразные штампованные и сварные изделия, отличающиеся меньшей массой по сравнению с литыми. Изготовление сварных труб из листового проката снижает расход металла на 10–15%.

На металлургических заводах почти весь выпускаемый листовой прокат (стальные листы толщиной до 50 мм и шириной до 5000 мм) проходит операцию холодной правки в листопрямительных многороликовых машинах [5, 6, 47–49, 51], которая является более производительным процессом по сравнению с поперечным изгибом на прессах и правкой растяжением. При этом достигают более высокую точность плоскостности поверхности листов в пределах 1–3 мм/м.

Правка листа на четырехроликовой листопрямительной машине. Полностью гидравлическая четырехроликовая правильная машина предназначена для холодной правки листа. Правка стального листа осуществляется четырьмя приводными правильными роликами – 2-мя верхними правильными роликами и 2-мя нижними правильными роликами. Нижние входные и выходные правильные ролики снабжены отдельными системами настройки их вертикального положения с помощью клиновых пар и гидроцилиндров с позиционным управлением.

Пусть t – шаг между нижними правильными роликами; H_i – величина обжатия срединной поверхности стального листа на i -ом правильном ролике

(для нижних роликов положительным направлением обжатия считается направление вверх, для верхних роликов – вниз), h – толщина стального листа, R – радиус рабочих роликов, $R_0 = R + h/2$; σ_T , E , Π_p и Π_c – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии; ρ_i и $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами, φ_i – углы точек касания листа и роликов ($i = 1 \dots 4$) (рис. 1).

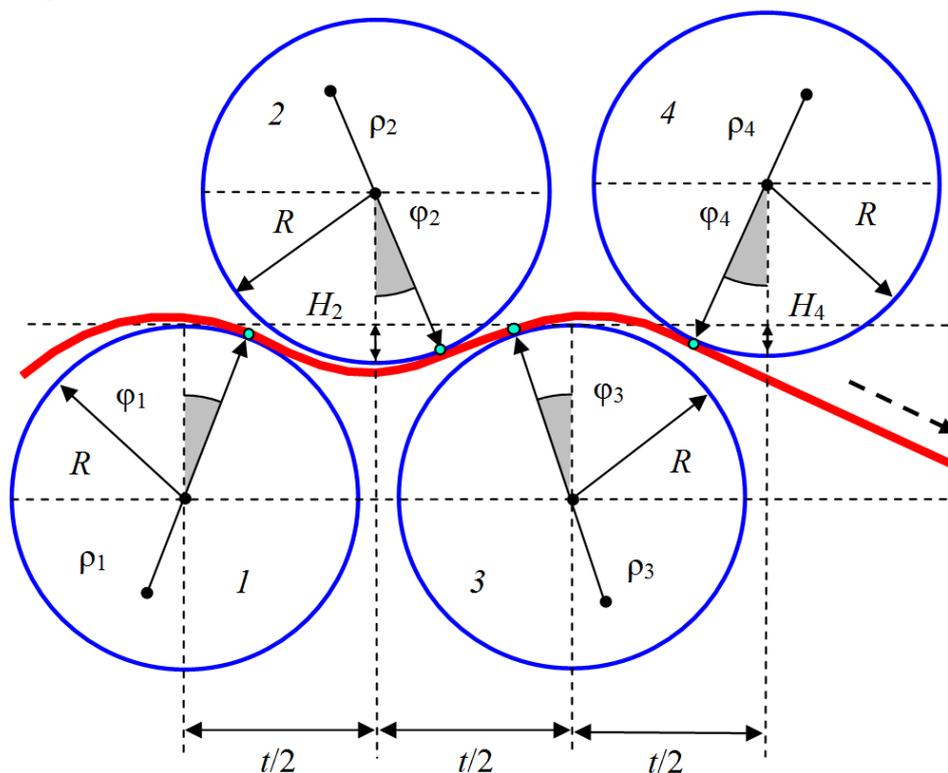


Рис. 1. Правка листа четырьмя роликами листопрямительной машины

Далее будем считать, что два нижних правильных ролика лежат на одном уровне ($H_1 = H_3 = 0$ м). Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны ρ равен [3, 5, 6]

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2 \frac{\rho \sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho \sigma_T}{hE}\right)}$$

Введем четыре локальных декартовых прямоугольных систем координат $y-z$ в точках касания листа с рабочими роликами. Оси z направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси y – перпендикулярно к оси z в сторону центров соответствующих роликов. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и роликов) с помощью кубических полиномов вида $y(z) = a z^2 - b z^3$ (метод Шинкина [5, 6]).

Обозначим a_i и b_i – коэффициенты кубических полиномов в i -ой системе координат. Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами.

Первый и второй ролики

$$\begin{aligned}
 z_2 &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + \\
 &+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1, \\
 y_2 &= - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + \\
 &+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1, \\
 a_1 &= \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3}, \quad \varepsilon_{1,2} = 2a_1, \\
 \varepsilon_{2,1} &= \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{1,2} = \frac{1}{2a_1}, \quad \rho_{2,1} = \frac{1}{\varepsilon_{2,1}};
 \end{aligned}$$

Второй и третий ролики

$$\begin{aligned}
 z_3 &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 + \\
 &+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2, \\
 y_3 &= - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 + \\
 &+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2, \\
 a_2 &= \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^3}, \quad \varepsilon_{2,3} = 2a_2, \\
 \varepsilon_{3,2} &= \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_2 = \rho_{2,3} = \frac{1}{2a_2}, \quad \rho_3 = \rho_{3,2} = \frac{1}{\varepsilon_{3,2}};
 \end{aligned}$$

Третий и четвертый ролики

$$\begin{aligned}
 z_4 &= \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \cos \varphi_4 \right) \cos \varphi_3 - \\
 &- [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \sin \varphi_3, \\
 y_4 &= \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \cos \varphi_4 \right) \sin \varphi_3 + \\
 &+ [H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4)] \cos \varphi_3, \\
 a_3 &= \frac{3y_4 - \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^2}, \quad b_3 = \frac{2y_4 - \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^3}, \quad \varepsilon_{3,4} = 2a_3, \\
 \varepsilon_{4,3} &= \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[1 + (2a_3z_4 - 3b_3z_4^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{3,4} = \frac{1}{2a_3}, \quad \rho_{4,3} = \frac{1}{\varepsilon_{4,3}}.
 \end{aligned}$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{1,2} = \rho_1, \quad \rho_{2,1} = -\rho_{2,3}, \quad \rho_{3,2} = -\rho_{3,4}, \quad \rho_{4,3} = \beta(\rho_{3,4})\rho_{3,4}.$$

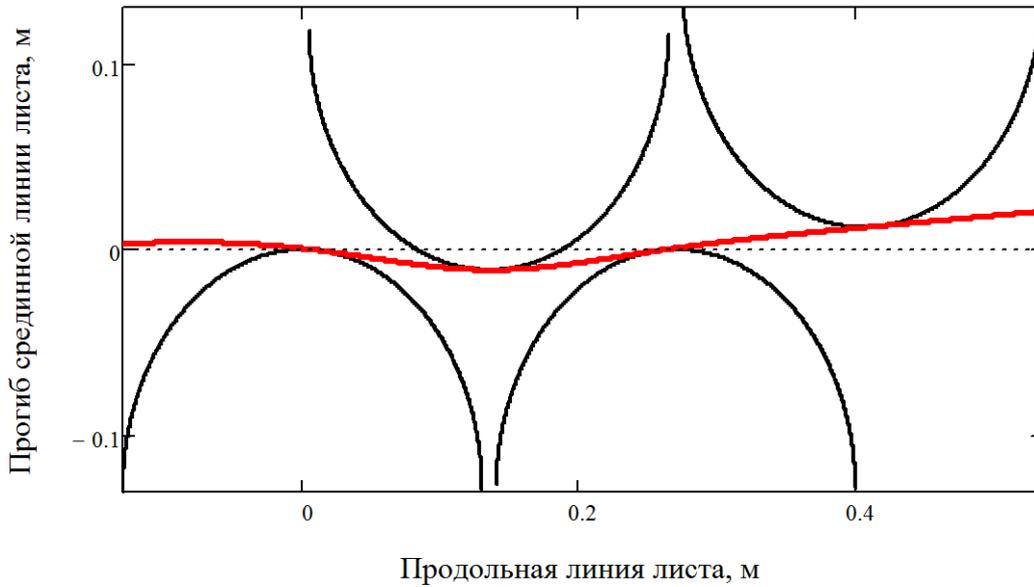


Рис. 2. Прогиб листа между четырьмя роликами машины

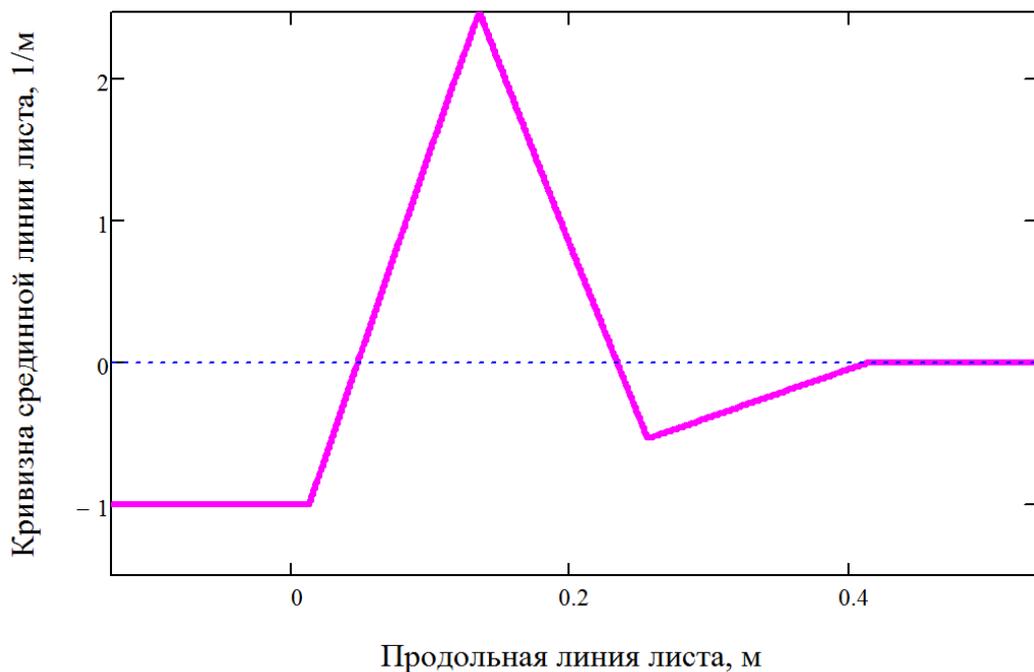


Рис. 3. Кривизна листа между четырьмя роликами машины

Результаты расчетов. Решая систему уравнений при $t = 0,27$ м, $R = 0,125$ м, $h = 0,01$ м, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $H_1 = H_3 = 0$ м, $H_2 = 0,011$ м, $H_4 = -0,012$ м и $\rho_1 = -1$ м, получаем $\rho_2 = 0,407$ м, $\rho_3 = -1,857$ м, $\rho_4 = -261,056$ м, $\varphi_1 = 5,45^\circ$, $\varphi_2 = 0,23^\circ$, $\varphi_3 = 6,37^\circ$, $\varphi_4 = 3,91^\circ$, $\varepsilon_1 = -1$, $\varepsilon_2 = 2,460$, $\varepsilon_3 = -0,538$, $\varepsilon_4 = -0,004$ (рис. 2–4).

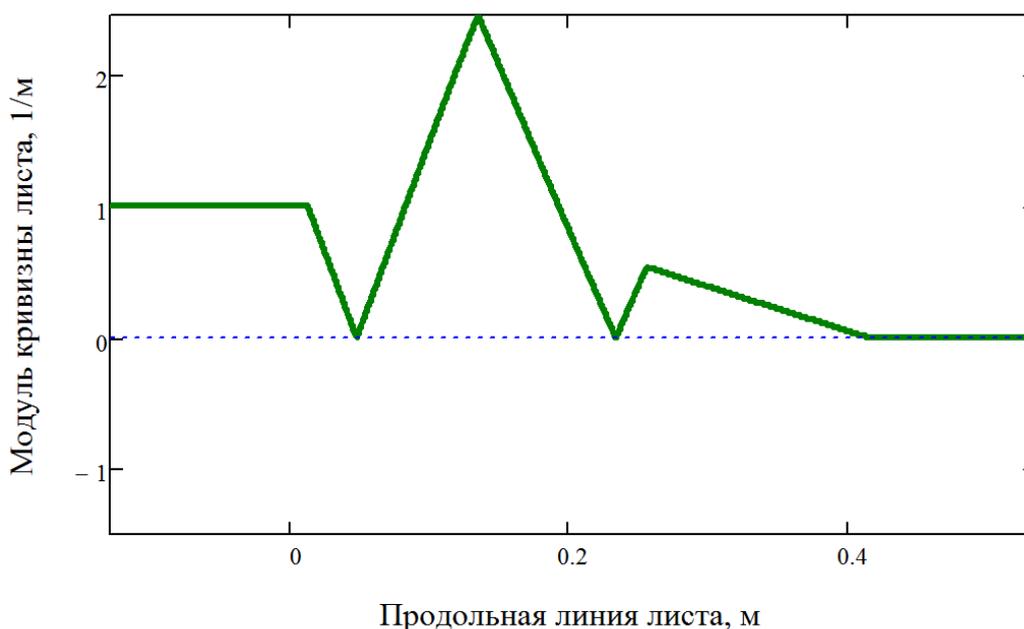


Рис. 4. Модуль кривизны листа между четырьмя роликами машины

На втором рабочем ролике доля пластической деформации по толщине листа должна составлять от 67% до 80%. Обжатие стального листа четвертым роликом подбирается так, чтобы точки касания стального листа тремя последними роликами практически лежали на одной прямой линии.

Заключение. Получен метод расчета технологических параметров правки стального листа на четырехроликовой листопрямительной машине. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству широкого толстого стального листа [1–75].

Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.

10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироlikовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроlikовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироlikовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироlikовой листопрямильной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.

31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12–2. С. 246–251.

50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
57. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
58. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
59. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
60. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
61. Шинкин В.Н., Борисевич В.Г., Федотов О.В. Холодная правка стального листа в четырехроликовой листопрямительной машине // В сборнике: Глобализация науки: проблемы и перспективы. Т. 2. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. – С. 119–121.
62. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
63. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
64. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.
65. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
66. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
67. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

68. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
69. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
70. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
71. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
72. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения при упругопластическом изгибе круглого бруса // В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 49–56.
73. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения круглого бруса при упругопластическом изгибе // В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 56–63.
74. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.
75. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХРОЛИКОВОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПРАВКЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Предложен математический метод определения силовых параметров холодной правки толстого стального листа на четырехроликовой листопрямительной машине.

Ключевые слова: стальной лист, листопрямительная машина, знакопеременный изгиб, упругопластическая среда.

Введение. В первой части работы была предложена методика определения формы и кривизны ϵ (радиуса кривизны ρ) стального листа при правке в четырехроликовой листопрямительной машине. Поэтому далее будем считать, что при правке листа кривизна листа, радиус кривизны листа, углы и координаты точек касания листа с роликами уже известны. Во второй части работы рассмотрим методику определения силовых факторов, действующих на стальной лист при правке в четырехроликовой листопрямительной машине.

Пусть t – шаг между нижними правильными роликами; H_i – величина обжатия срединной поверхности стального листа на i -ом правильном ролике (для нижних роликов положительным направлением обжатия считается

направление вверх, для верхних роликов – вниз), h – толщина стального листа, R – радиус рабочих роликов, $R_0 = R + h/2$; σ_T , ν , E , Π_p и Π_c – предел текучести, коэффициент Пуассона, модуль Юнга и модули упрочнения стали листа при растяжении и сжатии; ρ_i и $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами, φ_i – углы точек касания листа и роликов ($i = 1 \dots 4$) (рис. 1).

Неограничивая общности будем считать, что нижние правильные ролики лежат на одном уровне ($H_1 = H_3 = 0$ м).

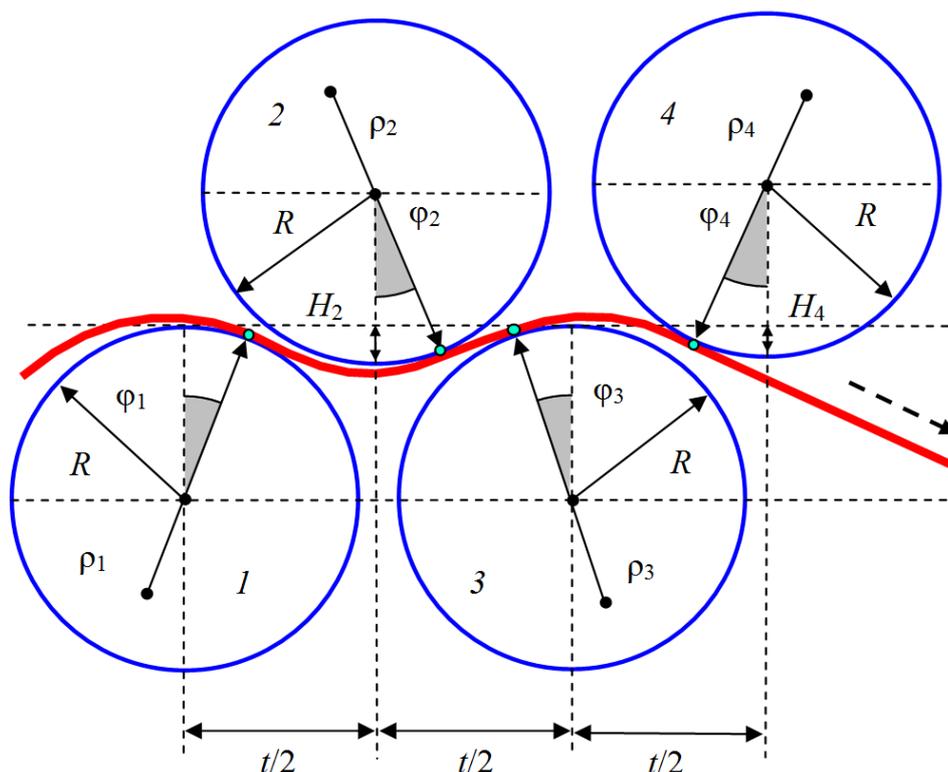


Рис. 1. Форма листа между четырьмя рабочими роликами

При упругом изгибе стального листа при радиусе кривизны ρ коэффициент пружинения нейтральной линии листа $\beta(\rho) = \infty$, $\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$. При пластическом изгибе стального листа коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны ρ равен

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2\frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)}, \quad \rho < \rho_T = \frac{hE}{2\sigma_T}.$$

При пластическом изгибе стального листа ($\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$) изгибающий момент в поперечном сечении листа равен

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_T}{12} \left(3 - 4\left(\frac{\sigma_T\rho}{hE}\right)^2\right) + \frac{bh^3(\Pi_p + \Pi_c)}{24\rho} \left(1 - 2\frac{\sigma_T\rho}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\sigma_T\rho}{hE}\right),$$

где b – ширина листа.

При упругом изгибе стального листа изгибающий ($\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$) момент в поперечном сечении листа равен

$$M = \frac{bh^3 E}{12\rho}.$$

Пусть M_i – изгибающий момент стального листа в точках его касания с рабочими роликами листопрямильной машины:

$$M_1 = 0, \quad M_2 = M(\rho_2), \quad M_3 = M(\rho_3), \quad M_4 = 0.$$

Расчет силовых параметров четырехроликовой листопрямильной машины. Пусть N_i , M_{pi} и F_{pi} ($F_{pi} = M_{pi}/R$) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие (сила подачи) i -го ролика ($i = 1 \dots 4$) (рис. 2).

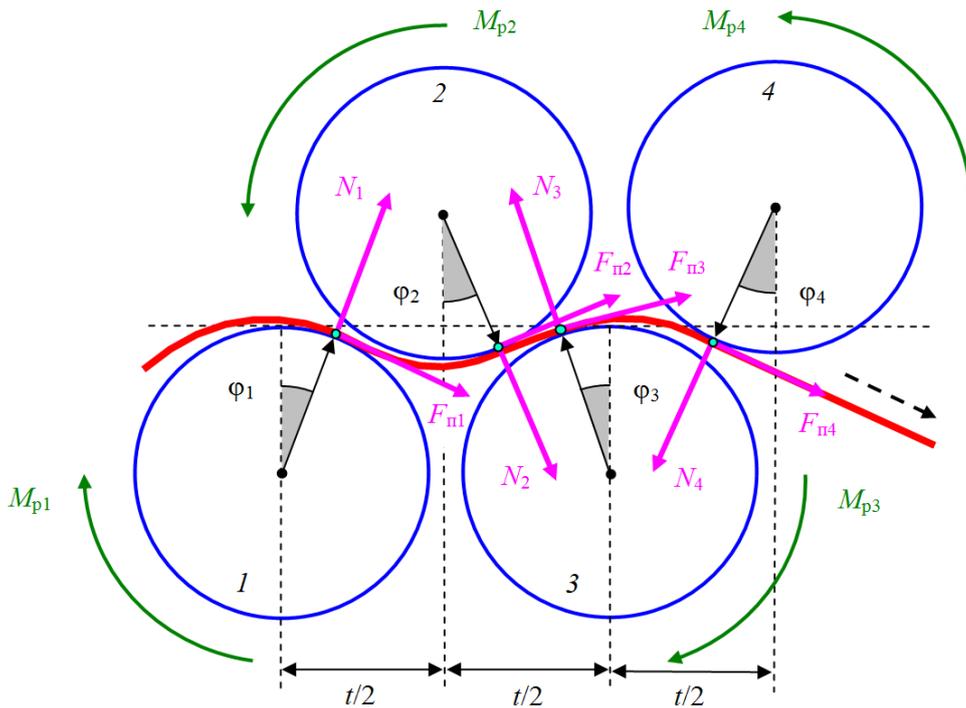


Рис. 2. Силовые факторы, действующие на лист

Введем четыре локальных декартовых прямоугольных систем координат $y-z$ в точках касания листа с рабочими роликами. Оси z направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси y – перпендикулярно к оси z в сторону центров соответствующих роликов. Пусть y_{ji} и z_{ji} – координаты касания листа с i -ым роликом в j -ой системе координат.

$$\begin{aligned} z_{21} &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 - \\ &- [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1, \\ y_{21} &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + \\ &+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1, \\ z_{31} &= (t - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_3) \cos \varphi_1 + \\ &+ [-R_0(1 - \cos \varphi_1) + R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_1, \\ y_{31} &= -(t - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_3) \sin \varphi_1 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + [-R_0(1 - \cos\varphi_1) + R_0(1 - \cos\varphi_3)]\cos\varphi_1, \\
z_{41} & = \left(\frac{3t}{2} - R_0 \sin\varphi_1 - R_0 \sin\varphi_4\right)\cos\varphi_1 - \\
& - [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_1) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\sin\varphi_1, \\
y_{41} & = \left(\frac{3t}{2} - R_0 \sin\varphi_1 - R_0 \sin\varphi_4\right)\sin\varphi_1 + \\
& + [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_1) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\cos\varphi_1; \\
z_{32} & = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_2 - R_0 \sin\varphi_3\right)\cos\varphi_2 + \\
& + [H_2 - R_0(1 - \cos\varphi_2) - R_0(1 - \cos\varphi_3)]\sin\varphi_2, \\
y_{32} & = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_2 - R_0 \sin\varphi_3\right)\sin\varphi_2 + \\
& + [H_2 - R_0(1 - \cos\varphi_2) - R_0(1 - \cos\varphi_3)]\cos\varphi_2, \\
z_{42} & = (t - R_0 \sin\varphi_2 - R_0 \sin\varphi_4)\cos\varphi_2 + \\
& + [H_2 - H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_2) + R_0(1 - \cos\varphi_4)]\sin\varphi_2, \\
y_{42} & = -(t - R_0 \sin\varphi_2 - R_0 \sin\varphi_4)\sin\varphi_2 + \\
& + [H_2 - H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_2) + R_0(1 - \cos\varphi_4)]\cos\varphi_2; \\
z_{43} & = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_3 - R_0 \sin\varphi_4\right)\cos\varphi_3 + \\
& + [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_3) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\sin\varphi_3, \\
y_{43} & = -\left(\frac{t}{2} + R_0 \sin\varphi_3 - R_0 \sin\varphi_4\right)\sin\varphi_3 + \\
& + [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_3) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\cos\varphi_3; \\
z_{34} & = \left(-\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_3 + R_0 \sin\varphi_4\right)\cos\varphi_4 - \\
& - [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_3) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\sin\varphi_4, \\
y_{34} & = \left(-\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_3 + R_0 \sin\varphi_4\right)\sin\varphi_4 + \\
& + [H_4 - R_0(1 - \cos\varphi_3) - R_0(1 - \cos\varphi_4)]\cos\varphi_4.
\end{aligned}$$

Вычислим силовые факторы – реакции опор роликов на стальной лист.

$$\begin{aligned}
N_1 & = \frac{M_2 - F_{п1}y_{21}}{z_{21}}, \\
N_2 & = -\frac{M_3 - N_1z_{31} - F_{п1}y_{31} + F_{п2}y_{32}}{z_{32}}, \\
N_3 & = \frac{M_4 - N_1z_{41} - F_{п1}y_{41} + N_2z_{42} + F_{п2}y_{42} - F_{п3}y_{43}}{z_{43}},
\end{aligned}$$

$$N_4 = -\frac{M_3 + F_{п4}y_{34}}{z_{34}}.$$

Полуширина площадки контакта между i -ым рабочим роликом и стальной полосой равна

$$B_i = \sqrt{4 \frac{N_i}{b} \left(\frac{1 - \nu_0^2}{\pi E_0} + \frac{1 - \nu^2}{\pi E} \right) \frac{(\rho_i - h/2)R}{(\rho_i - h/2 \mp R)}},$$

где E_0 и ν_0 – модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала рабочих роликов.

Знак « \rightarrow » соответствует случаю, когда кривизна поверхности ролика и листа в точке их касания одинакова по знаку, а знак « $+$ » соответствует случаю, когда кривизна поверхности ролика и листа в точке их касания различна по знаку (этот случай может наблюдаться на первом и последнем рабочем роликах).

Максимальное напряжение сжатия, действующее в области площадки контакта, равно

$$\sigma_{\max, i} = \sqrt{\frac{1}{\pi^2 \left(\frac{1 - \nu_0^2}{\pi E_0} + \frac{1 - \nu^2}{\pi E} \right)} \frac{N_i (\rho_i - h/2 \mp R)}{b (\rho_i - h/2)R}},$$

Заключение. Получен метод расчета силовых параметров правки стального листа на четырехроликовой листопрямительной машине. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству широкого толстого стального листа [1–75].

Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатирولیковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой

ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.

10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироlikовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.

11. Шинкин В.Н. Четырехроlikовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироlikовой листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.

12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.

13. Шинкин В.Н. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.

14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.

15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.

16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.

17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.

18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.

19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.

20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.

21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.

22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироlikовой листопривальной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.

23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.

24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.

25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.

26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.

27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.

28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.

29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.

30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гид-

- роиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Metallurg. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.

49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатиролковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семиролковой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятиролковой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
57. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятиролковой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
58. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
59. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатиролковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
60. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
61. Шинкин В.Н., Борисевич В.Г., Федотов О.В. Холодная правка стального листа в четырехролковой листопрямительной машине // В сборнике: Глобализация науки: проблемы и перспективы. Т. 2. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. – С. 119–121.
62. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатиролковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
63. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
64. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.
65. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
66. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные

труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.

67. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

68. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.

69. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.

70. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.

71. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.

72. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения при упругопластическом изгибе круглого бруса // В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 49–56.

73. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения круглого бруса при упругопластическом изгибе // В сборнике: Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 2016. С. 56–63.

74. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.

75. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

Подписано в печать 11.06.2016. Гарнитура Times New Roman
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 9,06. Тираж 100 экз. Заказ № 168
ООО «ЭПИЦЕНТР»

308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1
ИП Ткачева Е.П., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а