

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

научный журнал

Каждый человек, даже если он этого и не осознаёт, живёт своей жизнью.

Массовое сознание.

Очерки логики исторического исследования

Восходное время. Удалые проблемы

Независимо от сферы науки, люди, которые изучают процессы развития, пользуются одними и теми же приемами и способами исследования.

Массовое сознание — практическое знание различных социальных групп, основанное на специализированном знании, нужное социальным группам повседневной жизни для взаимодействия и коммуникации в малых группах, местности проживания, стране, мире.

19
2015
Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 19 (99) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, доктор филологических наук

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук

Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26.

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

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)

Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)

Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)

Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Бурьянов Павел Яковлевич

На обложке изображен Борис Андреевич Грушин (1929—2007) — советский и российский философ, социолог, методолог исторических и социологических исследований.

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Ал Хазражи Абдул Салаам Авад Кадхим Traffic flow models with Anticipation of movement of the car Ahead	1
Имомов А. И. Явные формулы многомерной интерполяции	6
Киякбаева А. Л. Необходимость использования прикладных задач в обучении математике	9
Ляликова Е. Р. Приложения определенного интеграла к решению задач экономики	11
Старева И. А., Еременко В. Р., Иванов С. Е. Математическая модель колебаний буровой установки	17

ФИЗИКА

Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_r - \Psi_s$ в произвольной системе координат на основе апериодических звеньев	27
Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_r - \Psi_s$ в произвольной системе координат на основе интегрирующих звеньев в системе Script-Simulink	42

ХИМИЯ

Васина М. В. Получение и исследование свойств новых полупроводниковых материалов на основе ZnTe и CdSe	58
--	----

Рахматов Х. Б., Самадий М. А., Ахмедов А. Н., Джураева Ш. Д., Тогаев Э. М. Технология получения технического хлористого натрия из галитовых хвостов	60
Рахматов Х. Б., Самадий М. А., Джураева Ш. Д. Исследование процесса конверсии хлорида калия с нитратом аммония в зависимости от технологических параметров	63
Рахматов Х. Б., Самадий М. А., Джураева Ш. Д. Исследование процесса конверсии хлорида калия с нитратом кальция	67
Рябинина Е. И., Зотова Е. Е., Пономарева Н. И., Тимашова А. А., Андреева Н. А. Сорбционная активность свекловичного жома по отношению к ионам свинца	71

ИНФОРМАТИКА

Демин А. В. Обучающаяся система управления движением для 3D модели многоногого робота	74
Смирнов Д. С. Тестирование интернет-страниц как решение задачи о многоруком бандите	78
Фазылова Л. С., Пак Д. В. Численная реализация разностного метода решения одной задачи для уравнения эллиптического типа	86

ЭКОЛОГИЯ

Васина М. В., Бруева О. Ю. Пути решения проблем в области обращения с отходами	90
--	----

КУЛЬТУРОЛОГИЯ

Абдулаева М. Ш., Керимханова Н. М. Музыкальное образование в системе региональной культурной политики.....	92	Кузьменко Е. Б., Скворцова И. А., Терешкова Н. С. Особенности взаимоотношений в китайской семье.....	99
Домахин А. А. Тема города Муром в творчестве Ивана Семёновича Куликова	94	Набока Д. Д., Терешкова Н. С. Искусство китайкой и русской вышивки	102
Кочетова М. А., Пицальникова Р. А., Терешкова Н. С. Китайская чайная церемония.....	97	Оборовская И. Е., Пак Д. А., Терешкова Н. С. Великая Китайская стена: история и легенды.....	105

МАТЕМАТИКА

Traffic flow models with Anticipation of movement of the car Ahead

Ал Хазражи Абдул Салаам Авад Кадхим, профессор
 Университет Гармиан (Ирак)

Dr. Abdul Salaam Awad Kadhim Al Khazraji, Assistant professor
 University of Garmian (Iraq)

Our models are based upon the fukui & Ishibashi (FI) traffic flow model in which cars are allowed to move a maximum of (M) sites in each time step if spacing permits, together with a probabilistic delay for the cars moving out the maximum speed.

We propose & study now vehicular traffic flow models, incorporating the anticipation of the change in the car spacings ahead in the determination account the anticipation in each timestep. By taking in to account the change of car spacing due to moment of the car ahead, the present models give an enhanced traffic flux as compared to the fukui & Ishibashi model. The present model also a fundamental diagram consisting of three phases — a feature consistent with traffic flow observations.

Key words: traffic flow, cellular automaton models.

Vehicular traffic flow problems have attracted much attention in the physics community in recent years.^(1–4) Fundamentally, these problems are related to a general class of problems in physics called driven diffusive systems.^(4–5) Practically, recent developments in cellular automaton (CA) models of traffic, flow provide a novel approach to the complicated problems of vehicular traffic flows. Nagel and Schreckenberg (NS)⁶ proposed a CA model for traffic flow in one dimension in which cars are allowed, to accelerate gradually up to a maximum speed with a built-in probabilistic delay to model the complexity in the drivers' behavior. The model gives a fundamental diagram, i.e., flux as a function of car density, similar to that observed in traffic flow data^{3–7} As a CA model, the NS model can be readily studied via numerical simulations. CA models for one lane form the basic components in building a CA model for traffic flow in cities. Nowadays, large projects have been set up to simulate traffic flow in cities,^{2–8} for example, in Dallas and in Seattle. This new approach complements the conventional approaches based on kinetic theory and the fluid dynamical approach.^{3–4–9} The NS model, while attracting much attention due to its simplicity and nontrivial features, does not present all the features observed in real traffic flow. For example, there are observations indicating a hysteresis effect in which the speed may take on different values with respect to car concentration depending on whether the car density is increasing from a dilute phase or decreasing from a concentrated phase.^{10–11} In addition, there are empirical results showing that there are

three phases in the fundamental diagram³ namely, the free-flow phase for low car densities, the stop-and-go phase at high densities, and the synchronized phase at intermediate densities. The NS model does not reproduce these features clearly. Moreover, even with the optimized value of the speed limit of 5 sites per time step corresponding to the best fit to empirical results,³ the flux in the NS model is found to be lower than that in real traffic flow.

Fukui and Ishibashi (FI)² proposed a slightly simpler CA traffic flow model in which the cars are allowed to accelerate rapidly instead of gradually as in the NS model. In addition, probabilistic delay only applies to the cars moving at the highest allowed speed so as to model the fact that drivers tend to apply the brake more often when they are travelling near the speed limit. The model gives a fundamental diagram similar to that of the NS model. As both of the changes in the FI model tend to increase 'the speed, the maximum flux is therefore higher. With the simplified CA rules, the FI models can be treated analytically by mean field theories. Wang and co-workers have developed mean field theories based on the time evolution on the occupancy of the sites on the road³ and on the car spacings. These theories give results in good agreement with those obtained by numerical simulations. The NS model has also been studied by mean field theories.^{15–16}

Recently, Li et al.¹⁷ proposed and studied numerically a modified NS model in which the anticipated movement of the car in front is incorporated. Interestingly, the maximum

traffic flux was found to be higher than that of the basic NS model, thus the modified model better represents the empirical results obtained from observations. The modified model also gives the hysteresis effect in the fundamental diagram when no probabilistic delay effect is imposed. It is, therefore, interesting to study how the consideration of the anticipated movement of the car ahead affects the features in the FI model. In this work, we study numerically the dependence of the traffic flux as a function of car density for modified FI models in which the anticipated change in the car spacing is incorporated. Results are compared with those obtained in the basic FI model. With a conservative anticipation scheme, the fundamental diagram is found to have three distinguishable phases. The low-density phase gives a linear dependence of the flux on the density.

The high-density phase gives a decrease of the flux on the density similar to the basic FI model, as the effect of changing car spacing 'diminishes when the car density is high. At intermediate densities, the flux drops more rapidly with density when compared with the high-density phase. The maximum flux is higher than that in the FI model. A more aggressive anticipation scheme gives an enhanced flux for a wide range of car densities.

Our models basically follow that of Fukui and Ishibashi. Consider a one-dimensional road with a single lane consisting of L sites. Let V be the number of cars on the road. The cars are assumed to be travelling to the right. The cars are labelled $(n=1, 2, \dots, N)$ from right to left. Hence the number density of cars is given by $\rho = N/L$. In a CA model, the motions of the cars follow a set of parallel updating rules. A car is allowed to move a maximum of M sites in a time step if the spacing in front of the car permits. Thus M serves as the speed limit in the model. In the FI model, the spacing is simply determined by the spacing at the current time step, without consideration of the fact that the car in front would also move in the next time step. In the present models, drivers anticipate the motion of the car ahead and decide the speed according to the spacing at the current time step and the anticipated motion. At each time step, the anticipated motion of the car ahead is predicted using the basic FI model. To avoid collisions, the anticipated motion is only allowed to take on at most $(M - 1)$ sites. The actual motion of the car ahead, of course, could be different from the anticipated motion. This predicted motion has the effect of enhancing the car spacing in front so that the driver can take advantage of it and travel at a higher speed. For a car with a spacing that allows it to actually travel at the maximum speed M , there is a probability f that it will travel at a speed $M - 1$. The parameter f thus gives a probabilistic delay for fast moving cars, as in the FI model. It models the feature that drivers travelling at maximum speed are more cautious, for safety reasons or simply to avoid speeding.

Let $x_n(t)$ and $v_n(t)$ be the position and speed of the n -th car at time respectively. The spacing at time t is, therefore, given by

$$d_n(t) = x_{n-1}(t) - x_n(t) \quad (1)$$

Model A: A more conservative anticipation scheme is given by the following steps.

Step 1: Anticipation of motion — The anticipated motion of the $(n - 1)$ -th car in front of the n -th car is represented by an anticipated speed $v_{n-1}(t+1)$, which is determined by the basic FI model. To avoid collisions and to allow for wider spacing between cars, an anticipated motion up to only $(m - 1)$ sites is allowed. Thus,

$$v_{n-1}(t+1) = \min(m-1, \max\{0, d_{n-1}(t)\}) \quad (2)$$

Step 2: Determination of actual speed — The actual speed of the n -th car is determined by the current spacing and the anticipated motion of the car in front. Probabilistic delay is applied only to cars that are allowed to move at the speed limit. Therefore, with probability $(1 - f)$,

$$v_n(t+1) = \min\{m, d_n(t) + v_{n-1}(t)\} \quad (3)$$

With probability f ,

$$v_n(t+1) = \min(m-1, d_n(t) + v_{n-1}(t+1)) \quad (4)$$

Step 3: Position Update — The position of each car is then updated according to

$$x_n(t+1) = x_n(t) + v_n \quad (5)$$

Equations (3), (4), and (5) give a set of equations for the time evolution of Model A.

Model B: To avoid collisions, it would be sufficient to replace the anticipated speed in eq. (2) by

$$v_{n-1}(t+1) = \min\{m-1, \max\{0, d_{n-1}(t)\}\} \quad (6)$$

Equation (6) would in general lead to a higher speed in Model B than in Model A. Equations (3), (4), (5) with $v_{n-1}(t+1)$ as defined in eq. (6) constitute the set of equations for the time evolution of Model B.

In both the NS and FI models, each site models the minimum length that a car occupies on the road. It has been shown that taking $M = 5$ gives the best description of real traffic flow as it reasonably models the speed limit. In traffic flow problems, the most interesting relation to study is the fundamental diagram, which gives the traffic flux as a function of car density. The traffic flux is the average number of cars passing through a location in a unit time and is simply given by the product of the average speed and the car density. Figure 1 shows the fundamental diagram obtained by numerical simulations for Model A with $M = 1, 2, \dots, 5$ and a random delay probability of $f = 0.3$. We used a lane of 1000 sites, with periodic boundary conditions imposed. The results are obtained in the long time limit when the flow approaches its steady state. For comparison, we include the results for the basic FI model with the same sets of parameters in Fig. 1. The distinguishable features, as compared to the FI model, are that the present model allows a higher maximum traffic flux and there exist three ranges of car densities corresponding to different flux behavior.

For concreteness, we focus our discussion on the case of $M = 5$. The maximum flux in this case is about 1.15, corresponding to a car number density of about 0.275. This implies that the average speed is about 4.18 sites per time step. The flux is significantly higher than the maximum flux of about 0.80 corresponding to a car number density of 0.20 for the basic FI model. The increase in the flux is due to the fact

that with drivers anticipating the movement of the car ahead, the cars can attain a higher average speed in the present model. Figure 1 also shows that the effects of including the anticipation of car motion are only significant in an intermediate range of car densities. For low car densities, cars are well separated in the long time limit. If the density is sufficiently low so that the spacing between cars is larger than M , then anticipation becomes unnecessary as the cars can always travel at the speed limit. Hence the flux in Model A becomes identical to the FI model for a range of densities below 0.15 for $M = 5$. For high car densities, $p > 0.5$, some of the cars are blocked by the car in front. When a car is following another car that is blocked in front, the anticipation of motion does not change the speed of the car from that of the basic FI model since the car in front is anticipated to remain stationary. Hence for $M \geq 2$, the flux in Model A is the same as that of the FI model for $p > 0.5$. It should also be noted that for $p > 0.5$, the flux becomes independent of M for $M \geq 2$. This is because for $p > 0.5$, the density is so high that the cars are either blocked in front or there is only one empty site in front. Therefore, the cars simply cannot move [see eq. (2)] at the allowed speed limit in these congested cases, and the results become insensitive to M . For the special case of $M = 1$, cars are only allowed to move one site at most in each

time step. Therefore, anticipation cannot make the car move faster, and hence Model A and the FI model give identical results. It is found that Model B also gives similar features. The enhanced maximum flux is somewhat higher than the observed value.³ Figure 2 shows the corresponding average speed of cars as a function of car number density for Model A for different values of M . As in the fundamental diagrams, the speed shows three different regimes of dependence on the number density, with the regimes in low and high densities exhibiting features similar to the basic FI model.

The most interesting feature in the fundamental diagram (Fig. 1) is that there are three different ranges of car densities with different behavior. For small p , there is a range in which the flux increases almost linearly with car density. In this range, the cars can attain a high speed and the flux is basically determined by the density. With anticipation, high speed is attained to a higher car density than in the FI model for $A \geq 2$. In the upper panel of Fig. 1, we show the distribution of speeds among the cars for the case of $M = 5$. The distribution is normalized so that all the frequencies of occurrence of the speeds add up to unity. Thus, the bars in the figure give the probability of a car having a certain speed. The distribution at low density {e.g., $p = 0.10$) shows that most of the cars move at the highest possible speed ($M =$

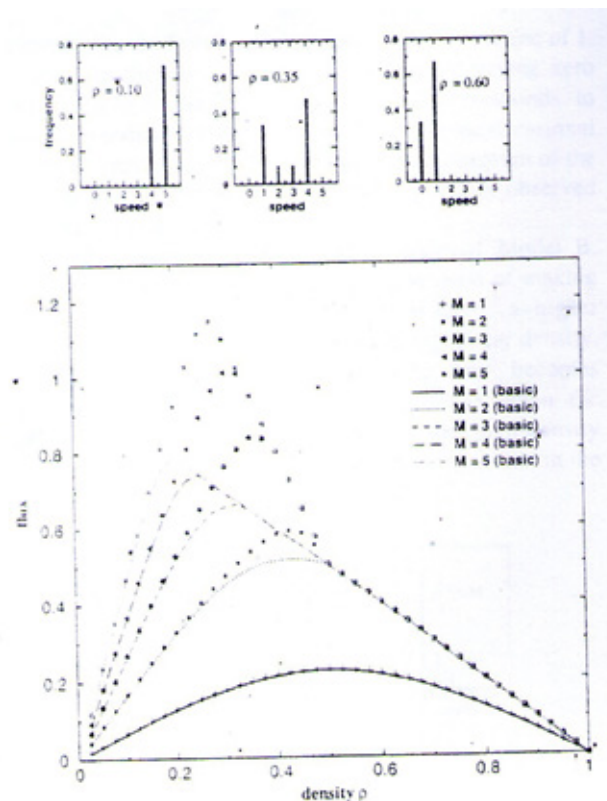


Fig. 1. Fundamental diagram (lower panel) of Model A (symbols) showing the traffic flux as a function of car number density for different values of M . The probability of random delay is taken to be $\tau = 0.3$. Results for the basic FI model (lines) are included for comparison. Model A shows a synchronized phase at a range of intermediate densities. The upper panel shows the distribution of speeds among the cars in $M = 5$ for three different densities corresponding to the free-flow phase ($p = 0.10$), the synchronized phase ($p = 0.35$), and the stop-and-go phase ($p = 0.60$), respectively.

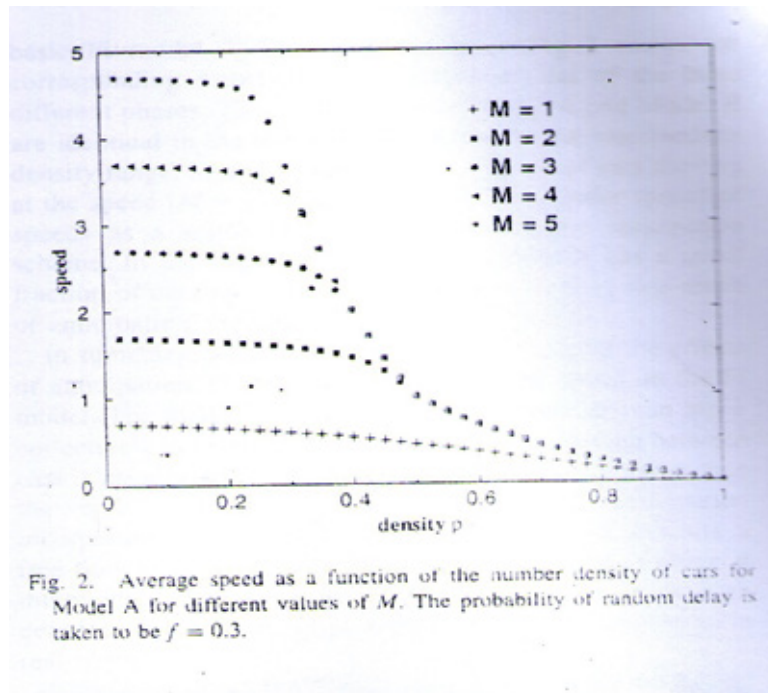


Fig. 2. Average speed as a function of the number density of cars for Model A for different values of M . The probability of random delay is taken to be $f = 0.3$.

Fig. 2: Average speed as a function of density of car for model A for different value of m -the probability of random delay is taken to be $f = 0.3$

5) with a small fraction at the speed $(m - 1)$ due to probabilistic delay. The ratio of the occurrence of speeds M and $(M - 1)$ is $7/3$, as expected for $f = 0.3$. Thus, the spacings between cars are always larger than M in this phase. This corresponds to the free-flow phases) in which there is no blockage of cars. The free-flow phase extends to a higher car density in Model A (up to $\rho \sim 0.30$) as cars can still move with speed $m/$ at densities for which the basic FI model already exhibits a blockage of cars. In an intermediate range of densities, blockage between cars becomes more pronounced because of the higher speed of the cars and the fact that anticipations depend on spacings. Both of these factors lead to a more sensitive dependence of the speed on car densities in this intermediate range, as shown in Fig. 2.

The drop in flux with car density beyond the maximum flux is due to a steep drop in average speed. It should be noted that over this intermediate range of car densities, the flux is higher than the basic FI model. The appearance of the feature in the intermediate range can be recognized as the synchronized phase observed in real traffic flow. In the synchronized state, the drivers have self-organized themselves into a phase in which the cars are, in general, moving, but at a lower speed.³ The upper panel of Fig. 1 shows the corresponding distribution of speeds for a density ($\rho = 0.35$) in the synchronized phase. The distinguished features are that there is a spread in the speeds ranging from 1 to $(M - 1)$ and all the cars are constantly in motion. It should be noted that the basic FI model only shows a narrow intermediate range of densities with this feature. For high car densities, anticipation becomes ineffective and the results obtained are identical to those of the FI model. Figure 1 (upper panel) also

shows that, in the high-density regime ($\rho > 0.5$), some of the cars are blocked during the flow and some take on the low speed of 1.

This leads to the nonvanishing probability of having zero speed. Therefore, the high-density phase corresponds to stop-and-go traffic³ which is characterized by the occasional blockage of cars in the flow. The fundamental diagram of the present model is. Therefore, compatible with that observed empirically in real traffic flow.

Figure 3 shows the fundamental diagram of Model B, which corresponds to a more aggressive scheme of making use of the anticipated motion. Model B gives a higher maximum flux than Model A at a slightly higher car density. From eq. (6), it is expected that the flux becomes independent of M ($M \geq 2$) only for $\rho \geq 2/3$ when the blockage of cars becomes effective. In the high-density limit, the flux is given by $2(1 - \rho)$, which is twice that in the basic FI model.¹⁴ The upper panel in Fig. 3 shows the corresponding distributions of speeds typical of the three different phases.

The distributions of Model A and Model B are identical in the low-density regime. In the intermediate density range, Model B has a higher fraction of cars moving at the speed $(M - 1)$, while Model A has a wider spread of speeds as a result of its more conservative anticipation scheme. In the high-density regime, Model B has a small fraction of cars moving at higher speeds ($v > 1$) as a result of anticipation, leading to the enhanced flux. In summary, we presented numerical results of the effects of anticipation of the movement of the car ahead on the FI model. The models are more realistic in that cars can move collectively at high speed on highways. The spacing between cars is usually governed by the

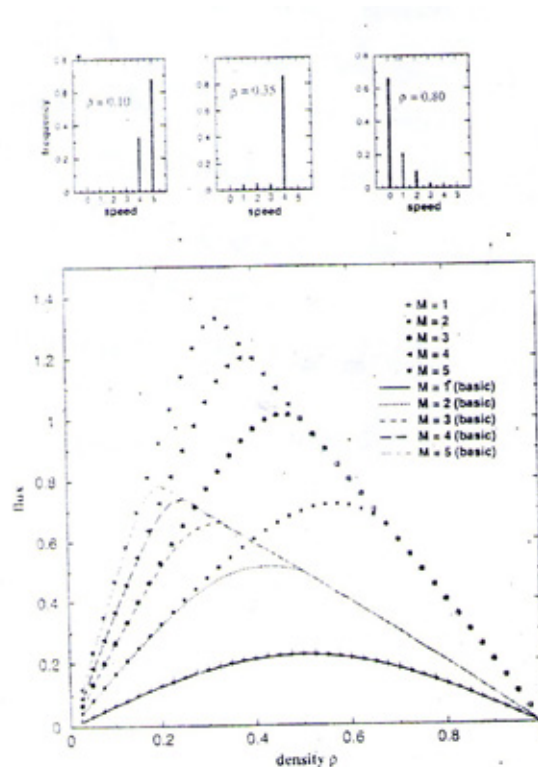


Fig. 3. Fundamental diagram (lower panel) of Model B (symbols) for ferent values of M The probability of random delay is taken to be = 0.3. Results for the basic FI model (lines) are included for mparison. The high-density regime sets in for $p > 2/3$. The upper ncl shows the distribution of speeds among the cars in $V/ = 5$ for three '•-•rent densities corresponding to the free-flow phase ($p = 0.10$). the nchronized phase ($p = 0.35$). and the stop-and-go phase ($p = 0.80$).

stopping distance rather than the speed limit. It is shown that with anticipation incorporated, the fundamental diagram clearly exhibits a free-flow phase at low car densities,

a synchronized phase at intermediate densities, and a stop-and-go phase at high densities. The results are consistent with features observed in real traffic flow.

References:

1. Traffic and Granular Flow '97, ed. M. Schreckenberg and D. E. Wolf (Springer, Singapore, 1998).
2. D. Helbing, H. J. Herrmann, M. Schreckenberg and D. E. Wolf: Traffic and Granular Flow '99: Social, Traffic and Granular Dynamic (Springer, Berlin, 2000).
3. D. Chowdhury, L. Santen and A. Schadschneider: Phys. Rep. 329 (2000) 199
4. D Helbing: Rev. Mod. Phys. 73 (2001) 1067.
5. B. Schmittmann and R. K. P. Zia: Phase Transitions and Critical Phenomena, ed. C. Domb and L. Lebowitz (Academic Press, San Diego, 1995) Vol. 17.
6. K. Nagel and M. Schreckenberg: Phys. J (France) 21 (1992) 2221
7. F. L. Hall, B. L. Allen and M. A. Gunter: Transport. Res, A 20 (1986) 197.
8. P. M. Simon and K. Nagel: Phys. Rev. E 58 (1998) 128b.
9. Prigogine and R. Herman: Kinetic Theory of Vehicular Traffic (Elsevier, Amsterdam, 1971).
10. K. Nagel and M. Paczuski: Phys. Rev. Lett 75 (1995) 2090.
11. S. Krauss, P. Wagner and C. Gawron: Phys. Rev. E 55 (1997) 5597,
12. M. Fukui and Y. Ishibashi: J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) 1868.
13. B. H. Wang, Y. R. Kwong and P. M. Hui: Phys. Rev. E 57 (1998) 2568.
14. B. H. Wang, L. Wang, P. M. Hui and B. Hu: Phys. Rev. E 58 (1998) 2876.
15. A. Schadschneider and M. Schreckenberg: J. Phys, A 30 (1997) L69
16. A. Schadschneider: Eur. Phys. J, B 10 (1999) 573.
17. X. Li, Q. Wu and R. Jiang: Phys. Rev. E 64 (2001) 066128.

Явные формулы многомерной интерполяции

Имомов Адаш Имомович, кандидат физико-математических наук, доцент
Наманганский государственный университет (Узбекистан)

В статье рассматриваются явные формулы многомерной хаотической интерполяции функций многих переменных. Для них построены алгоритмы и программы.

Ключевые слова: многомерная интерполяция на хаотической сетке узлов.

In the article we consider the problem of interpolation function of many variables. For them are build the algorithms and programs.

1. **Введение.** Задача интерполяции является одной из основных задач численных методов. С её помощью решаются задачи приближённого аналитического представления, дифференцирования, интегрирования таблично заданных функций или функций со сложным аналитическим представлением. В настоящее время она применяется в проектировании самолётов, кораблей, деталей сложной формы, в компьютерной графике.

Задача интерполяции для функций многих переменных формулируется следующим образом. В области $D = \{x = (x^1, \dots, x^m)\} \in R^m$, m -мерного евклидова пространства R^m с нормой $|x| = \sqrt{(x^1)^2 + \dots + (x^m)^2}$, заданы точки (узлы) интерполяции, и значения $y_i = f(x_i), i = 0, \dots, n$, некоторой функции $y = f(x)$.

Требуется найти интерполяционную функцию

$$I_n(f, x) I_n(x) = I_n(f, x) = \sum_{i=0}^n c_i \varphi_i(x), \quad (1)$$

такую, что выполнялись условия интерполяции:

$$I_n(x_i) = f(x_i), i = 0, \dots, n. \quad (2)$$

До 1960 годов в основном рассматривалась задача интерполяции функции от одной переменной. Интерполяционная формула строилась в виде линейной комбинации чебышевской системы функций $\{\varphi_j(x)\}$, для которой $\det\{\varphi_j(x_i)\} \neq 0$, и задача (2) для любых множества точек интерполяции разрешима однозначно. Самыми известными являются формулы интерполяции Ньютона, Лагранжа, Гаусса, Эрмита, Стирлинга, Бесселя, Эверетта, Тиле. Приведем интерполяционные формулы Ньютона и Лагранжа:

$$N_n(x) = f(x_0) + \sum_{i=1}^n f[x_0, \dots, x_k](x - x_0) \dots (x - x_{k-1}), \quad (3)$$

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i) \varphi_i(x), \varphi_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}, L_n(x) \equiv N_n(x), \quad (4)$$

где $f[x_0, \dots, x_k] = (f[x_0, \dots, x_{k-2}, x_k] - f[x_0, \dots, x_{k-1}]) / |x_k - x_{k-1}|, k \geq 1$. Известная теорема Мейерхьюбера, о том, что если D замкнутое ограниченное множество, то в пространстве непрерывных функций $C(D)$ нет чебышевской системы функций размерности больше единицы, в некоторое время задерживала поиск многомерных интерполяционных формул.

С 1960 года в задаче интерполяции появились сплайны, представляющие, в простейшем случае, кусочно-полиномиальные гладкие функции. Сплайны являются оптимальными в классе интерполяционных формул, например,

$$\min_{f(x_i)=y_i} \theta(f) = \theta(s), \text{ где } \theta - \text{некоторый квадратичный функционал [5,6,7].}$$

В связи с этим, сплайнами начали называть решения подобных вариационных задач. Такой подход оказался плодотворным, и позволил решить даже многомерную интерполяционную задачу, правда позволил найти неявную интерполяционную формулу. Явные интерполяционные формулы всё же создавались, но они едва были заметны в фоне модных сплайновых интерполяционных формул.

Известны следующие интерполяционные формулы и схемы:

1) интерполяционная формула Березина-Жидкова (1959):

$$B_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = \prod_{j \neq i} c_{ij}(x - x_j, x_i - x_j), c_{ij} = |x_i - x_j|^{-2}, i = 0, \dots, n. \quad (5)$$

2) интерполяционная формула Шепарда (1965):

$$S_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = d_i^{-\alpha} / \sum_{i=0}^n d_i^{-\alpha} = w_i / \sum_{i=0}^n w_i, w_i = \prod_{j \neq i} d_j^\alpha, d_i = |x - x_i|, i = 0, \dots, n \quad (6)$$

3) интерполяционная схема Лебедева (1975)

$$S_n(x) = \sum_{i=0}^n f_i(x)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = A_i d_i^{-\alpha} / \sum_{i=0}^n A_i d_i^{-\alpha} = w_i / \sum_{i=0}^n w_i, d_i = |x - x_i|, i = 0, \dots, n \quad (7)$$

где $f_i(x)$ — отрезок $f(x)$ по формуле Тейлора типа: $|f(x) - f_i(x)| \leq M_i |x - x_i|^p, p > 0$.

4) весовая интерполяционная схема Франка:

$$S_n(x) = \sum_{i=0}^n f_i(x)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = d_i^{-\alpha} / \sum_{i=0}^n d_i^{-\alpha} = w_i / \sum_{i=0}^n w_i, i = 0, \dots, n, \quad (8)$$

5) обобщённая интерполяционная формула типа Ньютона [3,4]:

$$I_n(x) = f(x_0) + \sum_{k=1}^n (f[x_0, \dots, x_{k-2}, x_k] - f[x_0, \dots, x_{k-1}]) / |x_k - x_{k-1}|^\alpha, k \geq 1, \quad (9)$$

где $f[x_0, \dots, x_k] = (f[x_0, \dots, x_{k-2}, x_k] - f[x_0, \dots, x_{k-1}]) / |x_k - x_{k-1}|^\alpha, k \geq 1$ — разделённые разности.

6) обобщённая интерполяционная формула типа Лагранжа [3,4]:

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = \prod_{j \neq i} c_{ij} |x - x_j|^\alpha, c_{ij} = |x_i - x_j|^{-\alpha}. \quad (10)$$

7) интерполяционная схема [3,4]:

$$S_n(x) = \sum_{i=0}^n f_i(x)\varphi_i(x), \varphi_i(x) = w_i / \sum_{i=0}^n w_i, i = 0, \dots, n, \varphi_i(x_j) = \delta_{ij}, \delta_{ii} = 1; \delta_{ij} = 0, j \neq i. \quad (11)$$

В частности, можно принять $w_i(x) = \prod_{j \neq i} (x - x_j, x_i - x_j), w_i(x) = \prod_{j \neq i} |x - x_j|^\alpha$.

8) обобщённая схема Эйткена [3,4] вычисления интерполяционной формулы $I_n(x)$:

$$E_{0,j}(x) = f(x_0) + [f(x_j) - f(x_0)] |x - x_0|^\alpha |x_j - x_0|^{-\alpha}, j = 1..n, \\ E_{ij}(x) = E_{i-1,j-1}(x) + [E_{i-1,j}(x) - E_{i-1,j-1}(x_0)] |x - x_i|^\alpha |x_j - x_i|^{-\alpha}, i = 1..n-1, j = i+1..n, \quad (12)$$

В результате вычислений получаем: $E_{n-1,n}(x) = I_n(x)$.

2. Оценки остаточных членов. Для всех интерполяционных формул можно дать выражение для остаточного члена.

Лемма. Пусть $f(x) \in C^1(D), f(x_0) = 0, x_0 \in D$. Тогда существует функция $g(x) \in C(D)$ такая, что

$$f(x) = |x - x_0| g(x).$$

Доказательство. По формуле конечных приращений Лагранжа и используя выражения для скалярного произведения в R^m имеем:

$$f(x) = f(x_0) + \sum_{j=1}^m (D_{x_j} f(\xi)(x^j - x_0^j) = |x - x_0| (Df(\xi), \frac{x - x_0}{|x - x_0|}) = |x - x_0| g(x).$$

Теорема 1. Пусть $f(x) \in C^{n+1}(D), f(x_i) = 0, x_i \in D, i = 0, \dots, n$. Тогда существует функция $g(x) \in C(D)$ такая, что $f(x) = |x - x_0| \dots |x - x_n| g(x)$.

Доказательство вытекает последовательным применением леммы. Из леммы вытекает что, для малости остаточного члена, необходимо хорошая гладкость, как самой интерполируемой функции, так и интерполяционной формулы.

Для интерполяционной формулы $I_n(x)$ выражение остаточного члена находится достаточно просто.

Теорема 2. Пусть $f(x) \in C^{n+1}(D)$, $R_n(x) = f(x) - I_n(x)$. Тогда справедливо равенство

$$R_n(x) = |x - x_0| \dots |x - x_n| f[x, x_0, \dots, x_n].$$

Доказательство. Согласно определению разделённых разностей имеем,

$$f(x) = f(x_0) + |x - x_0| f[x_0, x],$$

$$f[x_0, x] = f[x_0, x_1] + |x - x_1| f[x_0, x_1, x], \dots,$$

$$f[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x] = f[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}] + |x - x_n| f[x_0, x_1, \dots, x_n, x].$$

Каждую следующую формулу подставляем в предыдущую и получаем:

$$f(x) = f(x_0) + |x - x_0| f[x_0, x] = f(x_0) + |x - x_0| f[x_0, x] + |x - x_0| |x - x_1| f[x_0, x_1, x] = \dots = I_n(x) + R_n(x), R_n(x) = |x - x_0| \dots |x - x_n| f[x, x_0, \dots, x_n]$$

3. Программы на языке Паскаль. Приведём программу построения $I_n(x)$.

Newtoninterpolation;

```

type vec=array [0..100] of real; var i,j,n:integer;x1,x2,y,f:vec;p,c,ln,t1,t2:real;
function d(u,v:real):real; begin d:=(u*u+v*v) end;
procedure tab(n:integer;var x1,x2,y:vec);
var i:integer;
begin for i:=0 to n do begin writeln('x1,x2,y [',i,']= ');read(x1 [i],x2 [i],y [i]); end; end;
procedure Newton(n:integer;x1,x2,y:vec;u,v:real;var ln:real);
var i,j:integer;
begin ln:=f [0];p:=1;
for i:=0 to n-1 do for j:=i+1 to n do f [j]:=(f [j]-f [i])/d(x1 [j]-x1 [i],x2 [j]-x2 [i]);
for i:=1 to n do begin p:=p*d(t1-x1 [i],t2-x2 [i]);ln:=ln+f [i]*p end;
end;
begin
write('n=?');readln(n);tab(n,x1,x2,y);
repeat write('t1,t2=?');read(t1,t2); for i:=0 to n do f [i]:=y [i];
Newton(n,x1,x2,f,t1,t2,ln); writeln('ln(' ,t1,t2,')=' ,ln);
until false; end.

```

Литература:

1. Имомов, А. Формулы интерполирования функций многих переменных. Вычислительные системы, Новосибирск, 1978, вып. 75, с. 50–55.
2. Имомов, А. Явные формулы интерполирования функций многих переменных. Вычислительные системы, Новосибирск, 1986, вып. 115, с. 93–97.
3. Имомов, А. Интерполяция операторов. Научный вестник ФерГУ, Фергана, 1997, вып. 1–2, с. 57–62.
4. Имомов, А. Явные интерполяционные формулы для функций многих переменных. Методы сплайн функций. Тезисы докл. Новосибирск, Изд. ИМ, 2001, с. 38–39.
5. Schumaker, L. L. Fitting surfaces to scattered data. In Approximation theory II. Acad. Press, New York-London, 1976, p. 203–268.
6. Barnhill, R. E. Representation and approximation of surfaces. In Mathematical software III. Acad. Press, New York-London, 1977, p. 69–120.
7. Duchon, J. Interpolation des fonctions de deux variables suivant le principe de la flexion des plaques minces. R. A. I. R. O. Analyse numerique. vol. 10. n0 12. decembre 1976, p. 5 a 12.

Необходимость использования прикладных задач в обучении математике

Киякбаева Айжан Лаиковна, магистрант
Челябинский государственный педагогический университет

Математика на протяжении всей истории человеческой культуры всегда была ее неотъемлемой частью; она является ключом к познанию окружающего мира, базой научно-технического прогресса. Математические знания и навыки необходимы практически во всех профессиях, прежде всего в тех, которых связаны с естественными науками, техникой, экономикой. Но математика стала проникать и в области традиционно «нематематические» — управление государством, медицину, лингвистику и другие. Несомненна необходимость применения математических знаний и математического мышления врачу, историку, лингвисту, настолько важно математическое образование для профессиональной деятельности в наше время.

Одним из моментов в модернизации современного математического образования является усиление прикладной направленности школьного курса математики, то есть осуществление связи его содержания и методики обучения с практикой. Проблема прикладной направленности обучения математике не нова и на всех этапах ее становления и развития была связана с множеством вопросов, часть из которых не решена до сих пор. Проблема прикладной направленности школьной математики динамична по своему содержанию и в силу постоянного развития математической теории, прогресса ИКТ, расширения области человеческой деятельности. Даже будучи однажды решенной, она с каждым новым витком истории будет требовать переосмысления и корректировки. Об этом нужно не забывать. Предугадать все аспекты применения математики в будущей деятельности учащихся практически невозможно, а тем более сложно рассмотреть все эти вопросы в школе. Научно-техническая революция во всех областях человеческой деятельности предъявляет новые требования к знаниям, технической культуре, общему и прикладному характеру образования. Это ставит перед современной школой новые задачи совершенствования образования и подготовки школьников к практической деятельности. [4]

Прикладная направленность школьного курса математики осуществляется с целью повышения качества математического образования учащихся, применения их математических знаний к решению задач повседневной практики и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Прикладная направленность обучения математике включает межпредметные связи с курсами физики, химии, географии, черчения, трудового обучения, широкое использование электронно-вычислительной техники и обеспечение компьютерной грамотности; формирование математического стиля мышления и деятельности.

Все приемы и средства обучения, которые учитель использует в ходе урока, должны быть ориентированы на реализацию прикладной направленности обучения во всех возможных проявлениях. Так, учителю следует как можно чаще акцентировать внимание учащихся на универсальность математических методов, на конкретных примерах показывать их прикладной характер.

На уроках необходимо обеспечивать органическую связь изучаемого теоретического материала и задачного материала, так, чтобы школьники понимали его значимость, ближнюю и дальнюю перспективы его использования. По возможности, можно очертить область, в которой данный материал имеет фактическое применение. Хорошо известно, что одним из главных условий осуществления деятельности, достижения определенных целей в любой области является мотивация. В основе мотивации, как говорят психологи, лежат потребности и интересы личности. Чтобы добиться хороших успехов в учебе школьников, необходимо сделать обучение желанным процессом. Поэтому каждое новое понятие или положение должно, по возможности, первоначально появляться в задаче практического характера. Такая задача призвана, во-первых, убедить школьников в необходимости и практической полезности изучения нового материала; во-вторых, показать учащимся, что математические абстракции возникают из практики, из задач, поставленных реальной действительностью. Это один из путей усиления мировоззренческой направленности обучения математике. [3]

Использование межпредметных связей является одним из условий реализации прикладной направленности обучения. Объект математики — весь мир, и его изучают все остальные науки. Привлечение междисциплинарных связей повышает научность обучения, доступность (теория насыщается практическим содержанием), естественным образом проникают на урок элементы занимательности. Однако появляется и немало трудностей: учителю требуется освоить другие предметы, практическая задача обычно требует больше времени, чем теоретическая, возникают вопросы взаимной увязки программ и другие. И, конечно же, важную роль в реализации прикладной направленности обучения математике играют задачи.

Практика показывает, что школьники с интересом решают и воспринимают задачи практического содержания. Учащиеся с увлечением наблюдают, как из практической задачи возникает теоретическая, и как чисто теоретической задаче можно придать практическую форму. К прикладной задаче следует предъявлять следующие требования:

в содержании прикладных задач должны отражаться математические и нематематические проблемы и их взаимная связь;

задачи должны соответствовать программе курса, вводиться в процесс обучения как необходимый компонент, служить достижению цели обучения;

вводимые в задачу понятия, термины должны быть доступными для учащихся, содержание и требование задач должны «сближаться» с реальной действительностью;

способы и методы решения задач должны быть приближены к практическим приемам и методам;

прикладная часть задач не должна покрывать ее математическую сущность.

Прикладные задачи дают широкие возможности для реализации общедидактических принципов в обучении математике в школе. Практика показывает, что прикладные задачи могут быть использованы с разной дидактической целью, они могут заинтересовать или мотивировать, развивать умственную деятельность, объяснять соотношение между математикой и другими дисциплинами. [2]

Интерес учащихся к математическим знаниям периодически снижается. Одна из основных причин в том, что уроки математики не дают достаточно убедительного ответа на вопрос: зачем всё это нужно?

Проблема математического образования в школе сводится не только к передаче учащимся определенной суммы знаний и навыков по предмету математики. Не менее важной задачей является реализация возможностей предмета математики в развитии личности учащихся. Важно подбирать материал, содержание которого способствует воспитанию нравственности, чувства долга, ответственности, — через раскрытие роли ученых в развитии математической науки, ознакомление с их мировоззрением и общественной деятельностью, через использование текста условия задачи и подтекстуального содержания математических задач.

Усиление практической направленности математики — одна из основных задач, поставленных перед системой образования реформой общеобразовательной и профессиональной школы.

Воспитание интереса к математике:

Знакомство учащихся с практическим применением изученного материала способствует воспитанию интереса к математике. Интерес — один из инструментов, побуждающий учащихся к более глубокому познанию предмета, развивающий их способности. Для воспитания и развития интереса к предмету учитель располагает в основном двумя возможностями: работой на уроке и внеклассной работой. На уроке присутствуют все ученики класса, а кружок, факультатив, внеклассное мероприятие, как правило, посещают лишь немногие. На уроках необходимо отводить место рассказам о значении математики, о математике вокруг нас, о замечательных людях, посвятивших свою жизнь математике, о связи с другими предметами и т. д. Интерес к математике усиливается, если ребята видят её связь с другими предметами. В этом плане огромное зна-

чение имеют уроки, которые ведут 2—3 учителя по разным предметам.

Прикладные задачи в мотивации обучения:

В преподавании математики очень важна мотивационная сторона.

Математическая задача воспринимается учащимися лучше, если она возникает как бы у них на глазах, формулируется после рассмотрения каких-то физических явлений или технических проблем.

Ещё один прием мотивации — обращение к историческим событиям, создающее эмоциональный подъем в классе. Даже самая неинтересная тема способна увлечь школьников, если учитель сумеет связать с ней такие факты, которые вызывают светлое чувство у слушателей.

Ссылка на историю всегда вызывает у учащихся интерес, а если еще задача предложена из какого-либо древнего источника со своеобразной формулировкой, то это ещё больше стимулирует школьников к её решению.

С большим интересом воспринимаются задачи, вызывающие споры. Такие задачи сначала кажутся учащимся простыми, и ответы на них следуют немедленно. Однако ответы оказываются неодинаковыми, возникает спор. Рассудить спорящих может только убедительно изложенное решение.

Важной особенностью прикладных математических задач является применение размерных величин.

Наблюдение за размерностью величин в процессе решения задачи позволяет выявить ошибки в этом решении. Например, если a и b — длины, а в процессе решения появится выражение $a^2 - 2b$, можно сразу сделать вывод, что допущена ошибка.

Другая особенность прикладных задач состоит в постоянном стремлении довести решение до числа, причем «круглые» ответы здесь весьма редки. Задачи же, применяемые в школьной практике, порой создают у учащихся представление о том, что «некруглость» ответа является признаком его ошибочности.

Существенным в прикладной направленности обучения математике является привитие методов самоконтроля.

Если задача решена в буквенном виде, то для контроля применяется проверка размерности полученного выражения; исследование поведения решения, когда параметры задачи обращаются в нуль или значительно возрастают, или принимают какие-либо иные характерные значения, при которых решение можно получить из наглядных соображений. Если получено численное значение решения, то для контроля можно сравнить его с результатом грубой прикидки, с оценкой, полученной «по здравому смыслу». Предварительная прикидка ответа вообще весьма полезна. Все это помогает не только проконтролировать ответ, но и развить правильную интуицию. [1]

Учитывая дидактическое назначение задач с точки зрения прикладной направленности, можно ввести такие термины: «практическая задача», «задача с практическим содержанием», «прикладная задача», «задача с прикладной направленностью».

Решение прикладных задач состоит из трех этапов: формализация, реализация, интерпретация. Прикладными можно считать текстовые задачи, представленные в действующих учебниках, однако большинство из них ориентирует учащихся лишь на определение количественной характеристики описываемых явлений: «Найти скорость велосипедиста, мотоциклиста, автобуса, поезда, теплохода, течения реки и т. д.», «Сколько часов потратил велосипедист, мотоциклист, автобус и т. д.?». Очевидно, такие задачи необходимо переформулировать, с тем, чтобы переориентировать учащихся с установления количественной характеристики связей, отраженных в задаче, на выявление их сущности.

Основными принципами работы над задачей являются:

1. методическая обработка задачи согласно целям обучения и требованиям к системе задач
2. обучение учащихся на каждом этапе процесса решения задач
3. использование при решении задач методов, близких к тем, которые встречаются в практической де-

ятельности (поиск, исследование, правдоподобные рассуждения и интуиция, использование справочников, таблиц и т. д.)

4. рассмотрение нескольких способов решения и обсуждение оптимального варианта.

Итак, задачи могут выступать основным средством усиления прикладной направленности обучения математике, если к ним правильно подходить.

Работать над реализацией прикладной направленности обучения надо очень серьезно, ведь она влечет за собой развитие познавательной активности учащихся. Перебрать десяток методов и выбрать нужный, переработать десятки учебников, думать самому, вечно изобретать, совершенствоваться. И все для того, чтобы разбудить детей, ввести их в царство мысли. Внедрение компьютерной техники в процесс обучения усилит его прикладную направленность. А вопросы синтеза проблемного обучения с компьютерным будут способствовать развитию информационной культуры учащихся.(5)

Литература:

1. Епишева, О. Б. Технология обучения математике на основе деятельностного подхода. — М.: Просвещение, 2004.
2. Крымова, Л. Н. Метод проектов в обучении математике. //»Математика в школе», 2006, № 4, с. 62.
3. Методика и технология обучения математике. Курс лекций: пособие для вузов \ под научн. ред. Н. Л. Стефановой, Н. С. Подходовой. — М.: Дрофа, 2005. — 416 с.
4. Никифорова, М. А. «Преподавание математики и новые компьютерные технологии» // «Математика в школе», 2005, № 6, с. 73; № 7, с. 56.
5. Юнина, Е. А. Технологии качественного обучения в школе. Учебно-методическое пособие — М.: Педагогическое общество России, 2007. — 224 с.

Приложения определенного интеграла к решению задач экономики

Ляликова Елена Реомировна, кандидат физико-математических наук, доцент
Южный Федеральный Университет (г. Ростов-на-Дону)

Статья посвящена обоснованиям применения интегрального исчисления к решению ряда экономических задач.

Ключевые слова: *определенный интеграл, первообразная, предельные величины, производственная функция, дисконтирование, дисконтирование денежного потока при непрерывном начислении процентов, кривая Лоренца, коэффициент Джини, математическая модель.*

Часто размышляя над повышением мотивации к изучению высшей математики на «нематематических» специальностях, понимаю, что четко прослеживается важная роль в этом прикладных задач. Исходя из этого, программу следует строить так, чтобы после знакомства на лекции с новым понятием и после того как студент на практике освоил технику решения примеров с использованием данного понятия, необходимо уделить внимание задачам, непосредственно принадлежащим специализации данной студенческой группы. Нужно, чтобы студенты постоянно чувствовали, что то, чем они занимаются в настоящий момент, близко к их будущей профессии. Важно показать, что огромный спектр этих задач, какая бы разная ни была их постановка, сводится к ограниченному числу различных математических моделей, решать которые ваши студенты уже научились в процессе овладения фундаментальными математическими понятиями. В данной статье я хочу коснуться экономических приложений интеграла.

Приведу несколько экономических понятий и соответствующих им задач, использующих понятие интеграла и иллюстрирующие различные методы интегрирования.

Нахождение экономических функций по известным предельным величинам

Под *предельным (маржинальным) значением показателя* в экономическом анализе принято понимать производную функции этого показателя (если эта функция непрерывна). Предельные величины характеризуют *процесс изменения* экономического объекта по времени или относительно некоторого фактора. Они выражают прирост соответствующего показателя в расчете на единицу прироста определяющего его фактора.

В курсе микроэкономики часто приходится находить экономические функции по их известным предельным величинам, т.е. искать саму функцию $f(x)$, зная только $f'(x)$. Поскольку функция $f(x)$ является первообразной функции $f'(x)$, то нахождение $f(x)$ связано с интегрированием функции $f'(x)$: $\int f'(x)dx = f(x) + C$. Таким образом, чтобы найти экономическую функцию по ее предельной, необходимо проинтегрировать предельную функцию.

Рассмотрим задачу об издержках производства. *Издержки производства* - это расходы, денежные траты, которые необходимо осуществить для создания единицы товара ([2], с.59), а *предельные издержки* характеризуют дополнительные затраты на производство единицы дополнительной продукции.

Задача №1. Задана функция предельных издержек $f = 2x^2 - 2x + 90$. Найти функцию издержек $F = F(x)$ и вычислить издержки на изготовление 15 ед. товара.

Решение: При помощи интегрирования находим издержки на изготовления 15 ед. товара

$$\int_0^{15} (2x^2 - 2x + 90)dx = \left(\frac{2}{3}x^3 - x^2 + 90x \right) \Big|_0^{15} = 3375 \text{ (y. e.)}.$$

Функция издержек здесь $F(x) = \frac{2}{3}x^3 - x^2 + 90x + C$.

Нахождение объема продукции по известной функции производительности труда или производственной функции

Пусть функция $y = f(t)$ описывает изменения производительности некоторого производства с течением времени. Найдем объем продукции Q , произведенный за промежуток времени $[0; T]$. Разобьем отрезок $[0; T]$ на промежутки времени точками $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$. Выберем на каждом отрезке $[t_i, t_{i+1}]$ произвольную точку ξ_i . Тогда объем продукции $\Delta \tilde{Q}_i$, произведенной за промежуток времени $[t_i, t_{i+1}]$ с постоянной производительностью $f(\xi_i)$ имеет вид: $\Delta \tilde{Q}_i = f(\xi_i)\Delta t_i$, где $\xi_i \in [t_i, t_{i+1}]$, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, $i = 0, 1, \dots, n-1$.

Обозначим $\tilde{Q} = \sum_{i=0}^{n-1} \Delta \tilde{Q}_i = \sum_{i=0}^{n-1} f(\xi_i)\Delta t_i$. При $\max \Delta t_i \rightarrow 0$, $\tilde{Q} \rightarrow Q$, получаем

$$Q = \lim_{\max \Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{n-1} f(\xi_i)\Delta t_i. \text{ То есть, по определению определенного интеграла } Q = \int_0^T f(t)dt - \text{объем}$$

выпускаемой продукции за промежуток $[0; T]$.

Задача №2. Пусть $f(t) = -3t^2 + 18t$ - производительность труда.

Определить выработку рабочего:

- за весь рабочий день;
- за третий час работы;
- за последний час работы, если продолжительность рабочего дня 6 часов;
- провести экономический анализ задачи.

Решение: Находим общую выработку рабочего за весь день (6 часов):

$$Q = \int_0^T f(t)dt = \int_0^6 (-3t^2 + 18t)dt = (-t^3 + 9t^2) \Big|_0^6 = 108 \text{ (y. e.)}.$$

Определим выработку рабочего за третий час работы:

$$Q = \int_2^3 f(t)dt = \int_2^3 (-3t^2 + 18t)dt = (-t^3 + 9t^2) \Big|_2^3 = 26 \text{ (y. e.)}$$

Определим выработку рабочего за последний час работы:

$$Q = \int_5^6 f(t)dt = \int_5^6 (-3t^2 + 18t)dt = (-t^3 + 9t^2) \Big|_5^6 = 8 \text{ (y. e.)}$$

Вероятно, работа утомительна и требует большого напряжения, поэтому к концу дня падает производительность труда.

Производственная функция – это математическое выражение, показывающее зависимость объема производства от количества используемого труда и капитала ([2], с. 55). Наиболее известной производственной функцией является функция Кобба-Дугласа: $f(t) = AK^\alpha(t)L^\beta(t)$, где A, α, β – неотрицательные константы, K – объем фондов либо в стоимостном, либо в натуральном выражении (скажем число станков), L – объем трудовых ресурсов (число рабочих дней, число человеко-дней), $f(t)$ – выпуск продукции в стоимостном, либо в натуральном выражении.

Тогда объем выпускаемой продукции за время T лет составит: Если в функции Кобба-Дугласа считать, что затраты труда есть линейная зависимость от времени, а затраты капитала $e^{\gamma t}$ (чтобы поддерживать равновесие между объемом производства выпускаемой продукции и совокупным спросом на нее, скорость денежного потока должна расти со скоростью экспоненты), то она примет вид $f(t) = (\alpha t + \beta)e^{\gamma t}$. Тогда объем выпускаемой продук-

ции за время T лет составит:
$$Q = \int_0^T (\alpha t + \beta) e^{\gamma t} dt.$$

Задача №3. Найти объем продукции Q , произведенный за 4 года, если функция Кобба-Дугласа имеет вид:

$$f(t) = (1 + t) e^{3t}.$$

Решение: Здесь используем для вычисления интеграла метод интегрирования по частям.

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^4 (1 + t) e^{3t} dt = \left\| \begin{array}{l} u = 1 + t \quad du = dt \\ dv = e^{3t} dt \quad v = \frac{1}{3} e^{3t} \end{array} \right\| = \frac{1+t}{3} \cdot e^{3t} \Big|_0^4 - \frac{1}{3} \cdot \int_0^4 e^{3t} dt = \\ &= \left(\frac{1+t}{3} e^{3t} - \frac{1}{9} e^{3t} \right) \Big|_0^4 = \frac{14}{9} e^{12} - \frac{2}{9} \approx 2,35 \cdot 10^5 \text{ (y. e.)}. \end{aligned}$$

Среднее время изготовления изделия

Пусть известна функция $t = t(x)$, описывающая изменение затрат времени t на изготовления изделия, в зависимости от степени освоения производства, где x - порядковый номер изделия в партии. Тогда *среднее время* t_{cp} , затраченное на изготовление одного изделия в период от x_1 до x_2 изделий вычисляется по теореме о среднем:

$$t_{cp} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} t(x) dx \tag{1}$$

Функция изменения затрат времени на изготовление изделий $t = t(x)$ часто имеет вид: $t = ax^{-b}$, где a – затраты времени на первое изделие, b – показатель производственного процесса.

Задача №4. Найти среднее время, затраченное на освоение одного изделия в период освоения от $x_1 = 50$ до $x_2 = 75$ изделий, если функция изменения затрат времени $t(x) = 100x^{-\frac{1}{2}}$ (ч).

Решение: Используя формулу (1), получим

$$t_{cp} = \frac{1}{75 - 50} \int_{50}^{75} 100x^{-1/2} dx = \frac{100}{25} \int_{50}^{75} x^{-1/2} dx = 8x^{1/2} \Big|_{50}^{75} \approx 12,7 \text{ (ч)}$$

Дисконтированная стоимость денежного потока

Ценность денежных средств изменяется со временем. 100 рублей, полученные через пять лет, имеют иную (в большинстве случаев, меньшую) ценность, чем 100 рублей, которые имеются в наличии сегодня. Имеющиеся в наличии денежные средства можно инвестировать в банковский депозит или любой другой инвестиционный инструмент, что обеспечит процентный доход. То есть 100 руб. сегодня, дают 100 руб. плюс процентный доход через пять лет.

Определение начальной суммы по ее конечной величине, полученной через время t лет при годовом удельном проценте p , называется *дисконтированием* ([4], с. 325).

Если вложить S руб. на t лет под \tilde{p} % годовых, то через год сумма будет $S(1 + p)$, через 2 года $S(1 + p)^2$, а через t лет $S(1 + p)^t$, здесь и везде далее p - это процентная ставка, выраженная в долях от единицы ($p = 0,01 \cdot \tilde{p}$).

Если теперь рассмотреть обратную задачу (задачу дисконтирования), то есть по известной сумме S_1 через t лет определить ее сегодняшнюю стоимость S , то из равенства $S(1 + p)^t = S_1$ определяя S , получим:

$$S = \frac{S_1}{(1 + p)^t} \quad (2)$$

Рассмотрим задачу дисконтирования денежного потока, то есть вложение денег будет не единовременным (будем вкладывать деньги, например раз в год в течение всего рассматриваемого периода). Допустим вначале, что для каждого дискретного момента времени $t = 1, 2, 3, \dots$ задана величина денежного потока $R(t)$. Если ставку процента обозначить через p , то дисконтированную стоимость каждой из величин

$R(1), R(2), R(3), \dots$ найдем по формуле (2):

$$R(1) \cdot (1 + p)^{-1}, \quad R(2) \cdot (1 + p)^{-2}, \quad R(3) \cdot (1 + p)^{-3}, \dots$$

Тогда дисконтированную стоимость денежного потока найдем, суммируя эти величины

$$K = \sum_{i=1}^n R(t) \cdot (1 + p)^{-t} \quad (3)$$

здесь n – общее число периодов времени.

А теперь получим формулу дисконтированной стоимости денежного потока при непрерывном начислении процентов. Задачи такого рода встречаются при определении экономической эффективности капиталовложений (долгосрочные, не менее чем на 4 года, денежные вложения или имущественные вклады).

Для этого разобьем рассматриваемый отрезок времени $[0; T]$ на m частей. Тогда в каждый промежуток времени удельная процентная ставка будет составлять $\frac{p}{m}$. Устремим $m \rightarrow \infty$ и рассмотрим поведение 2-го множителя в произведении формулы (3):

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{p}{m}\right)^{-tm} = \lim_{m \rightarrow \infty} e^{\ln\left(1 + \frac{p}{m}\right)^{-tm}} = \lim_{m \rightarrow \infty} e^{-tm \cdot \ln\left(1 + \frac{p}{m}\right)} = e^{-pt} \quad (4)$$

Пусть $f(t)$ – функция, задающая денежный поток в любой момент времени t . Тогда, учитывая (2) и (4), дисконтированная стоимость денежных потоков в момент времени t составит

$$K(t) = f(t) \cdot e^{-tp} \tag{5}$$

Заменяя в формуле (3) суммирование интегрированием, получим дисконтированную стоимость денежного потока через T лет при непрерывных процентах:

$$K = \int_0^T f(t)e^{-pt} dt \tag{6}$$

Задача №5. Определить дисконтированный доход за четыре года при процентной ставке 10%, если первоначальное капиталовложение составило 10 млн. руб. и намечается ежегодно капитал увеличивать на 5 млн. руб. Провести экономический анализ.

Решение: Составим функцию, задающую денежный поток $f(t) = 10 + 5t$. Тогда дисконтированная сумма капиталовложения вычисляется по формуле (6):

$$K = \int_0^4 (10 + 5t) e^{-0,1t} dt = \left\| \begin{array}{l} u = 10 + 5t \quad dv = e^{-0,1t} dt \\ du = 5dt \quad v = -10e^{-0,1t} \end{array} \right\| = -10(10 + 5t) e^{-0,1t} \Big|_0^4 + 50 \int_0^4 e^{-0,1t} dt = -300e^{-0,4} + 100 - 500 e^{-0,1t} \Big|_0^4 = -800e^{-0,4} + 600 \approx -536,9 + 600 = 63,1 \text{ (млн. руб.)}$$

Это означает, что для получения одинаково наращенной суммы через 4 года ежегодные капиталовложения от 10 до 30 млн. руб. равны одновременным первоначальным вложениям 63,1 млн. руб. при той же исчисляемой непрерывной процентной ставке.

Кривая Лоренца. Вычисление коэффициента Джини

Кривая Лоренца – это кривая, отражающая накопленные доли дохода населения ([3], с.412).



Рис. 1. Кривая Лоренца

В свою очередь, прямая MN называется *линией равномерного распределения доходов*. Это гипотетическая линия, которая показывает, что было бы, если доходы в экономике распределялись равномерно. Кривая Лоренца позволяет судить о степени неравенства доходов в экономике по ее изгибу. Для количественного измерения степени неравенства дохода по кривой Лоренца существует специальный коэффициент – коэффициент Джини, который равен отношению площади фигуры, ограниченной прямой абсолютного равенства и кривой Лоренца, к площади всего треугольника MNE :

$$k = \frac{S_A}{S_{MNE}}$$

Чем выше неравенство в распределении доходов, тем больше коэффициент k приближается к единице (абсолютное неравенство). И чем выше равенство в распределении доходов, тем меньше данный коэффициент. При абсолютном равенстве он достигает нуля.

Задача №6. По данным исследования распределения доходов, в одной из стран кривая Лоренца, может быть описана уравнением $y = 1 - \sqrt{1 - x^2}$, где x - доля населения, y - доля доходов населения. Найти коэффициент Джини.

Решение: Изобразим заданную кривую (см. рис.2).

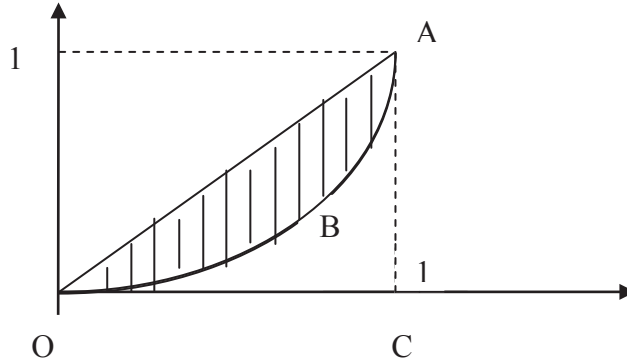


Рис. 2

Это четверть окружности с центром в точке $(0; 1)$, радиуса $R = 1$, удовлетворяющая условиям $y \leq 1$ (область изменения функции) и $x \geq 0$ (по смыслу задачи). Проведем также и биссектрису $y = x$. Тогда коэффициент

Джини вычисляется по формуле:
$$k = \frac{S_{OAB}}{S_{OAC}}.$$

Вычислим отдельно,
$$S_{OAC} = \frac{1}{2} OC \cdot AC = \frac{1}{2};$$

$$S_{OAB} = \int_0^1 (x - (1 - \sqrt{1 - x^2})) dx = \left(\frac{x^2}{2} - x \right) \Big|_0^1 + \int_0^1 \sqrt{1 - x^2} dx = \left\| \begin{array}{l} x = \sin t \\ dx = \cos t dt \\ 0 \rightarrow 0, \quad 1 \rightarrow \frac{\pi}{2} \end{array} \right\| =$$

$$= -\frac{1}{2} + \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - \sin^2 t} \cdot \cos t dt = -\frac{1}{2} + \int_0^{\pi/2} \cos^2 t dt = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} (1 + \cos 2t) dt =$$

$$= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \left(t + \frac{\sin 2t}{2} \right) \Big|_0^{\pi/2} = -\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4}.$$

Тогда коэффициент Джини
$$k = \frac{-\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4}}{\frac{1}{2}} \approx 0,57.$$

Высокое значение коэффициента показывает существенное неравномерное распределение доходов среди населения в данной стране.

Литература:

1. Красс, М. С., Чупрынов Б. П. Основы математики и ее приложения в экономическом образовании. 4-е изд., испр. — М.: Дело, 2003. 688 с.
2. Основы экономической теории. Курс лекций. Под редакцией Баскина А. С., Боткина О. И., Ишмановой М. С. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2000.
3. Нуреев, Р. М. Курс микроэкономики: Учебник для вузов. — 2-е изд., изм.-М.: Норма, 2005. 576 с.
4. Солодовников, А. С., Бабайцев В. А., Браилов А. В., Шандра И. Г. Математика в экономике: учебник: ч.2. М.: Финансы и статистика. 2007. — 560 с.

Математическая модель колебаний буровой установки

Старева Ирина Александровна, магистрант;
Еременко Владимир Романович, студент
Санкт-Петербургский государственный университет

Иванов Сергей Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Разработана нелинейная математическая модель колебаний буровой установки под действием периодических нагрузок, представленная системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Предложена методика расчета основных характеристик колебаний с применением метода многочленных преобразований. Получены расчетные формулы согласно методу многочленных преобразований.

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания, динамические нагрузки, дифференциальные уравнения.

Введение. Среди разнообразных видов механического воздействия на различные технические объекты можно выделить периодические. Причины их возникновения разнообразны. Это и внешние воздействия, вызванные, например, порывами ветра, и внутренние, вызванные работой различных устройств, содержащихся в технических объектах. Вибрационные нагрузки возникают при работе различных моторов, насосов, двигателей и постоянно работающих устройств [25]. Элементы объектов, изготовленные из различных материалов, имеют внутренние дефекты, которые могут при вибрационных нагрузках постепенно «развиваться» [4, 14, 21, 39, 50, 60–63]. Рост дефектов особенно при наличии агрессивного химического или биологического воздействия на них может со временем привести не только к разрушению отдельного элемента объекта, но и разрушению объекта в целом [25]. Оценить воздействие вибрационных нагрузок можно экспериментально, проведя серию экспериментов. Но этот путь сложный и дорогой, поскольку требует значительных материальных ресурсов [36, 59]. Второй — теоретический, основанный на анализе математической модели технического объекта [1, 2, 22–24, 52–54, 56, 58], позволяющий оценить границы устойчивой работы механической системы. Точность результатов при таком анализе будет зависеть от того, насколько точна математическая модель объекта. Математическое моделирование позволяет не только спрогнозировать возможное поведение технического объекта при различных динамических режимах его работы, но и оценить влияние конструктивных изменений на его работоспособность. Результаты решения математических задач механики могут быть использованы и используются при моделировании процессов, происходящих в живых системах [3, 5, 19, 47, 55, 65].

Математические методы. Буровая установка представляет собой комплекс машин и механизмов для бурения скважин и шахтных стволов. Буровые установки предназначены для строительства нефтяных и газовых скважин, разведки месторождений полезных ископаемых, подземных вод. В зависимости от вида бурения длины и диаметра ствола в буровые установки входят следующие узлы: буровая вышка, кабина управления, рабочая площадка, платформа основания, буровая лебедка, подъёмник, вращательный механизм, двигатели внутреннего сгорания, дизель-генераторная станция, электродвигатели, буровой насос, компрессор, резервуар, трубопроводы, система управления буровых установок; контрольно-измерительная система.

Математические модели таких систем представляют собой задачу Коши для системы линейных или нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений [6–9, 12, 34, 48, 49, 57, 58, 64]. Исследование нелинейных систем представляет собой более сложную задачу по сравнению с исследованием линейных систем [18, 26–30]. В теории нелинейных динамических систем применяются различные методы, к числу которых относятся метод усреднения, метод малого параметра, метод Крылова-Боголюбова, метод многочленных преобразований, метод Ван-дер-Поля, метод гармонического

баланса, метод возмущений Пуанкаре [6, 10, 11, 64]. Для расчета нелинейной системы с шестью степенями свободы применен метод многочленных преобразований [13, 35]. В методе в результате многочленных преобразований исходная система нелинейных дифференциальных уравнений приводится к автономному виду.

В методе усреднения и Ван-дер-Поля рассматривается укороченное уравнение и находится приближенное решение, не учитывающее все слагаемые нелинейного полинома высокой степени. В методе гармонического баланса приближенное решение учитывает только составляющие основной частоты. В методе малого параметра и возмущений приближенное решение ищется в виде степенного ряда с малым параметром, если ряд сходится, и точность существенно зависит от количества поправок к нулевому приближению. В результате применения метода многочленных преобразований, уравнения движения системы приводятся к автономному виду, определяются параметры системы, характеризующие переходные процессы и установившиеся режимы колебаний.

Математическая модель. Рассмотрим схему буровой установки (рис. 1), состоящую из кабины управления массой m_1 установленной на рабочую площадку массой m_2 , которая в свою очередь установлена на платформу массой m_3 для двигателей и ротора, закреплённую на вибрирующей поверхности бурения. В качестве объекты виброзащиты выберем кабину управления.

При длительной эксплуатации сооружения в различных элементах конструкции вибрационные нагрузки могут вызвать рост микротрещин и микропор [31, 32, 37, 38, 41, 43], на рост которых влияет и агрессивность среды [40, 42, 44–46]. Такое влияние можно учесть, приняв зависящей от времени амплитуду внешней нагрузки [60–63]. Процесс разрушения может происходить достаточно долго даже в случае возникновения частых аварийных ситуаций [64]. Поэтому в модели установки он не учитывается. Не учитывается также и возможное возникновение резонансов, вызванных как внутренними, так и внешними возмущениями.



Рис. 1. Схема буровой установки

Обозначим горизонтальные и вертикальные координаты центра масс относительно положению равновесия: x_1, y_1 — кабины управления, x_2, y_2 — рабочей площадки и x_3, y_3 — платформы двигателей и ротора.

Предполагается, что упругие элементы связей кабины управления, рабочей площадки и платформы двигателей имеют вид полинома третьей степени относительно обобщенной q координаты $kq + lq^2 + pq^3$, демпфирующие элементы связей имеют нелинейную кубическую характеристику $b\dot{q} + c\dot{q}^2 + d\dot{q}^3$.

На поверхность бурения воздействуют горизонтальные и вертикальные силы в виде периодических функций: $f_x(t) = A_1 \sin(\omega_1 t) + B_1 \cos(\omega_1 t)$, $f_y(t) = A_2 \sin(\omega_2 t) + B_2 \cos(\omega_2 t)$.

Для получения уравнений движения виброзащитной системы используем уравнения Лагранжа в обобщенных координатах q_i .

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_{q_i},$$

где $L = T_k - T_p$ — функция Лагранжа равная разности кинетической и потенциальной энергии, Q_{q_i} — обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате q_i .

Общая кинетическая энергия системы определяется как сумма кинетических энергий отдельных элементов установки:

$$T_k = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{y}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{y}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{y}_3^2.$$

Аналогичным образом определяется и потенциальная энергия системы

$$T_p = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6,$$

где

$$w_1 = \frac{1}{2}k_{x1}(x_1 - x_2)^2 + \frac{1}{3}l_{x1}(x_1 - x_2)^3 + \frac{1}{4}p_{x1}(x_1 - x_2)^4,$$

$$w_2 = \frac{1}{2}k_{x2}(x_2 - x_3)^2 + \frac{1}{3}l_{x2}(x_2 - x_3)^3 + \frac{1}{4}p_{x2}(x_2 - x_3)^4,$$

$$w_3 = \frac{1}{2}k_{x3}(x_3 - f_x)^2 + \frac{1}{3}l_{x3}(x_3 - f_x)^3 + \frac{1}{4}p_{x3}(x_3 - f_x)^4,$$

$$w_4 = \frac{1}{2}k_{y1}(y_1 - y_2)^2 + \frac{1}{3}l_{y1}(y_1 - y_2)^3 + \frac{1}{4}p_{y1}(y_1 - y_2)^4,$$

$$w_5 = \frac{1}{2}k_{y2}(y_2 - y_3)^2 + \frac{1}{3}l_{y2}(y_2 - y_3)^3 + \frac{1}{4}p_{y2}(y_2 - y_3)^4,$$

$$w_6 = \frac{1}{2}k_{y3}(y_3 - f_y)^2 + \frac{1}{3}l_{y3}(y_3 - f_y)^3 + \frac{1}{4}p_{y3}(y_3 - f_y)^4.$$

Обобщенные силы равны:

$$Q_{x_1} = -b_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2 - d_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^3 - b_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) - c_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^2 - d_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^3,$$

$$Q_{x_2} = -b_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - c_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^2 - d_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^3 - b_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 - d_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^3 - b_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3) - c_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3)^2 - d_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3)^3 - b_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - c_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^2 - d_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^3,$$

$$Q_{x_3} = -b_{x3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x) - c_{x3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x)^2 - d_{x3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x)^3 - b_{x2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - c_{x2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)^2 - d_{x2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)^3 - b_3(\dot{y}_3 - \dot{f}_y) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{f}_y)^2 - d_3(\dot{y}_3 - \dot{f}_y)^3 - b_2(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - c_2(\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^2 - d_2(\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^3.$$

Подставим выражения для T, Q в уравнения Лагранжа, получим систему шести нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$m_1\ddot{x}_1 + b_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2 + d_{x1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^3 + k_{x1}(x_1 - x_2) + l_{x1}(x_1 - x_2)^2 + p_{x1}(x_1 - x_2)^3 = 0,$$

$$m_1\ddot{y}_1 + b_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^2 + d_{y1}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^3 + k_{y1}(y_1 - y_2) + l_{y1}(y_1 - y_2)^2 + p_{y1}(y_1 - y_2)^3 = 0,$$

$$m_2\ddot{x}_2 + b_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 + d_{x1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^3 + k_{x1}(x_2 - x_1) + l_{x1}(x_2 - x_1)^2 + p_{x1}(x_2 - x_1)^3 + b_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^2 + d_{x2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^3 + k_{x2}(x_2 - x_3) + l_{x2}(x_2 - x_3)^2 + p_{x2}(x_2 - x_3)^3 = 0,$$

$$m_2\ddot{y}_2 + b_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + c_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^2 + d_{y1}(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^3 + k_{y1}(y_2 - y_1) + l_{y1}(y_2 - y_1)^2 + p_{y1}(y_2 - y_1)^3 + b_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + c_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3)^2 + d_{y2}(\dot{y}_2 - \dot{y}_3)^3 + k_{y2}(y_2 - y_3) + l_{y2}(y_2 - y_3)^2 + p_{y2}(y_2 - y_3)^3 = 0,$$

$$\begin{aligned}
& m_3 \ddot{x}_3 + b_{x_2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + c_{x_2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)^2 + d_{x_2}(\dot{x}_3 - \dot{x}_2)^3 + \\
& + k_{x_2}(x_3 - x_2) - l_{x_2}(x_3 - x_2)^2 + p_{x_2}(x_3 - x_2)^3 + \\
& + b_{x_3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x) + c_{x_3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x)^2 + d_{x_3}(\dot{x}_3 - \dot{f}_x)^3 + \\
& + k_{x_3}(x_3 - f_x) + l_{x_3}(x_3 - f_x)^2 + p_{x_3}(x_3 - f_x)^3 = 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_3 \ddot{y}_3 + b_{y_2}(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + c_{y_2}(\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^2 + d_{y_2}(\dot{y}_3 - \dot{y}_2)^3 + \\
& + k_{y_2}(y_3 - y_2) - l_{y_2}(y_3 - y_2)^2 + p_{y_2}(y_3 - y_2)^3 + \\
& + b_{y_3}(\dot{y}_3 - \dot{f}_y) + c_{y_3}(\dot{y}_3 - \dot{f}_y)^2 + d_{y_3}(\dot{y}_3 - \dot{f}_y)^3 + \\
& + k_{y_3}(y_3 - f_y) + l_{y_3}(y_3 - f_y)^2 + p_{y_3}(y_3 - f_y)^3 = 0.
\end{aligned}$$

Здесь x_1, x_2, x_3 — абсолютные горизонтальные координаты центра масс и y_1, y_2, y_3 — абсолютные вертикальные координаты центра масс относительно положению равновесия системы

Введем относительные координаты по отношению к колебаниям поверхности бурения.

$$\begin{aligned}
z_1 &= x_1 - f_x, \quad z_2 = x_2 - f_x, \quad z_3 = x_3 - f_x, \\
z_4 &= y_1 - f_y, \quad z_5 = y_2 - f_y, \quad z_6 = y_3 - f_y.
\end{aligned}$$

Запишем систему нелинейных уравнений движения в новых переменных:

$$\begin{aligned}
& m_1 \ddot{z}_1 + b_{x_1}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_{x_1}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2)^2 + d_{x_1}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2)^3 + \\
& + k_{x_1}(z_1 - z_2) + l_{x_1}(z_1 - z_2)^2 + p_{x_1}(z_1 - z_2)^3 = -m_1 \ddot{f}_x,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_2 \ddot{z}_2 + b_{x_1}(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_{x_1}(\dot{z}_2 - \dot{z}_1)^2 + d_{x_1}(\dot{z}_2 - \dot{z}_1)^3 + \\
& + k_{x_1}(z_2 - z_1) - l_{x_1}(z_2 - z_1)^2 + p_{x_1}(z_2 - z_1)^3 + \\
& + b_{x_2}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3) + c_{x_2}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3)^2 + d_{x_2}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3)^3 + \\
& + k_{x_2}(z_2 - z_3) + l_{x_2}(z_2 - z_3)^2 + p_{x_2}(z_2 - z_3)^3 = -m_2 \ddot{f}_x,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_3 \ddot{z}_3 + b_{x_2}(\dot{z}_3 - \dot{z}_2) + c_{x_2}(\dot{z}_3 - \dot{z}_2)^2 + d_{x_2}(\dot{z}_3 - \dot{z}_2)^3 + \\
& + k_{x_2}(z_3 - z_2) - l_{x_2}(z_3 - z_2)^2 + p_{x_2}(z_3 - z_2)^3 + \\
& + b_{x_3} \dot{z}_3 + c_{x_3} \dot{z}_3^2 + d_{x_3} \dot{z}_3^3 + k_{x_3} z_3 + l_{x_3} z_3^2 + p_{x_3} z_3^3 = -m_3 \ddot{f}_x,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_1 \ddot{z}_4 + b_{y_1}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5) + c_{y_1}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5)^2 + d_{y_1}(\dot{z}_4 - \dot{z}_5)^3 + \\
& + k_{y_1}(z_4 - z_5) + l_{y_1}(z_4 - z_5)^2 + p_{y_1}(z_4 - z_5)^3 = -m_1 \ddot{f}_y,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_2 \ddot{z}_5 + b_{y_1}(\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + c_{y_1}(\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2 + d_{y_1}(\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^3 + \\
& + k_{y_1}(z_5 - z_4) - l_{y_1}(z_5 - z_4)^2 + p_{y_1}(z_5 - z_4)^3 + \\
& + b_{y_2}(\dot{z}_5 - \dot{z}_6) + c_{y_2}(\dot{z}_5 - \dot{z}_6)^2 + d_{y_2}(\dot{z}_5 - \dot{z}_6)^3 + \\
& + k_{y_2}(z_5 - z_6) + l_{y_2}(z_5 - z_6)^2 + p_{y_2}(z_5 - z_6)^3 = -m_2 \ddot{f}_y.
\end{aligned}$$

Для записи периодических функций введем комплексные переменные

$$z_7 = \exp(i\omega_1 t), \quad z_8 = \exp(i\omega_2 t).$$

В новых переменных периодические функции правых частей системы можно записать в виде:

$$m\ddot{f}_x(t) = -mA_1\omega_1^2 \sin(\omega_1 t) - mB_1\omega_1^2 \cos(\omega_1 t) = -\frac{mA_1\omega_1^2}{2i}(z_7 - \bar{z}_7) - \frac{mB_1\omega_1^2}{2}(z_7 + \bar{z}_7),$$

$$m\ddot{f}_y(t) = -mA_2\omega_2^2 \sin(\omega_2 t) - mB_2\omega_2^2 \cos(\omega_2 t) = -\frac{mA_2\omega_2^2}{2i}(z_8 - \bar{z}_8) - \frac{mB_2\omega_2^2}{2}(z_8 + \bar{z}_8).$$

Решение уравнений. В отличие от методов расчета, предложенных в [7] ниже используется метод многочленных преобразований [13].

Запишем систему уравнений в матричной форме:

$$\dot{Z}_1 = NZ_1 + R_1, \text{ где } R_1 \text{ — нелинейный вектор системы,}$$

$$Z_1 = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, \dot{z}_1, \dot{z}_2, \dot{z}_3, \dot{z}_4, \dot{z}_5, \dot{z}_6, z_7, \bar{z}_7, z_8, \bar{z}_8]^T.$$

В результате линейной замены переменных $Z_2 = LZ_1$, получим систему дифференциальных уравнений с линейной диагональной матрицей вида $Z_2 = \Lambda Z_2 + R_2$.

В соответствии с методом, изложенным в [13], выполним многочленную замену переменных:

$$z_2^j = z_3^j + \sum_{|v|=2}^4 p_v^j Z_3^v, (j=1...12).$$

В результате многочленного преобразования, с точностью до членов четвертого порядка, получаем автономную систему дифференциальных уравнений:

$$\dot{z}_1 = q_1 z_1, \quad z_7 = \bar{z}_1, \quad \dot{z}_2 = q_2 z_2, \quad z_8 = \bar{z}_2,$$

$$\dot{z}_3 = q_3 z_3, \quad z_9 = \bar{z}_3, \quad \dot{z}_4 = q_4 z_4, \quad z_{10} = \bar{z}_4,$$

$$\dot{z}_5 = q_5 z_5, \quad z_{11} = \bar{z}_5, \quad \dot{z}_6 = q_6 z_6, \quad z_{12} = \bar{z}_6.$$

Решение автономной системы уравнений можно представить в виде:

$$z_1 = \rho_{01} \exp(q_1 t), z_2 = \rho_{02} \exp(q_2 t), z_3 = \rho_{03} \exp(q_3 t),$$

$$z_4 = \rho_{04} \exp(q_4 t), z_5 = \rho_{05} \exp(q_5 t), z_6 = \rho_{06} \exp(q_6 t).$$

Численный эксперимент. Рассчитан переходный и установившийся режимы колебаний буровой установки при следующих параметрах:

$$m_1 = 2.24, m_2 = 6.36, m_3 = 18.12, b_{x1} = 0.20, c_{x1} = 0.01, d_{x1} = 0.01, b_{x2} = 0.60,$$

$$c_{x2} = 0.02, d_{x2} = 0.02, b_{x3} = 1.72, c_{x3} = 0.02, d_{x3} = 0.08, k_{x1} = 1.20, l_{x1} = 0.03,$$

$$p_{x1} = 0.01, k_{x2} = 3.10, l_{x2} = 0.10, p_{x2} = 0.05, k_{x3} = 9.10, l_{x3} = 0.35, p_{x3} = 0.15,$$

$$b_{y1} = 0.22, c_{y1} = 0.02, d_{y1} = 0.01, k_{y1} = 1.22, l_{y1} = 0.04, p_{y1} = 0.02, b_{y2} = 0.62,$$

$$c_{y2} = 0.01, d_{y2} = 0.03, k_{y2} = 3.12, l_{y2} = 0.12, p_{y2} = 0.06, b_{y3} = 1.74, c_{y3} = 0.03,$$

$$d_{y3} = 0.09, k_{y3} = 9.11, l_{y3} = 0.38, p_{y3} = 0.18.$$

На поверхность бурения воздействуют горизонтальные и вертикальные силы:

$$f_x(t) = 0.4 \sin(2t) + 0.1 \cos(2t), \quad f_y(t) = 0.5 \sin(2t) + 0.1 \cos(2t).$$

Согласно методу многочленных преобразований [13] определены коэффициенты преобразованной автономной системы

$$q_1 = -0.085 + 0.012i, q_2 = -0.156 + 0.014i,$$

$$q_3 = -0.045 + 0.001i, q_4 = -0.082 + 0.010i,$$

$$q_5 = -0.153 + 0.011i, q_6 = -0.043 + 0.001i.$$

Методом многочленных преобразований получен установившийся полигармонический режим колебаний системы:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0.253812 \sin(t\omega_1 + 0.081) - 0.000003 \sin(2t\omega_1 + 0.884) - 0.0037, \\
 x_2 &= 0.283867 \sin(t\omega_1 + 0.234) - 0.000026 \sin(2t\omega_1 + 0.898) - 0.0038, \\
 x_3 &= 0.314533 \sin(t\omega_1 + 0.362) - 0.000186 \sin(2t\omega_1 + 0.708) - 0.0028, \\
 y_1 &= 0.335612 \sin(t\omega_2 + 0.074) - 0.000005 \sin(2t\omega_2 + 0.785) - 0.0057, \\
 y_2 &= 0.370212 \sin(t\omega_2 + 0.211) - 0.000045 \sin(2t\omega_2 + 0.968) - 0.0056, \\
 y_3 &= 0.412611 \sin(t\omega_2 + 0.392) - 0.000291 \sin(2t\omega_2 + 0.678) - 0.0041.
 \end{aligned}$$

Некоторые из результатов численных результатов представлены на рис. 2–6. На рис. 2 и 3 представлены графики изменения амплитуд колебаний во времени. Колебания системы происходят с частотой внешней силы. На рис. 4 показано абсолютное горизонтальное и вертикальное перемещение при установлении колебаний. Вынужденные колебания в начале установления являются квазипериодическими. На рис 5. представлены абсолютные колебания в плоскости XU .

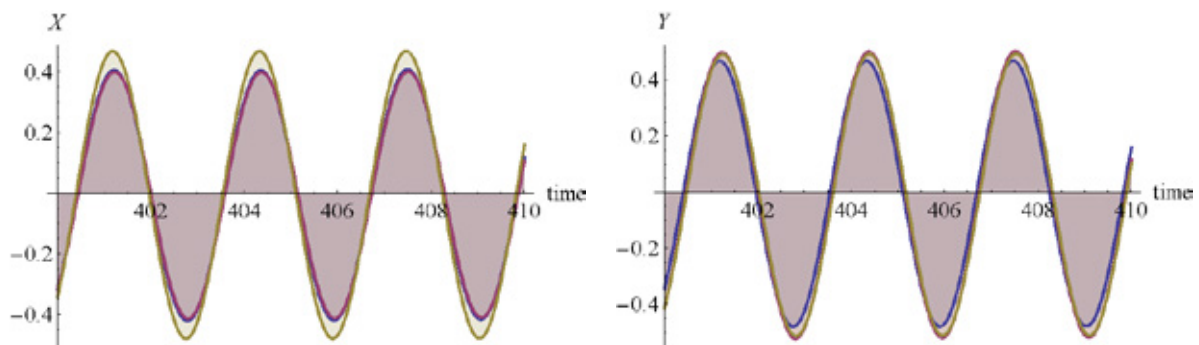


Рис. 2. Зависимость относительных горизонтального и вертикального перемещений установившихся колебаний от времени, $-M1, -M2, -M3$.

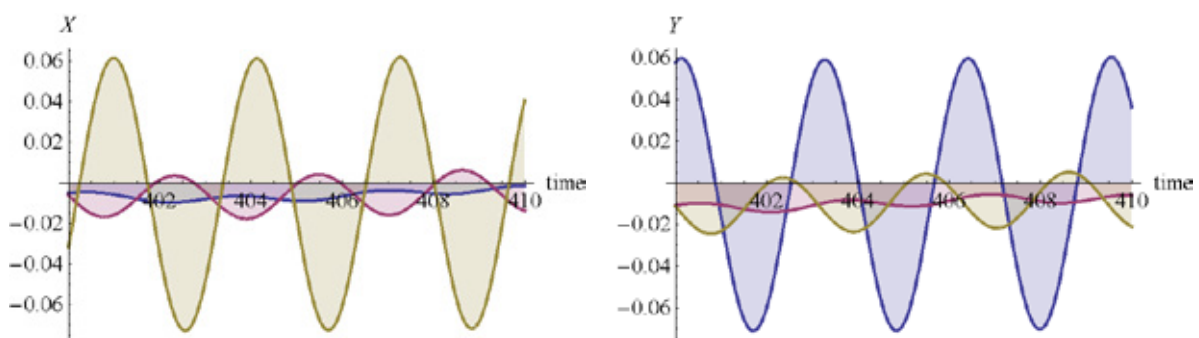


Рис. 3. Зависимость абсолютных горизонтального и вертикального перемещений установившихся колебаний от времени $-M1, -M2, -M3$.

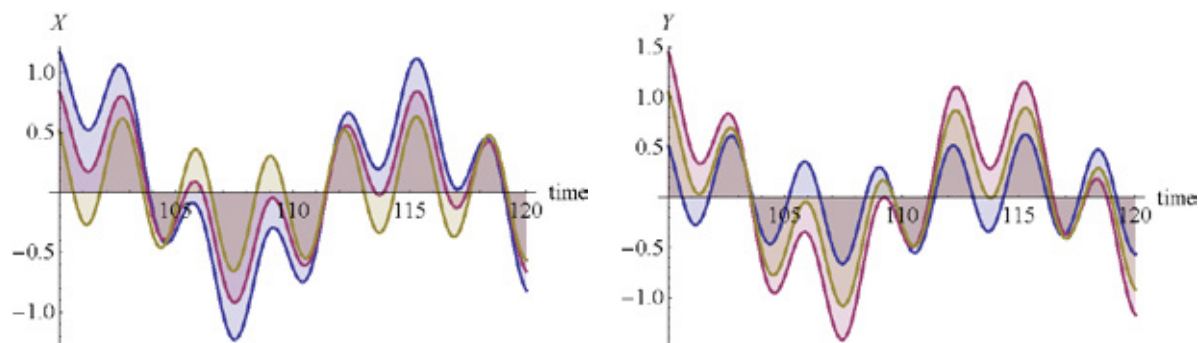


Рис. 4. Зависимость абсолютных горизонтального и вертикального перемещений от времени при установлении колебаний, $-M1$, $-M2$, $-M3$.

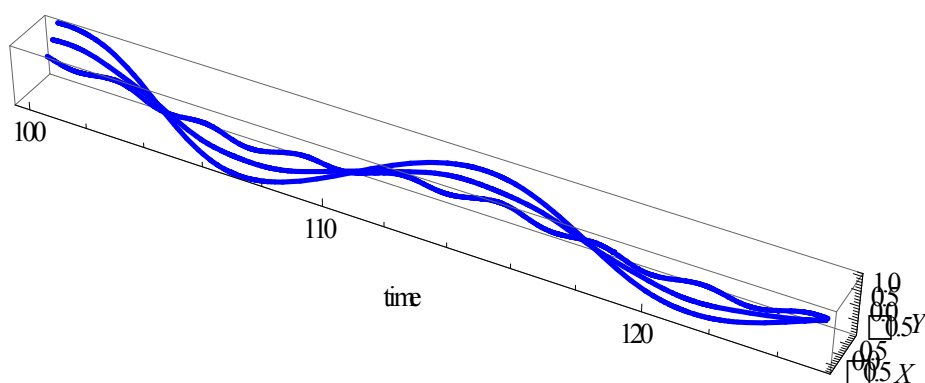


Рис. 5. Формы колебаний в плоскости XY

Сопоставление полученных результатов производилось с численными результатами, полученными при решении задачи Коши для системы дифференциальных уравнений с применением численного метода of the Dormand-Prince type [51–53], учитывающего структурные особенности уравнений, успешно применяемого и для решения дифференциальных уравнений в частных производных [15–17]. Отличие в максимальных отклонения составляло не более 2%. Численная реализация решения систем дифференциальных уравнений осуществлялась в среде программирования математического пакета MatLab [20, 33].

Заключение. Нелинейная математическая модель буровой установки в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений позволяет построить амплитудно-частотную характеристику установки. Применение метода многочленных преобразований дает возможность свести нахождение установившегося режима колебаний менее трудоемкими математическими методами, чем методы решения нелинейных дифференциальных уравнений.

Литература:

1. Гасратова, Н. А. Решение некоторых классических пространственных задач теории упругости в напряжениях // Молодой ученый. — 2014. — № 3 (62). — с. 1–6.
2. Гасратова, Н. А., Шамина В. А. Об одном подходе к решению осесимметричных задач линейной теории упругости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2007. — № 2. — с. 101–106.
3. Горбунова, М. В., Колпак Е. П., Крицкая А. В. Математическая модель антропогенного воздействия на одинокую популяцию / В сборнике: Синергетика в общественных и естественных науках: девятое Курдюмовские чтения материалы Международной междисциплинарной научной конференции с элементами научной школы для молодежи. редкол.: Лапина Г. П. (отв. ред.) и др. Тверь, 2013. — с. 165.
4. Даль, Ю. М., Пронина Ю. Г Сосредоточенные силы и моменты у границы упругой полуплоскости // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 1998. — № 5. — с. 78.

5. Жукова, И. В., Колпак Е. П. Математические модели злокачественной опухоли // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2014. — № 3. — с. 5–18.
6. Иванов, С. Е. Алгоритмическая реализация метода исследования нелинейных динамических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2012. — № 4 (80). — с. 90–92.
7. Иванов, С. Е. Исследование нелинейных динамических систем с тремя степенями свободы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2011. — № 4 (74). — с. 62–64.
8. Иванов, С. Е. Исследование нелинейных колебаний механической системы с тремя степенями свободы на вибрирующей платформе // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2003. — № 9. — с. 29–32.
9. Иванов, С. Е. Определение установившихся режимов работы виброзащитной системы с двумя степенями свободы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2010. — № 4 (68). — с. 44–46.
10. Иванов, С. Е., Мельников В. Г. Применение матричной формы уравнений Лагранжа в компьютерном моделировании // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2006. — № 31. — с. 22–24.
11. Иванов, С. Е., Мельников Г. И. Автономизация нелинейных динамических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2014. — № 1 (89). — с. 151–156.
12. Иванов, С. Е., Мельников Г. И. Исследование динамики нелинейной приборной системы в условиях кинематических периодических возмущений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2005. — № 19. — с. 3–7.
13. Иванов, С. Е., Мельников Г. И. Разработка алгоритмов метода многочленных преобразований теории нелинейных систем в среде Matlab // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2006. — № 31. — с. 14–17.
14. Кабриц, С. А. Некоторые прикладные задачи статики тонких оболочек из эластомеров // диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Ленинград, 1984.
15. Кабриц, С. А., Мальков В. М., Мансурова С. Е. Математическое моделирование нелинейной деформации эластомерного слоя // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — № 3. — с. 56–63.
16. Кабриц, С. А., Мальков В. М., Мансурова С. Е. Нелинейные уравнения плоского слоя для трех моделей эластомерного материала // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2001. — № 1. — с. 38.
17. Кабриц, С. А., Черных К. Ф. Нелинейная теория изотропно упругих тонких оболочек с учетом поперечного сдвига // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 1996. — № 1. — с. 124–136.
18. Кабриц, С. А., Шамина В. А. Изгиб оболочки вращения поперечной силой и моментом // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2014. — № 2. — с. 261–270.
19. Колесин, И. Д., Старков В. Н., Гасратова Н. А. Одиночная популяция под антропогенным давлением // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2014. — № 6 (96). — с. 226–232.
20. Колпак, Е. П. Matlab: методы вычислений: учебное пособие / Е. П. Колпак; Санкт-Петербургский гос. ун-т. Санкт-Петербург, 2007.
21. Колпак, Е. П. Устойчивость и критические состояния безмоментных оболочек при больших деформациях // диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Санкт-Петербург, 2000.
22. Колпак, Е. П., Мальцева Л. С. Большие деформации резиновых мембран // Молодой ученый. — 2014. — № 16 (75). — с. 78–84.
23. Колпак, Е. П., Мальцева Л. С. Круглая плоская мембрана при больших деформациях // Приволжский научный вестник. — 2014. — № 11–1 (39). — с. 5–10.
24. Колпак, Е. П., Мальцева Л. С. Об устойчивости сжатых пластин // Молодой ученый. — 2015. — № 14 (94). — с. 1–8.
25. Круглов, Ю. А., Туманов Ю. А. Ударовиброзащита машин и аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1986. — 222 с.
26. Мальков, В. М., Кабриц С. А., Мансурова С. Е. Математическое моделирование нелинейной деформации эластомерного слоя // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — № 3. — с. 56–63.
27. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Анализ сингулярности напряжений в нелинейной задаче Фламана для некоторых моделей материала // Прикладная математика и механика. — 2008. — Т. 72. — № 4. — с. 652–660.
28. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Нелинейная задача Фламана для материала Бартенева-Хазановича // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2005. — № 1–2. — с. 49–55.

29. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Плоские задачи о сосредоточенных силах для полулинейного материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2013. — № 3. — с. 83–96.
30. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Плоские задачи упругости для полулинейного материала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2012. — № 3. — с. 93–106.
31. Мальков, В. М., Малькова Ю. В. Трещина в форме дуги окружности, расположенная вблизи поверхности раздела материалов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2010. — № 1. — с. 93–104.
32. Мальков, В. М., Малькова Ю. В., Степанова В. А. Двухкомпонентная плоскость из материала Джона с межфазной трещиной, нагруженной давлением // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2013. — № 3. — с. 113–125.
33. Мельников, В. Г., Иванов С. Е. Применение компьютерных пакетов и анимаций в преподавании механики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2005. — № 19. — с. 8–11.
34. Мельников, Г. И., Иванов С. Е. Исследование нелинейных колебаний голономных систем с тремя степенями свободы на вибрирующем основании // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2004. — № 15. — с. 11–15.
35. Мельников, Г. И., Иванов С. Е., Мельников В. Г., Малых К. С. Применение модифицированного метода преобразований к нелинейной динамической системе // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2015. — Т. 15. — № 1 (95). — с. 149–154.
36. Миндлин, Ю. Б., Колпак Е. П., Гасратова Н. А. Отличительные признаки кластеров и практика их применения в России // Политика и общество. — 2015. — № 5. — с. 666–675.
37. Пронина, Ю. Г. Исследование возможности образования и развития пор в твердых телах в рамках деформационной теории Девиса-Надаи // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2014. — № 3. — с. 79–92.
38. Пронина, Ю. Г. Краевая дислокация и сосредоточенная сила в упругой полуплоскости с отверстиями и краевыми вырезами // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2012. — № 4. — с. 120–124.
39. Пронина, Ю. Г. Лекции по теории упругости. Общие положения учебное пособие / Пронина Ю. Г.; С.-Петерб. гос. ун-т. СПб., 2004.
40. Пронина, Ю. Г. Механохимическая коррозия полого цилиндра из идеального упруго-пластического материала под действием постоянного давления // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2006. — № 3. — с. 121–130.
41. Пронина, Ю. Г. О сосредоточенных воздействиях у границы упругой пластины // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2010. — № 53. — с. 117–122.
42. Пронина, Ю. Г. Оценка устойчивости упругой трубы под давлением коррозионных сред // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2006. — № 3. — с. 55–63.
43. Пронина, Ю. Г. Равномерная механохимическая коррозия полой сферы из идеального упругопластического материала под действием постоянного давления // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2009. — № 1. — с. 113–122.
44. Пронина, Ю. Г. Расчет долговечности упругой трубы под действием продольной силы, давления и осесимметричного нагрева в условиях равномерной коррозии // Проблемы прочности и пластичности. — 2009. — № 71. — с. 129–135.
45. Пронина, Ю. Г. Сосредоточенные силы и моменты в упругой полуплоскости с отверстием // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — № 2. — с. 104–114.
46. Пронина, Ю. Г. Центры расширения-сжатия в упругой полуплоскости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 2007. — № 2. — с. 140–149.
47. Balykina, Y. E., Kolpak E. P., Kotina E. D. Mathematical model of thyroid function // Middle East Journal of Scientific Research. — 2014. — Т. 19. — № 3. — с. 429–433.
48. Besharati, S. R., Dabbagh V., Amini H., Akbari J., Hamdi M. Nonlinear Dynamic Analysis of a New Antibacklash Gear Mechanism Design for Reducing Dynamic Transmission Error // Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME. — 2015. — Т. 137. — № 5. — 054502.
49. Chernyshev, A. B., Martirosyan K. V., Martirosyan A. V. Analysis of the nonlinear distributed control system's sustainability // Journal of Mathematics and Statistics. — 2014. — Т. 10. — № 3. — с. 316–321.

50. Dal' Yu. M., Pronina Yu. G. On concentrated forces and moments in an elastic half-plane // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. — 1998. — № 1. — с. 57–60.
51. Ivanov, S. E., Melnikov G. I., Melnikov V. G., The modified Poincare-Dulac method in analysis of autooscillations of nonlinear mechanical systems // Journal of Physics: Conference Series. — 2014. — Т. 570, № 022002. — с. 121–126.
52. Kolpak, E. P., Ivanov S. E. Mathematical modeling of the system of drilling rig // Contemporary Engineering Sciences. — 2015. — Т. 8. — № 16. — с. 699–708.
53. Kolpak, E. P., Ivanov S. E. Mathematical and computer modeling vibration protection system with damper // Applied Mathematical Sciences. — 2015. — Т. 9. — №. 78. — С. 3875–3885.
54. Kolpak, E. P., Maltseva L. S., Ivanov S. E. On the stability of compressed plate // Contemporary Engineering Sciences. — 2015. — Т. 8. — № 20. — 933–942.
55. Kolpak, E. P., Kabrits S. A., Bubalo V. The follicle function and thyroid gland cancer // Biology and Medicine. — 2015. — Т. 7. — № 1. — С. BM060.15.
56. Laha, D., Ren Y., Suganthan P. N. Modeling of steelmaking process with effective machine learning techniques // Expert Systems with Applications. — 2015. — Т. 42. — № 10. — с. 4687–4696.
57. Liu J.-M., Zhou G.-Q. Study on bearing capacity of in-service drilling derricks based on static and dynamic performance // Gongcheng Lixue/Engineering Mechanics. — 2014. — Т. 31. — № 8. — с. 250–256.
58. Mehennaoui Sami, Khochemane Lakhdar Optimization of setting parameters of a rotary drilling rig using simhydraulics toolbox // Contemporary Engineering Sciences. — Т. 8. — № 3. — с. 115–120.
59. Mozzherina, E. An Approach to Improving the Classification of the New York Times Annotated Corpus // Communications in Computer and Information Science. — 2013. — Т. 394. — с. 83–91.
60. Pronina, Y. G. Lifetime assessment for an ideal elastoplastic thick-walled spherical member under general mechanochemical corrosion conditions // Computational Plasticity XII: Fundamentals and Applications — Proceedings of the 12th International Conference on Computational Plasticity — Fundamentals and Applications, COMPLAS 2013. с. 729–738.
61. Pronina, Y. G. Study of possible void nucleation and growth in solids in the framework of the Davis-Nadai deformation theory // Mechanics of Solids. — 2014. — Т. 49. — № 3. — с. 302–313.
62. Pronina, Y. G., Analytical solution for the general mechanochemical corrosion of an ideal elastic-plastic thick-walled tube under pressure // Int. Journal of Solids and Structures. — 2013. — Т. 50. — № 22–23. — с. 3626–3633.
63. Sedova, O. S., Khaknazarova L. A., Pronina Y. G. Stress concentration near the corrosion pit on the outer surface of a thick spherical member // Tenth International Vacuum Electron Sources Conference (IVESC) & Second International Conference on Emission Electronics (ICEE) 2014. с. 245–246.
64. Zhu, Y., Jiang W., Zheng Z. Nonlinear dynamic behaviors of electro-hydraulic servo system under friction // Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics. — 2015. — Т. 41. — № 1. — с. 50–57.
65. Zhukova, I. V., Kolpak E. P., Balykina Y. E. Mathematical model of growing tumor // Applied Mathematical Sciences. — 2014. — Т. 8. — № 29–32. — с. 1455–1466.

ФИЗИКА

Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_r - \psi_s$ в произвольной системе координат на основе апериодических звеньев

Емельянов Александр Александрович, доцент;

Бескеткин Виктор Викторович, ассистент;

Авдеев Александр Сергеевич, студент;

Чернов Михаил Владимирович, студент;

Киряков Георгий Анатольевич, студент;

Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент.

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Данная работа является развитием статьи [1], в которой модель рассматривалась с переменными \bar{I}_s и $\left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ на выходе апериодических звеньев. Так как работа адресована студентам, то выводы даны без сокращений. Предварительно, для лучшего понимания необходимо рассмотреть предыдущие наши статьи, в которых получена система уравнений для асинхронного двигателя в относительных единицах. Основные уравнения имеют следующий вид:

$$\bar{u}_s = r_s \cdot \bar{i}_s + \frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s; \quad (1)$$

$$0 = r_r \cdot \bar{i}_r + \frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \bar{\psi}_r; \quad (2)$$

$$\bar{\psi}_s = (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \bar{i}_s + l_m \cdot \bar{i}_r; \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_r = (l_m + l_{r\sigma}) \cdot \bar{i}_r + l_m \cdot \bar{i}_s. \quad (4)$$

Электромагнитный момент определяется по формуле [2, с.131]:

$$m = \frac{\zeta_N}{l_{\sigma\sigma}} \cdot (\psi_{sy} \cdot \psi_{rx} - \psi_{sx} \cdot \psi_{ry}). \quad (5)$$

Уравнение движения:

$$m - m_c = T_j \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (6)$$

Так как электромагнитный момент определяется через переменные $\bar{\psi}_s$ и $\bar{\psi}_r$, то из уравнений (1) – (4) необходимо исключить переменные \bar{i}_s и \bar{i}_r .

Из уравнения (4) выразим \bar{i}_s :

$$\bar{i}_s = \frac{1}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right] \cdot \bar{i}_r.$$

Полученное выражение \bar{i}_s подставим в уравнение (3):

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_s &= (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \left(\frac{1}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \cdot \bar{i}_r \right) + l_m \cdot \bar{i}_r = \frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} \cdot \bar{i}_r + l_m \cdot \bar{i}_r = \\ &= \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_s}} \cdot \bar{\psi}_r - \left(\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m \right) \cdot \bar{i}_r, \end{aligned}$$

где $\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m = \frac{l_m^2 + l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_m + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} - l_m^2}{l_m} = \frac{l_m \cdot \left(l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma}}{l_m} \right)}{l_m} = l_{\sigma\sigma}$;

$$\boxed{l_{\sigma\sigma} = \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m}. \tag{7}$$

Тогда $\bar{\psi}_s = \frac{1}{k_s} \cdot \bar{\psi}_r - l_{\sigma\sigma} \cdot \bar{i}_r$.

Отсюда

$$\boxed{\bar{i}_r = \frac{1}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s}. \tag{8}$$

При определении \bar{i}_s рассмотрим два варианта:

1. Подставим \bar{i}_r в уравнение (3):

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_s &= (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \bar{i}_s + \frac{l_m}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s; \\ \bar{i}_s &= \frac{1}{l_m + l_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{l_m}{l_{\sigma\sigma}} \right) \cdot \bar{\psi}_s - \frac{l_m}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma} \cdot (l_m + l_{s\sigma})} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{l_{\sigma\sigma} + l_m}{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \underbrace{\left[\frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} \right]}_{k_s} \cdot \bar{\psi}_r = \\ &= \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma}) - l_m + l_m}{l_m \cdot (l_m + l_{s\sigma}) \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{k_s}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m \cdot (l_m + l_{s\sigma}) \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r = \\ &= \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_r}} \cdot \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r. \end{aligned}$$

$$\boxed{\bar{i}_s = \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r}. \tag{9}$$

2. Подставим \bar{i}_r в уравнение (4):

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_r &= \frac{l_m + l_{r\sigma}}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s + l_m \cdot \bar{i}_s; \\ \bar{i}_s &= \frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{k_s \cdot l_{\sigma\sigma}} \right) \cdot \bar{\psi}_r + \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_r}} \cdot \frac{1}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \bar{\psi}_s. \end{aligned}$$

Рассмотрим отдельно коэффициент перед $\bar{\psi}_r$:

$$\frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m \cdot l_{\sigma_3}} \right) = \frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{l_{\sigma_3} + l_m}{l_{\sigma_3}} \right) = \frac{1}{l_m} \cdot \frac{l_{\sigma_3} - l_{\sigma_3} - l_m}{l_{\sigma_3}} = -\frac{1}{l_{\sigma_3}},$$

где из (7) $\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} = l_{\sigma_3} + l_m$.

Тогда $\bar{i}_s = -\frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r + \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s$.

Этот вариант дает такое же значение \bar{i}_s , как и в предыдущем случае.

Подставим \bar{i}_r в уравнение (2):

$$0 = \frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r.$$

Перейдем к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s \right)$:

$$0 = \frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \bar{\psi}_r + j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r;$$

$$\left(\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_r = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r;$$

$$\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \left(1 + \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_r = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r.$$

Введем новую переменную $\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$:

$$\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(1 + \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_r} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right).$$

Приведем отношение $\frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r}$ к $T_{r\sigma}$:

$$\begin{aligned} \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} &= \frac{l_{\sigma_3} \cdot l_m}{r_r \cdot (l_m + l_{s\sigma})} = \frac{\left(l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma}}{l_m} \right) \cdot l_m}{r_r \cdot (l_m + l_{s\sigma})} = \frac{(l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma})}{l_m + l_{s\sigma}} = \\ &= \frac{\frac{l_{r\sigma} \cdot (l_m + l_{s\sigma})}{l_m + l_{s\sigma}} + \frac{l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma}}{l_m + l_{s\sigma}}}{r_r} = \frac{l_{r\sigma} + \frac{l_m \cdot l_{s\sigma}}{l_m + l_{s\sigma}}}{r_r} = \frac{l_{r\sigma} + k_s \cdot l_{s\sigma}}{r_r} = T_{r\sigma}; \end{aligned}$$

$$\frac{1}{k_s} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_r} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right);$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma_3} \cdot T_{s\sigma}}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{k_s}{k_s} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right).$$

Разложим векторы $\bar{\psi}_r$ и $\bar{\psi}_s$ на проекции:

$$\bar{\psi}_r = \psi_{rx} + j\psi_{ry};$$

$$\bar{\psi}_s = \psi_{sx} + j\psi_{sy};$$

$$\begin{aligned} & \frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) + j \frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \\ & = \psi_{sx} + j\psi_{sy} - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) + (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right). \end{aligned} \quad (*)$$

Проекция уравнения (*) на ось +1:

$$\begin{aligned} & \frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \psi_{sx} + (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right); \\ & \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \left[\underbrace{\psi_{sx}}_1 + \underbrace{(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right)}_2 \right] \cdot \frac{k_r \cdot k_s \cdot T_{s\sigma}^{-1}}{1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s}. \end{aligned} \quad (10)$$

Этому уравнению (10) соответствует следующая структурная схема:

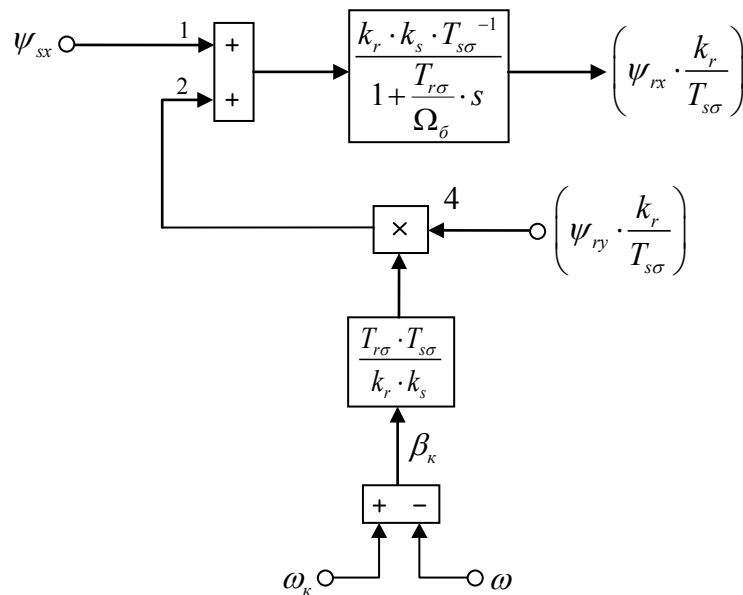


Рис. 1. Структурная схема для определения $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right)$

Проекция уравнения (*) на ось +j:

$$\begin{aligned} & \frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \psi_{sy} - (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right); \\ & \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \left[\underbrace{\psi_{sy}}_1 - \underbrace{(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right)}_2 \right] \cdot \frac{k_r \cdot k_s \cdot T_{s\sigma}^{-1}}{1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s}. \end{aligned} \quad (11)$$

Полученному уравнению (11) соответствует следующая структурная схема:

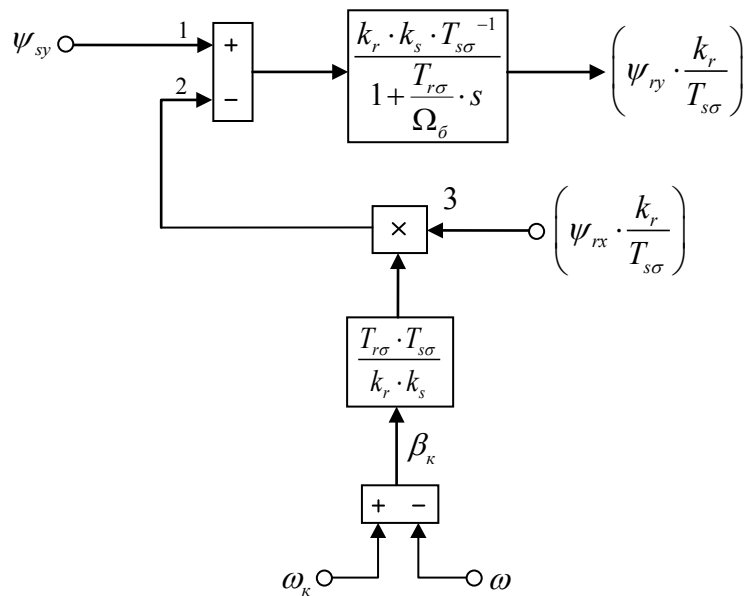


Рис. 2. Структурная схема для определения $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$

Уравнение (9) подставим в уравнение (1):

$$\bar{u}_s = \frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s.$$

Перейдем к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s \right)$:

$$\left(\frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s;$$

$$\left[\frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \right] \cdot \left(1 + \left[\frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s} \right] \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s.$$

Приведем отношение $\frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s}$ к $T_{s\sigma}$:

$$\begin{aligned} \frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s} &= \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_s} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma}}{l_m}}{r_s} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma}}{l_m \cdot r_s} = \\ &= \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + (l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma})}{(l_m + l_{r\sigma}) \cdot r_s} = \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{(l_m + l_{r\sigma}) \cdot r_s} = \frac{\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma}}{r_s} = \frac{k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma}}{r_s} = T_{s\sigma}. \end{aligned}$$

В работе [8] приведены следующие значения $T_{s\sigma}$:

$$\boxed{T_{s\sigma} = \frac{l_{s\sigma} + k_r \cdot l_{r\sigma}}{r_s} = \frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s} = \alpha_{s\sigma}^{-1}}.$$

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \frac{k_r}{k_r} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s;$$

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r \right) - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s.$$

Выразим векторы $\bar{\psi}_s, \bar{u}_s$ и $\bar{\psi}_r$ через проекции:

$$\bar{\psi}_s = \psi_{sx} + j\psi_{sy}; \quad \bar{u}_s = u_{sx} + ju_{sy}; \quad \bar{\psi}_r = \psi_{rx} + j\psi_{ry}.$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sx} + j \frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sy} = \\ & = u_{sx} + ju_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right) + j \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry} \right) - j\omega_k \cdot \psi_{sx} + \omega_k \cdot \psi_{sy}. \end{aligned} \tag{**}$$

Проекция уравнения (***) на действительную ось +1:

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sx} = u_{sx} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right) + \omega_k \cdot \psi_{sy}. \tag{12}$$

Проекция уравнения (***) на мнимую ось +j:

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sy} = u_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry} \right) + \omega_k \cdot \psi_{sx}. \tag{13}$$

Из уравнения (12) выразим ψ_{sx} :

$$\psi_{sx} = \left[\underbrace{u_{sx}}_2 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right)}_1 + \underbrace{\omega_k \cdot \psi_{sy}}_3 \right] \cdot \frac{T_{s\sigma}}{1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s}.$$

Структурная схема для реализации потокоцепления ψ_{sx} в Simulink дана на рис. 3.

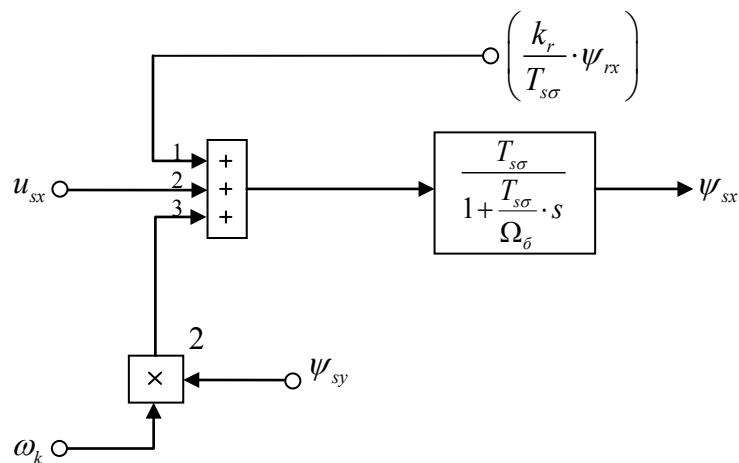


Рис. 3. Структурная схема проекции потокоцепления статора ψ_{sx} на ось +1

Аналогично из уравнения (13) выразим ψ_{sy} :

$$\psi_{sy} = \left[\underbrace{u_{sy}}_2 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry} \right)}_3 - \underbrace{\omega_k \cdot \psi_{sx}}_1 \right] \cdot \frac{T_{s\sigma}}{1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s}.$$

Структурная схема, соответствующая этому уравнению, представлена на рис. 4.

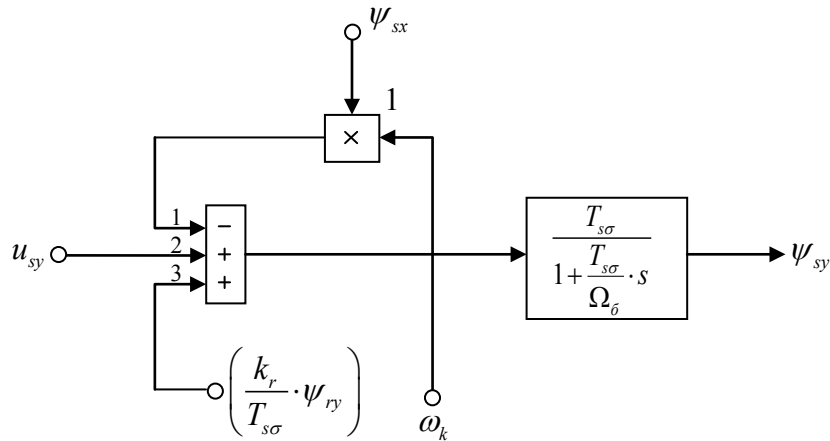


Рис. 4. Структурная схема проекции потокоцепления статора ψ_{sy} на ось $+j$

Структурная схема для реализации уравнения (5) дана на рис. 5:

$$m = \frac{\zeta_N}{l_{\sigma 3}} \cdot \left(\psi_{sy} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} - \psi_{sx} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \right) =$$

$$= \left[\frac{\zeta_N}{l_{\sigma 3}} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \right] \cdot \left(\psi_{sy} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) - \psi_{sx} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \right).$$

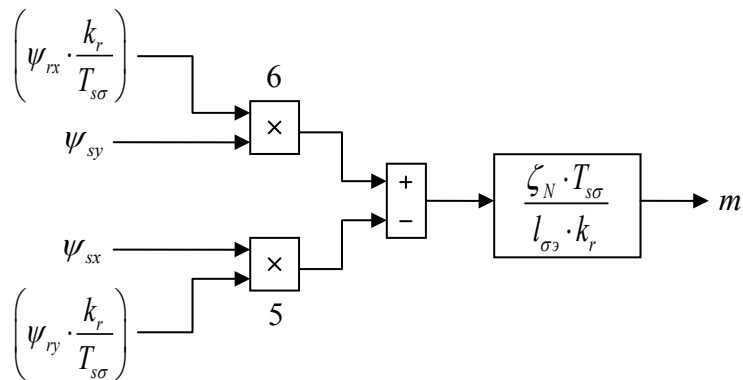


Рис. 5. Математическая модель электромагнитного момента m

Наконец для уравнения (6):

$$m - m_c = T_j \cdot s \cdot \omega;$$

$$\omega = (m - m_c) \cdot \frac{1}{T_j \cdot s}.$$

Структурная схема дана на рис. 6.

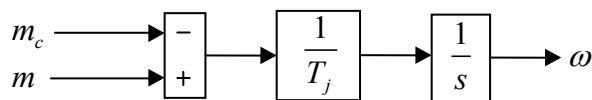


Рис. 6. Математическая модель уравнения движения

В работе [2] в главе 6 «Примеры» дан образец расчета параметров асинхронного двигателя. В наших дальнейших работах направленных на подготовку студентов к исследовательской работе, глава 6 окажет неоценимую

помощь. Можно было бы по аналогии рассмотреть паспортные данные любого другого двигателя, но для проверки правильности выводов уравнений сделанных исследовательской группой самостоятельно, необходимо постоянно выходить на многие полученные результаты в работе [3]. Поэтому, этот пример расчета окажется очень полезным.

Номинальные данные:

Номинальный режим работы	S1;
Номинальная мощность	$P_N = 320 \text{ кВт};$
Номинальное фазное напряжение	$U_{s.N} = 380 \text{ В};$
Номинальный фазный ток	$I_{s.N} = 324 \text{ А};$
Номинальная частота	$f_N = 50 \text{ Гц};$
Номинальная синхронная скорость	$\Omega_{0N} = 104,7 \text{ рад/с};$
Номинальная скорость ротора	$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с};$
Номинальный КПД	$\eta_N = 0,944;$
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_N = 0,92;$
Число пар полюсов	$z_p = 3.$

Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:

Активное сопротивление обмотки статора	$R_s = 0,0178 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора	$X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом};$
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору	$R_r = 0,0194 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору	$X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом};$
Главное индуктивное сопротивление	$X_m = 4,552 \text{ Ом};$
Суммарный момент инерции двигателя и механизма	$J_\Sigma = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$

Базисные величины системы относительных единиц:

Напряжение	$U_\delta = \sqrt{2}U_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В};$
Ток	$I_\delta = \sqrt{2}I_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 324 = 458,2 \text{ А};$
Частота	$\Omega_\delta = \Omega_{s.N} = 2\pi f_N = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с};$
Скорость ротора	$\Omega_{r,\delta} = \frac{\Omega_\delta}{z_p} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ рад/с};$
Сопротивление	$Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = \frac{537,4}{458,2} = 1,1728 \text{ Ом};$
Потокоцепление	$\Psi_\delta = \frac{U_\delta}{\Omega_\delta} = \frac{537,4}{314,16} = 1,711 \text{ В} \cdot \text{с};$
Индуктивность	$L_\delta = \frac{\Psi_\delta}{I_\delta} = \frac{1,711}{458,2} = 3,733 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$

Используя номинальные данные двигателя, определяем:

$$M_\delta = k_\Delta \cdot M_N = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N},$$

где $k_\Delta > 1$ – коэффициент, учитывающий различие значений электромагнитного момента и момента на валу двигателя в номинальном режиме ($k_\Delta = 1,0084$).

$$M_\delta = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N} = 1,0084 \cdot \frac{320 \cdot 10^3}{102,83} = 3138,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В качестве базисной мощности выбираем значение электромагнитной мощности двигателя в номинальном режиме, определяемое по следующей формуле:

$$P_{\sigma} = M_{\sigma} \cdot \Omega_{p.б.} = 3138,07 \cdot 104,72 = 328,62 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Относительные значения параметров схемы замещения двигателя:

$$r_s = \frac{R_s}{Z_{\sigma}} = \frac{0,0178}{1,1728} = 0,0152;$$

$$l_{s\sigma} = \frac{L_{s\sigma}}{L_{\sigma}} = \frac{X_{s\sigma}}{(\Omega_{\sigma} \cdot L_{\sigma})} = \frac{X_{s\sigma}}{Z_{\sigma}} = \frac{0,118}{1,1728} = 0,1006;$$

$$r_r = \frac{R_r}{Z_{\sigma}} = \frac{0,0194}{1,1728} = 0,0165;$$

$$l_{r\sigma} = \frac{X_{r\sigma}}{Z_{\sigma}} = \frac{0,123}{1,1728} = 0,1049;$$

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\sigma}} = \frac{4,552}{1,1728} = 3,881.$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_{r.б.}}{M_{\sigma}} = 28 \cdot \frac{104,72}{3138,07} = 0,934 \text{ с.}$$

Номинальное значение скольжения:

$$\beta_N = \frac{\Omega_{0N} - \Omega_N}{\Omega_{0N}} = \frac{104,72 - 102,83}{104,72} = 0,018.$$

Относительное значение номинальной скорости ротора:

$$\omega_N = (1 - \beta_N) = (1 - 0,018) = 0,982.$$

Нормирующий энергетический коэффициент:

$$\zeta_N = \frac{S_{s.N}}{P_{э.л.м.N}} = \frac{3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N}}{P_{\sigma}} = \frac{3 \cdot 380 \cdot 324}{328620} = 1,124;$$

$$S_{sN} = 3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N} = 369360 \text{ ВА};$$

$$k_s = \frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1006} = 0,9749;$$

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1049} = 0,9737;$$

$$l_{\sigma\sigma} = l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1} = 0,1006 + 0,1049 + \frac{0,1006 \cdot 0,1049}{3,881} = 0,2082.$$

При расчете режимов работы, для того чтобы $i_{sh} = 1$, $m_N = 1$, $u_{sN} = 1$, $\omega_{sN} = 1$ и $\beta_N = 0,018$ необходимо откорректировать r_r :

$$r_{rk} = \rho_N \cdot \beta_N = 0,9962 \cdot 0,018 = 0,0179,$$

где $\rho_N = 0,9962$ – корректирующий коэффициент [7, с. 296].

$$kk = \frac{r_{rk}}{r_r} = 1,0849 \text{ - коэффициент, показывающий отношение } r_{rk} \text{ к } r_r.$$

$$\alpha_r = k_r \cdot \frac{r_{rk}}{l_m} = 0,9737 \cdot \frac{0,0179}{3,881} = 0,00451;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} = 0,9737 \cdot 0,1049 + 0,1006 = 0,20274;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{\sigma_3} = 0,9737 \cdot 0,2082 = 0,20274;$$

$$r_3 = r_s + k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,0152 + 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,032171;$$

$$T_3 = \frac{l_3}{r_3} = \frac{0,20274}{0,032171} = 6,302;$$

$$k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,017;$$

$$\frac{1}{r_3} = \frac{1}{0,032171} = 31,084;$$

$$T_{r\sigma} = \frac{l_{r\sigma} + k_s \cdot l_{s\sigma}}{r_{rk}} = \frac{0,1049 + 0,9749 \cdot 0,1006}{0,0179} = 11,339;$$

$$T_{s\sigma} = \frac{l_{s\sigma} + k_s \cdot l_{r\sigma}}{r_s} = \frac{0,1006 + 0,9737 \cdot 0,1049}{0,0152} = 13,338;$$

$$\frac{T_r}{k_r^2 \cdot r_{rk}} = \frac{222,676}{0,9737^2 \cdot 0,0179} = 13098,587;$$

$$\frac{k_r}{T_{s\sigma}} = \frac{0,9737}{13,338} = 0,073;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r} = \frac{13,338}{0,9737} = 13,698;$$

$$\frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} = \frac{11,339 \cdot 13,338}{0,9737 \cdot 0,9749} = 159,324;$$

$$k_r \cdot k_s \cdot T_{s\sigma}^{-1} = \frac{k_r \cdot k_s}{T_{s\sigma}} = 0,073 \cdot 0,9749 = 0,0712;$$

$$\frac{T_{r\sigma}}{\Omega_6} = \frac{11,339}{314,16} = 0,036;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{\Omega_6} = \frac{13,338}{314,16} = 0,0425;$$

$$\frac{T_3}{\Omega_6} = \frac{6,302}{314,16} = 0,02006;$$

$$\frac{T_r}{\Omega_6} = \frac{222,676}{314,16} = 0,7088;$$

$$\frac{\zeta_N}{l_{\sigma_3}} = \frac{1,124}{0,2082} = 5,3987;$$

$$\zeta_N \cdot T_r = 1,124 \cdot 222,676 = 250,29;$$

$$\frac{\Omega_6}{r_3 \cdot T_3} = \frac{314,16}{0,032171 \cdot 6,302} = 1549,558;$$

$$\frac{k_r}{T_r} = \frac{0,9737}{222,676} = 0,00437;$$

$$\frac{1}{r_{rk} \cdot k_r^2} = \frac{1}{0,0179 \cdot 0,9737^2} = 58,824;$$

$$\frac{r_{rk} \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\phi}}{T_r} = \frac{0,0179 \cdot 0,9737^2 \cdot 314,16}{222,676} = 0,024.$$

Расчет этих коэффициентов производим в Script:

%Номинальные данные

PN=320000;

UsN=380;

IsN=324;

fN=50;

Omega0N=104.7;

OmegaN=102.83;

nN=0.944;

cos_phiN=0.92;

zp=3;

%Параметры Т-образной схемы замещения при номинальной частоте

Rs=0.0178;

Xs=0.118;

Rr=0.0194;

Xr=0.123;

Xm=4.552;

J=28;

%Базисные величины системы относительных единиц

Ub=sqrt(2)*UsN;

Ib=sqrt(2)*IsN;

OmegasN=2*pi*fN;

Omegab=OmegasN;

Omegarb=Omegab/zp;

Zb=Ub/Ib;

Psib=Ub/Omegab;

Lb=Psib/Ib;

kd=1.0084;

Mb=kd*PN/OmegaN;

Pb=Mb*Omegarb;

rs=Rs/Zb;

ls=Xs/Zb;

rr=Rr/Zb;

lr=Xr/Zb;

lm=Xm/Zb;

Tj=J*Omegarb/Mb;

betaN=(Omega0N-OmegaN)/Omega0N;

wN=(1-betaN);

SsN=3*UsN*IsN;

ZetaN=SsN/Pb;

ks=lm/(lm+ls);

kr=lm/(lm+lr);

lsigma_e=ls+lr+ls*lr*lm^(-1);

roN=0.9962;

rrk=roN*betaN;

alphar=kr*rrk/lm;

le=kr*lsigma_e;

```

re=rs+(kr^2)*rrk;
Te=le/re;
Tr=(lm+lr)/rr;

wk=1;
Us=1;
ws=1;
t=2;
gamma=1.4168*pi*1.5;
usa=Us*cos(ws*t);
usb=Us*cos(ws*t-2*pi/3);
usc=Us*cos(ws*t+2*pi/3);

us_alpha=(1/3)*(2*usa-usb-usc);
us_beta=1/(sqrt(3))*(usb-usc);

rox=cos(gamma);
roy=sin(gamma);

usx=rox*us_alpha+roy*us_beta;
usy=-roy*us_alpha+rox*us_beta;

Ts_sigma=(ls+kr*lr)/rs;
Tr_sigma=(lr+ks*ls)/rrk;
    
```

На рис. 7 представлена система, состоящая из математической модели АД, преобразователя координат и блока ориентации.

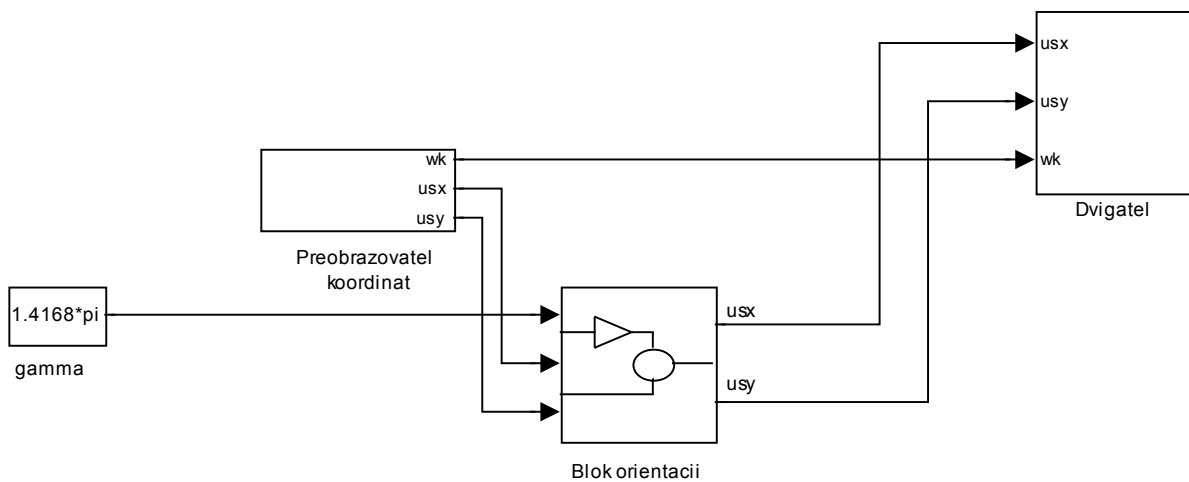


Рис. 7. Общий вид системы

Главным элементом этой системы является математическая модель асинхронного двигателя. Основным отличием от модели двигателя, приведенного в работе [1] является то, что рассматриваются новые переменные ψ_s и

$\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$ на выходе апериодических звеньев. Математическая модель АД дана на рис. 8.

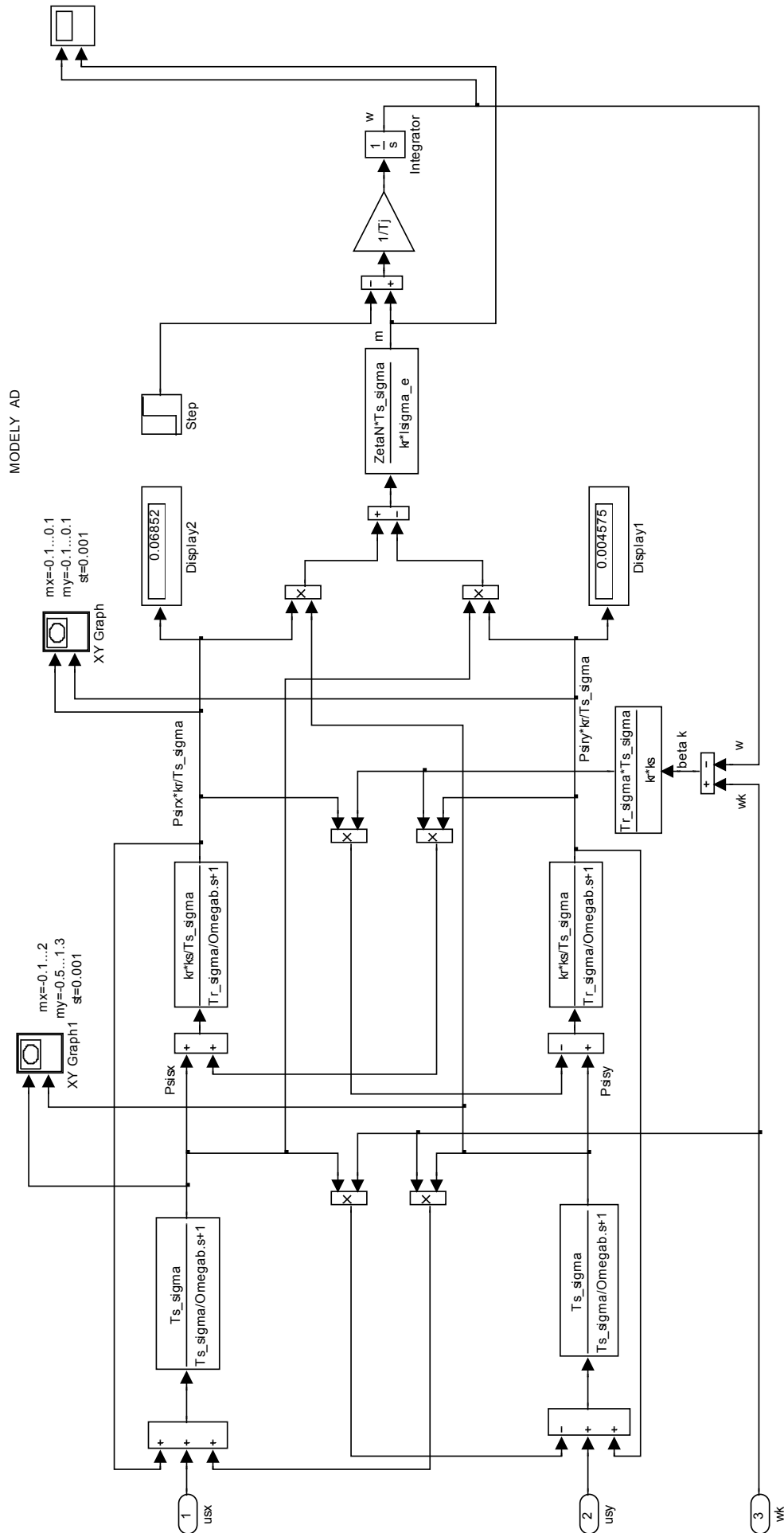


Рис. 8. Математическая модель АД с переменными ψ_s — $\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_{sr}} \right)$ на выходе аperiodических звеньев

Результаты моделирования системы представлены на рис. 9...12.

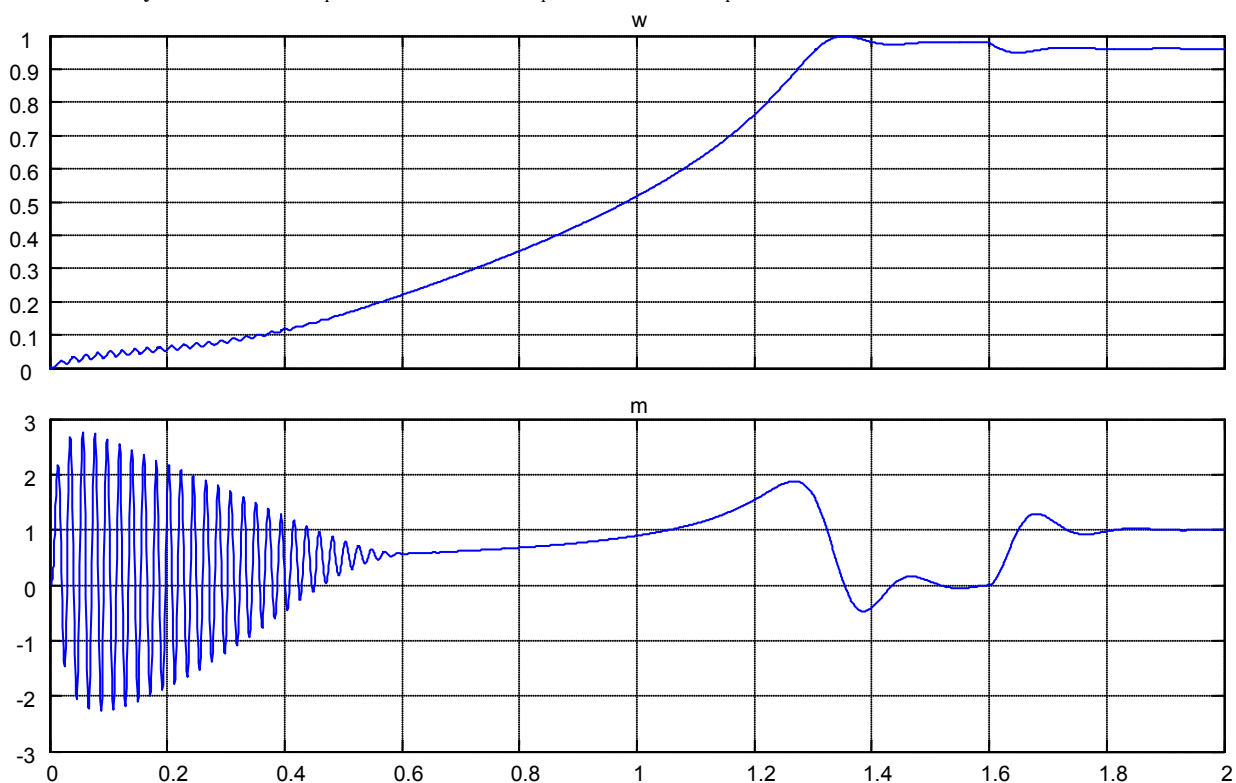


Рис. 9. Графики скорости и момента

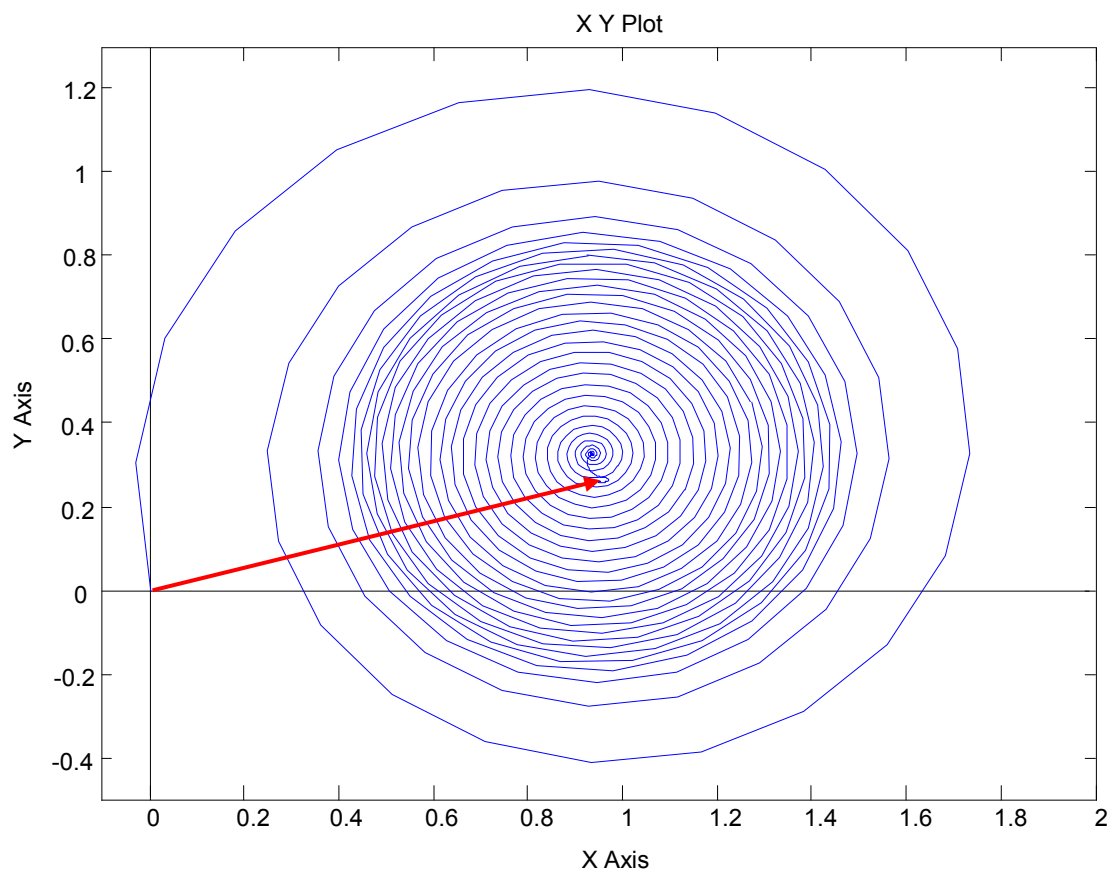


Рис. 10. Годограф изменения потокосцепления статора ψ_s

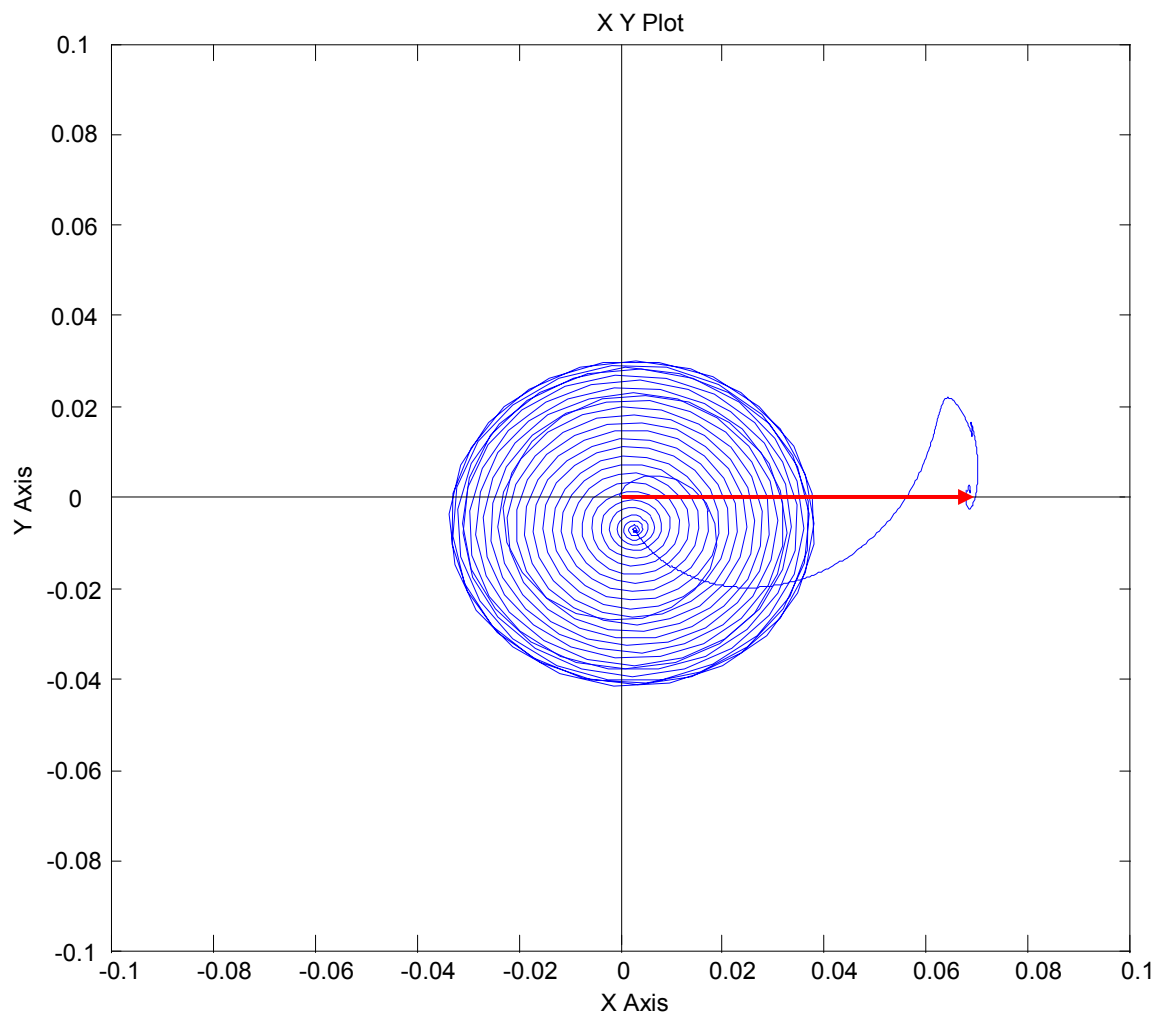


Рис. 11. Ориентация системы координат по потокоцеплению ротора

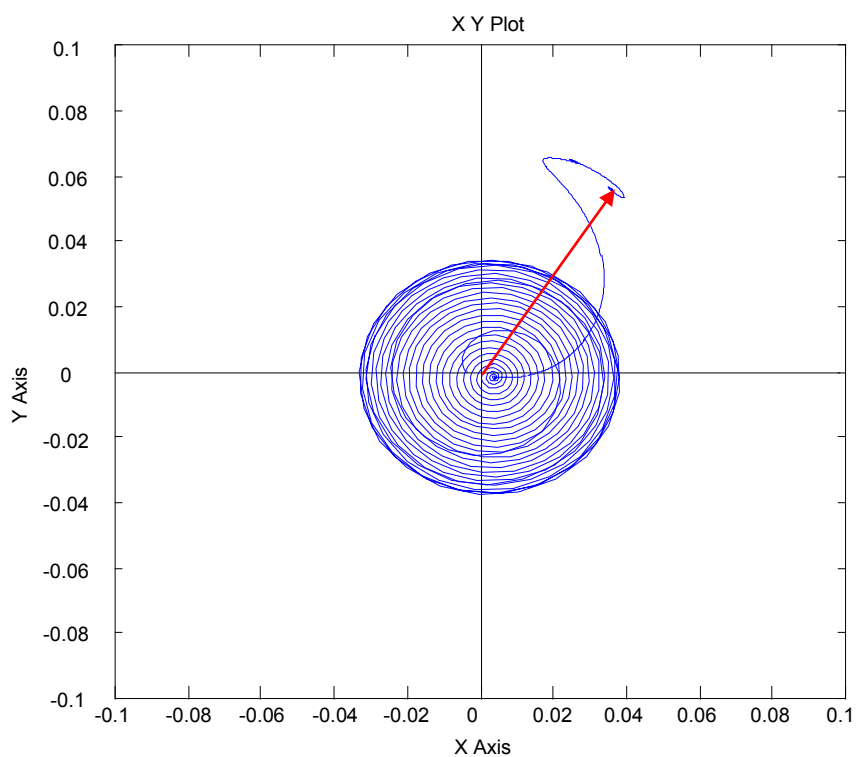


Рис. 12. Произвольная ориентация системы координат

Литература:

1. Емельянов А.А., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Чернов М.В., Кирыков Г.А., Габзалилов Э.Ф., Фуртиков К.А., Реутов А.Я., Королёв О.А. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_r - \bar{I}_s$ в произвольной системе координат // Молодой ученый. — 2015. — № 13. — с. 7-20.
2. Шрейнер Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин. Под ред. проф. д.т.н. Р.Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. — 361 с.
3. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург УРО РАН, 2000. — 654 с.

Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_r - \Psi_s$ в произвольной системе координат на основе интегрирующих звеньев в системе Script-Simulink

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;
 Авдеев Александр Сергеевич, студент;
 Чернов Михаил Владимирович, студент;
 Кирыков Георгий Анатольевич, студент;
 Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Данная работа является развитием статьи [1], в которой модель рассматривалась с переменными \bar{I}_s и $\left(\bar{\Psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ на выходе интегрирующих звеньев. Так как работа адресована студентам, то выводы даны без сокращений.

Предварительно, для лучшего понимания необходимо рассмотреть предыдущие наши статьи, в которых получена система уравнений для асинхронного двигателя в относительных единицах. Основные уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \bar{u}_s = r_s \cdot \bar{i}_s + \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j\omega_\kappa \cdot \bar{\psi}_s; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} 0 = r_r \cdot \bar{i}_r + \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_\kappa - \omega) \cdot \bar{\psi}_r; \end{cases} \quad (2)$$

$$\bar{\psi}_s = (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \bar{i}_s + l_m \cdot \bar{i}_r; \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_r = (l_m + l_{r\sigma}) \cdot \bar{i}_r + l_m \cdot \bar{i}_s. \quad (4)$$

Электромагнитный момент определяется по формуле [7, с.131]:

$$m = \frac{\zeta_N}{l_{\sigma\sigma}} \cdot (\psi_{sy} \cdot \psi_{rx} - \psi_{sx} \cdot \psi_{ry}). \quad (5)$$

Уравнение движения:

$$m - m_c = T_j \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (6)$$

Так как электромагнитный момент определяется через переменные $\bar{\psi}_s$ и $\bar{\psi}_r$, то из уравнений (1) – (4) необходимо исключить переменные \bar{i}_s и \bar{i}_r .

Из уравнения (4) выразим \bar{i}_s :

$$\bar{i}_s = \frac{1}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right] \cdot \bar{i}_r.$$

Полученное выражение \bar{i}_s подставим в уравнение (3):

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_s &= (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \left(\frac{1}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \cdot \bar{i}_r \right) + l_m \cdot \bar{i}_r = \frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} \cdot \bar{i}_r + l_m \cdot \bar{i}_r = \\ &= \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_s}} \cdot \bar{\psi}_r - \left(\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m \right) \cdot \bar{i}_r, \end{aligned}$$

где $\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m = \frac{l_m^2 + l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_m + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} - l_m^2}{l_m} = \frac{l_m \cdot \left(l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma}}{l_m} \right)}{l_m} = l_{\sigma_3};$

$$\boxed{l_{\sigma_3} = \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} - l_m}. \tag{7}$$

Тогда $\bar{\psi}_s = \frac{1}{k_s} \cdot \bar{\psi}_r - l_{\sigma_3} \cdot \bar{i}_r.$

Отсюда

$$\boxed{\bar{i}_r = \frac{1}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s}. \tag{8}$$

При определении \bar{i}_s рассмотрим два варианта:

1. Подставим \bar{i}_r в уравнение (3):

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_s &= (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \bar{i}_s + \frac{l_m}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s; \\ \bar{i}_s &= \frac{1}{l_m + l_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{l_m}{l_{\sigma_3}} \right) \cdot \bar{\psi}_s - \frac{l_m}{k_s \cdot l_{\sigma_3} \cdot (l_m + l_{s\sigma})} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{l_{\sigma_3} + l_m}{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \underbrace{\left[\frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} \right]}_{k_s} \cdot \bar{\psi}_r = \\ &= \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma}) - l_m + l_m}{l_m} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{k_s}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m \cdot (l_m + l_{s\sigma}) \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r = \\ &= \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_r}} \cdot \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r = \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r. \end{aligned}$$

$$\boxed{\bar{i}_s = \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r}. \tag{9}$$

2. Подставим \bar{i}_r в уравнение (4):

$$\bar{\psi}_r = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s + l_m \cdot \bar{i}_s;$$

$$\bar{i}_s = \frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{l_m + l_{r\sigma}}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \right) \cdot \bar{\psi}_r + \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_r}} \cdot \frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s.$$

Рассмотрим отдельно коэффициент перед $\bar{\psi}_r$:

$$\frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m \cdot l_{\sigma_3}} \right) = \frac{1}{l_m} \cdot \left(1 - \frac{l_{\sigma_3} + l_m}{l_{\sigma_3}} \right) = \frac{1}{l_m} \cdot \frac{l_{\sigma_3} - l_{\sigma_3} - l_m}{l_{\sigma_3}} = -\frac{1}{l_{\sigma_3}},$$

где из (7) $\frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{l_m} = l_{\sigma_3} + l_m.$

Тогда $\bar{i}_s = -\frac{1}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r + \frac{1}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s.$

Этот вариант дает такое же значение \bar{i}_s , как и в предыдущем случае.

Подставим \bar{i}_r в уравнение (2):

$$0 = \frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r.$$

Перейдем к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s \right)$:

$$0 = \frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \bar{\psi}_r + j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r;$$

$$\left(\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_r = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r;$$

$$\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \left(1 + \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_r = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \bar{\psi}_r.$$

Введем новую переменную $\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$:

$$\frac{r_r}{k_s \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(1 + \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \frac{r_r}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_r} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right).$$

Приведем отношение $\frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r}$ к $T_{r\sigma}$:

$$\begin{aligned} \frac{l_{\sigma_3} \cdot k_s}{r_r} &= \frac{l_{\sigma_3} \cdot l_m}{r_r \cdot (l_m + l_{s\sigma})} = \frac{\left(l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma}}{l_m} \right) \cdot l_m}{r_r \cdot (l_m + l_{s\sigma})} = \frac{(l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma})}{l_m + l_{s\sigma}} = \\ &= \frac{l_{r\sigma} \cdot (l_m + l_{s\sigma}) + l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma}}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{l_{r\sigma} + \frac{l_m \cdot l_{s\sigma}}{l_m + l_{s\sigma}}}{r_r} = \frac{l_{r\sigma} + k_s \cdot l_{s\sigma}}{r_r} = T_{r\sigma}; \end{aligned}$$

$$\frac{1}{k_s} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_r} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right);$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \bar{\psi}_s - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{l_{\sigma\delta} \cdot T_{s\sigma}}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{k_s}{k_s} \cdot \left(\bar{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right).$$

Разложим векторы $\bar{\psi}_r$ и $\bar{\psi}_s$ на проекции:

$$\bar{\psi}_r = \psi_{rx} + j\psi_{ry};$$

$$\bar{\psi}_s = \psi_{sx} + j\psi_{sy};$$

$$\begin{aligned} &\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) + j \frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \\ &= \psi_{sx} + j\psi_{sy} - j(\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) + (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right). \end{aligned} \quad (*)$$

Проекция уравнения (*) на ось +1:

$$\begin{aligned} &\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \psi_{sx} + (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right); \\ &\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \left[-\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) + \frac{\psi_{sx}}{2} + (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) \right] \cdot \frac{k_r \cdot k_s \cdot \Omega_{\delta}}{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}} \cdot \frac{1}{s}. \end{aligned} \quad (10)$$

Этому уравнению (10) соответствует следующая структурная схема:

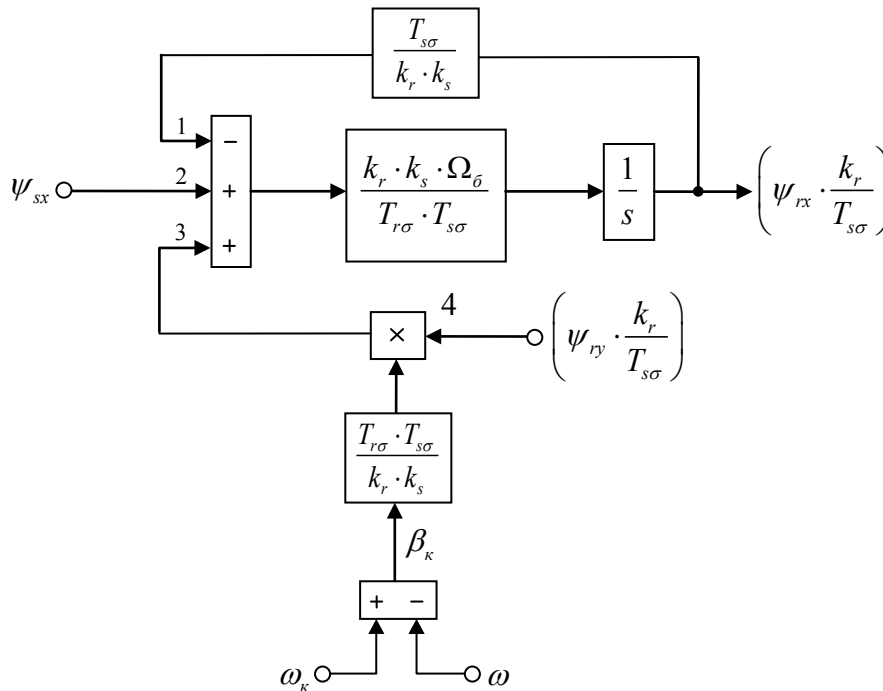


Рис. 1. Структурная схема для определения $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right)$

Проекция уравнения (*) на ось +j:

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(1 + \frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right) = \psi_{sy} - (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}}\right);$$

$$\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) = \left[- \underbrace{\frac{T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)}_3 + \underbrace{\psi_{sy}}_1 - \underbrace{(\omega_\kappa - \omega) \cdot \frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)}_2 \right] \cdot \frac{k_r \cdot k_s \cdot \Omega_\sigma}{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}} \cdot \frac{1}{s} \quad (11)$$

Полученному уравнению (11) соответствует следующая структурная схема:

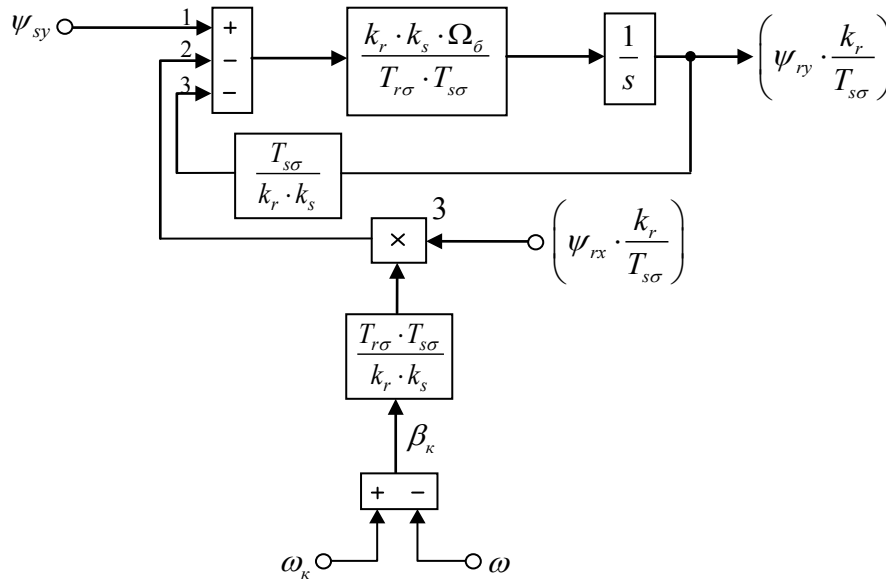


Рис. 2. Структурная схема для определения $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$

Уравнение (9) подставим в уравнение (1):

$$\bar{u}_s = \frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_s - \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r + \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j\omega_\kappa \cdot \bar{\psi}_s.$$

Перейдем к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s \right)$:

$$\left(\frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} + \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_\kappa \cdot \bar{\psi}_s;$$

$$\left[\frac{r_s}{k_r \cdot l_{\sigma_3}} \right] \cdot \left(1 + \left[\frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s} \right] \cdot \frac{1}{\Omega_\sigma} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma_3}} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_\kappa \cdot \bar{\psi}_s.$$

Приведем отношение $\frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s}$ к $T_{s\sigma}$:

$$\begin{aligned} \frac{k_r \cdot l_{\sigma_3}}{r_s} &= \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_{\sigma_3}}{r_s} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + \frac{l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma}}{l_m}}{r_s} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma}}{l_m \cdot r_s} = \\ &= \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + (l_{r\sigma} \cdot l_{s\sigma} + l_m \cdot l_{s\sigma})}{(l_m + l_{r\sigma}) \cdot r_s} = \frac{l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{(l_m + l_{r\sigma}) \cdot r_s} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{l_{r\sigma} + l_{s\sigma}}{r_s} = \frac{k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma}}{r_s} = T_{s\sigma}. \end{aligned}$$

В работе [8] приведены следующие значения $T_{s\sigma}$:

$$T_{s\sigma} = \frac{l_{s\sigma} + k_r \cdot l_{r\sigma}}{r_s} = \frac{k_r \cdot l_{\sigma\sigma}}{r_s} = \alpha_{s\sigma}^{-1}$$

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \frac{r_s}{l_{\sigma\sigma}} \cdot \frac{k_r}{k_r} \cdot \bar{\psi}_r - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s;$$

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \bar{\psi}_s = \bar{u}_s + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \bar{\psi}_r \right) - j\omega_k \cdot \bar{\psi}_s.$$

Выразим векторы $\bar{\psi}_s$, \bar{u}_s и $\bar{\psi}_r$ через проекции:

$$\bar{\psi}_s = \psi_{sx} + j\psi_{sy}; \quad \bar{u}_s = u_{sx} + ju_{sy}; \quad \bar{\psi}_r = \psi_{rx} + j\psi_{ry}.$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sx} + j \frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sy} = \\ & = u_{sx} + ju_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right) + j \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry} \right) - j\omega_k \cdot \psi_{sx} + \omega_k \cdot \psi_{sy}. \end{aligned} \tag{**}$$

Проекция уравнения (**) на действительную ось +1:

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sx} = u_{sx} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right) + \omega_k \cdot \psi_{sy}. \tag{12}$$

Проекция уравнения (**) на мнимую ось +j:

$$\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \left(1 + \frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\bar{\sigma}}} \cdot s \right) \cdot \psi_{sy} = u_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry} \right) + \omega_k \cdot \psi_{sx}. \tag{13}$$

Из уравнения (12) выразим ψ_{sx} :

$$\psi_{sx} = \left[-\underbrace{\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{sx}}_1 + \underbrace{u_{sx}}_3 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{rx} \right)}_2 + \underbrace{\omega_k \cdot \psi_{sy}}_4 \right] \cdot \Omega_{\bar{\sigma}} \cdot \frac{1}{s}.$$

Структурная схема для реализации потокоцепления ψ_{sx} в Simulink дана на рис. 3.

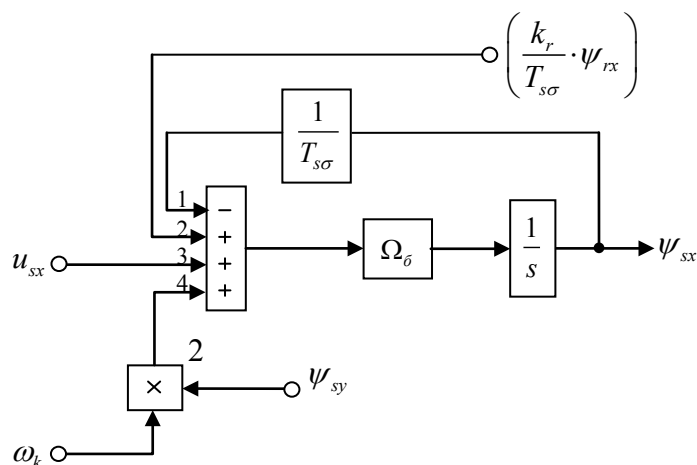


Рис. 3. Структурная схема проекции потокоцепления статора ψ_{sx} на ось +1

Аналогично из уравнения (13) выразим ψ_{sy} :

$$\psi_{sy} = \left[-\underbrace{\frac{1}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{sy}}_4 + \underbrace{u_{sy}}_2 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_{s\sigma}} \cdot \psi_{ry}\right)}_3 - \underbrace{\omega_k \cdot \psi_{sx}}_1 \right] \cdot \Omega_{\delta} \cdot \frac{1}{s}$$

Структурная схема, соответствующая этому уравнению, представлена на рис. 4.

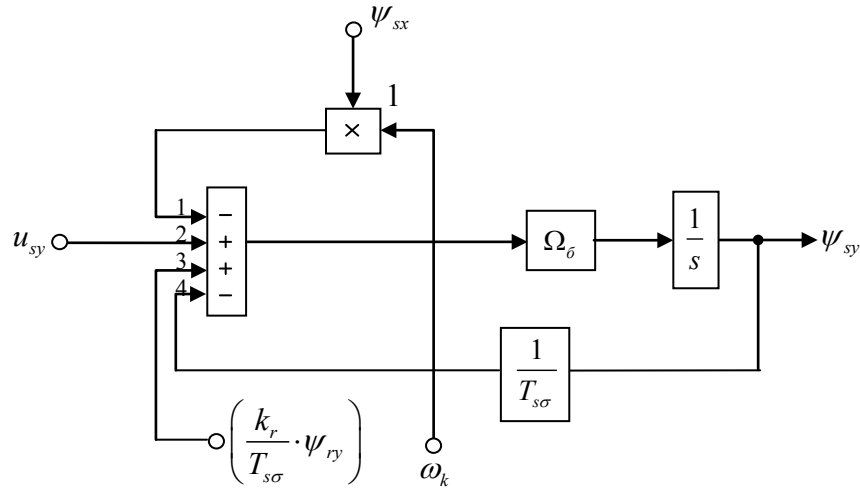


Рис. 4. Структурная схема проекции потокоцепления статора ψ_{sy} на ось +j

Структурная схема для реализации уравнения (5) дана на рис. 5:

$$m = \frac{\zeta_N}{l_{\sigma\delta}} \cdot \left(\psi_{sy} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} - \psi_{sx} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \right) =$$

$$= \left[\frac{\zeta_N}{l_{\sigma\delta}} \cdot \frac{T_{s\sigma}}{k_r} \right] \cdot \left(\psi_{sy} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) - \psi_{sx} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right) \right)$$

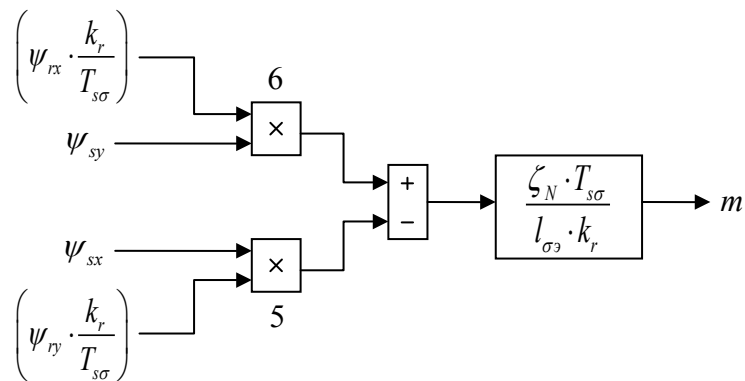


Рис. 5. Математическая модель электромагнитного момента m

Наконец для уравнения (6):

$$m - m_c = T_j \cdot s \cdot \omega;$$

$$\omega = (m - m_c) \cdot \frac{1}{T_j \cdot s}$$

Структурная схема дана на рис. 6.

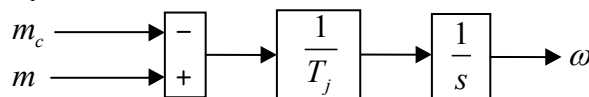


Рис. 6. Математическая модель уравнения движения

В работе [2] в главе 6 «Примеры» дан образец расчета параметров асинхронного двигателя. В наших дальнейших работах направленных на подготовку студентов к исследовательской работе, глава 6 окажет неоценимую помощь. Можно было бы по аналогии рассмотреть паспортные данные любого другого двигателя, но для проверки правильности выводов уравнений сделанных исследовательской группой самостоятельно, необходимо постоянно выходить на многие полученные результаты в работе [3]. Поэтому, этот пример расчета окажется очень полезным.

Номинальные данные:

Номинальный режим работы	S1;
Номинальная мощность	$P_N = 320 \text{ кВт};$
Номинальное фазное напряжение	$U_{s,N} = 380 \text{ В};$
Номинальный фазный ток	$I_{s,N} = 324 \text{ А};$
Номинальная частота	$f_N = 50 \text{ Гц};$
Номинальная синхронная скорость	$\Omega_{0N} = 104,7 \text{ рад/с};$
Номинальная скорость ротора	$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с};$
Номинальный КПД	$\eta_N = 0,944;$
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_N = 0,92;$
Число пар полюсов	$z_p = 3.$

Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:

Активное сопротивление обмотки статора	$R_s = 0,0178 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора	$X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом};$
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору	$R_r = 0,0194 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору	$X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом};$
Главное индуктивное сопротивление	$X_m = 4,552 \text{ Ом};$
Суммарный момент инерции двигателя и механизма	$J_\Sigma = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$

Базисные величины системы относительных единиц:

Напряжение	$U_\delta = \sqrt{2}U_{s,N} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В};$
Ток	$I_\delta = \sqrt{2}I_{s,N} = \sqrt{2} \cdot 324 = 458,2 \text{ А};$
Частота	$\Omega_\delta = \Omega_{s,N} = 2\pi f_N = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с};$
Скорость ротора	$\Omega_{r,\delta} = \frac{\Omega_\delta}{z_p} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ рад/с};$
Сопротивление	$Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = \frac{537,4}{458,2} = 1,1728 \text{ Ом};$
Потокоцепление	$\Psi_\delta = \frac{U_\delta}{\Omega_\delta} = \frac{537,4}{314,16} = 1,711 \text{ В} \cdot \text{с};$
Индуктивность	$L_\delta = \frac{\Psi_\delta}{I_\delta} = \frac{1,711}{458,2} = 3,733 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$

Используя номинальные данные двигателя, определяем:

$$M_\delta = k_\Delta \cdot M_N = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N},$$

где $k_\Delta > 1$ – коэффициент, учитывающий различие значений электромагнитного момента и момента на валу двигателя в номинальном режиме ($k_\Delta = 1,0084$).

$$M_{\delta} = k_{\Delta} \cdot \frac{P_N}{\Omega_N} = 1,0084 \cdot \frac{320 \cdot 10^3}{102,83} = 3138,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В качестве базисной мощности выбираем значение электромагнитной мощности двигателя в номинальном режиме, определяемое по следующей формуле:

$$P_{\delta} = M_{\delta} \cdot \Omega_{p.б.} = 3138,07 \cdot 104,72 = 328,62 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Относительные значения параметров схемы замещения двигателя:

$$r_s = \frac{R_s}{Z_{\delta}} = \frac{0,0178}{1,1728} = 0,0152;$$

$$l_{s\sigma} = \frac{L_{s\sigma}}{L_{\delta}} = \frac{X_{s\sigma}}{(\Omega_{\delta} \cdot L_{\delta})} = \frac{X_{s\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,118}{1,1728} = 0,1006;$$

$$r_r = \frac{R_r}{Z_{\delta}} = \frac{0,0194}{1,1728} = 0,0165;$$

$$l_{r\sigma} = \frac{X_{r\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,123}{1,1728} = 0,1049;$$

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\delta}} = \frac{4,552}{1,1728} = 3,881.$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_{r.б.}}{M_{\delta}} = 28 \cdot \frac{104,72}{3138,07} = 0,934 \text{ с}.$$

Номинальное значение скольжения:

$$\beta_N = \frac{\Omega_{0N} - \Omega_N}{\Omega_{0N}} = \frac{104,72 - 102,83}{104,72} = 0,018.$$

Относительное значение номинальной скорости ротора:

$$\omega_N = (1 - \beta_N) = (1 - 0,018) = 0,982.$$

Нормирующий энергетический коэффициент:

$$\zeta_N = \frac{S_{s.N}}{P_{э.л.м.N}} = \frac{3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N}}{P_{\delta}} = \frac{3 \cdot 380 \cdot 324}{328620} = 1,124;$$

$$S_{sN} = 3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N} = 369360 \text{ ВА};$$

$$k_s = \frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1006} = 0,9749;$$

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1049} = 0,9737;$$

$$l_{\sigma\sigma} = l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1} = 0,1006 + 0,1049 + \frac{0,1006 \cdot 0,1049}{3,881} = 0,2082.$$

При расчете режимов работы, для того чтобы $i_{sn} = 1$, $m_N = 1$, $u_{sN} = 1$, $\omega_{sN} = 1$ и $\beta_N = 0,018$ необходимо откорректировать r_r :

$$r_{rk} = \rho_N \cdot \beta_N = 0,9962 \cdot 0,018 = 0,0179,$$

где $\rho_N = 0,9962$ – корректирующий коэффициент [2, с. 296].

$$kk = \frac{r_{rk}}{r_r} = 1,0849 \text{ - коэффициент, показывающий отношение } r_{rk} \text{ к } r_r.$$

$$\alpha_r = k_r \cdot \frac{r_{rk}}{l_m} = 0,9737 \cdot \frac{0,0179}{3,881} = 0,00451;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} = 0,9737 \cdot 0,1049 + 0,1006 = 0,20274;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{\sigma_3} = 0,9737 \cdot 0,2082 = 0,20274;$$

$$r_3 = r_s + k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,0152 + 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,032171;$$

$$T_3 = \frac{l_3}{r_3} = \frac{0,20274}{0,032171} = 6,302;$$

$$k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,017;$$

$$\frac{1}{r_3} = \frac{1}{0,032171} = 31,084;$$

$$T_{r\sigma} = \frac{l_{r\sigma} + k_s \cdot l_{s\sigma}}{r_{rk}} = \frac{0,1049 + 0,9749 \cdot 0,1006}{0,0179} = 11,339;$$

$$T_{s\sigma} = \frac{l_{s\sigma} + k_s \cdot l_{r\sigma}}{r_s} = \frac{0,1006 + 0,9737 \cdot 0,1049}{0,0152} = 13,338;$$

$$\frac{T_r}{k_r^2 \cdot r_{rk}} = \frac{222,676}{0,9737^2 \cdot 0,0179} = 13098,587;$$

$$\frac{k_r}{T_{s\sigma}} = \frac{0,9737}{13,338} = 0,073;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r} = \frac{13,338}{0,9737} = 13,698;$$

$$\frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} = \frac{11,339 \cdot 13,338}{0,9737 \cdot 0,9749} = 159,324;$$

$$k_r \cdot k_s \cdot T_{s\sigma}^{-1} = \frac{k_r \cdot k_s}{T_{s\sigma}} = 0,073 \cdot 0,9749 = 0,0712;$$

$$\frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\phi}} = \frac{11,339}{314,16} = 0,036;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\phi}} = \frac{13,338}{314,16} = 0,0425;$$

$$\frac{T_3}{\Omega_{\phi}} = \frac{6,302}{314,16} = 0,02006;$$

$$\frac{T_r}{\Omega_{\phi}} = \frac{222,676}{314,16} = 0,7088;$$

$$\frac{\zeta_N}{l_{\sigma_3}} = \frac{1,124}{0,2082} = 5,3987;$$

$$\zeta_N \cdot T_r = 1,124 \cdot 222,676 = 250,29;$$

$$\frac{\Omega_{\phi}}{r_3 \cdot T_3} = \frac{314,16}{0,032171 \cdot 6,302} = 1549,558;$$

$$\frac{k_r}{T_r} = \frac{0,9737}{222,676} = 0,00437;$$

$$\frac{1}{r_{rk} \cdot k_r^2} = \frac{1}{0,0179 \cdot 0,9737^2} = 58,824;$$

$$\frac{r_{rk} \cdot k_r^2 \cdot \Omega_0}{T_r} = \frac{0,0179 \cdot 0,9737^2 \cdot 314,16}{222,676} = 0,024.$$

Расчет этих коэффициентов производим в Script:

```
%Номинальные данные
```

```
PN=320000;
```

```
UsN=380;
```

```
IsN=324;
```

```
fN=50;
```

```
Omega0N=104.7;
```

```
OmegaN=102.83;
```

```
nN=0.944;
```

```
cos_phiN=0.92;
```

```
zp=3;
```

```
%Параметры Т-образной схемы замещения при номинальной частоте
```

```
Rs=0.0178;
```

```
Xs=0.118;
```

```
Rr=0.0194;
```

```
Xr=0.123;
```

```
Xm=4.552;
```

```
J=28;
```

```
%Базисные величины системы относительных единиц
```

```
Ub=sqrt(2)*UsN;
```

```
Ib=sqrt(2)*IsN;
```

```
OmegasN=2*pi*fN;
```

```
Omegab=OmegasN;
```

```
Omegarb=Omegab/zp;
```

```
Zb=Ub/Ib;
```

```
Psib=Ub/Omegab;
```

```
Lb=Psib/Ib;
```

```
kd=1.0084;
```

```
Mb=kd*PN/OmegaN;
```

```
Pb=Mb*Omegarb;
```

```
rs=Rs/Zb;
```

```
ls=Xs/Zb;
```

```
rr=Rr/Zb;
```

```
lr=Xr/Zb;
```

```
lm=Xm/Zb;
```

```
Tj=J*Omegarb/Mb;
```

```
betaN=(Omega0N-OmegaN)/Omega0N;
```

```
wN=(1-betaN);
```

```
SsN=3*UsN*IsN;
```

```
ZetaN=SsN/Pb;
```

```
ks=lm/(lm+ls);
```

```
kr=lm/(lm+lr);
```

```
lsigma_e=ls+lr+ls*lr*lm^(-1);
```

```
roN=0.9962;
```

```
rrk=roN*betaN;
```

```
alphan=kr*rrk/lm;
```

```
le=kr*lsigma_e;
```

```
re=rs+(kr^2)*rrk;
```

```

Te=le/re;
Tr=(lm+lr)/rr;

wk=1;
Us=1;
ws=1;
t=2;
gamma=1.4168*pi*1.5;
usa=Us*cos(ws*t);
usb=Us*cos(ws*t-2*pi/3);
usc=Us*cos(ws*t+2*pi/3);

us_alpha=(1/3)*(2*usa-usb-usc);
us_beta=1/(sqrt(3))*(usb-usc);

rox=cos(gamma);
roy=sin(gamma);

usx=rox*us_alpha+roy*us_beta;
usy=-roy*us_alpha+rox*us_beta;

Ts_sigma=(ls+kr*lr)/rs;
Tr_sigma=(lr+ks*ls)/rrk;
    
```

На рис. 7 представлена система, состоящая из математической модели АД, преобразователя координат и блока ориентации.

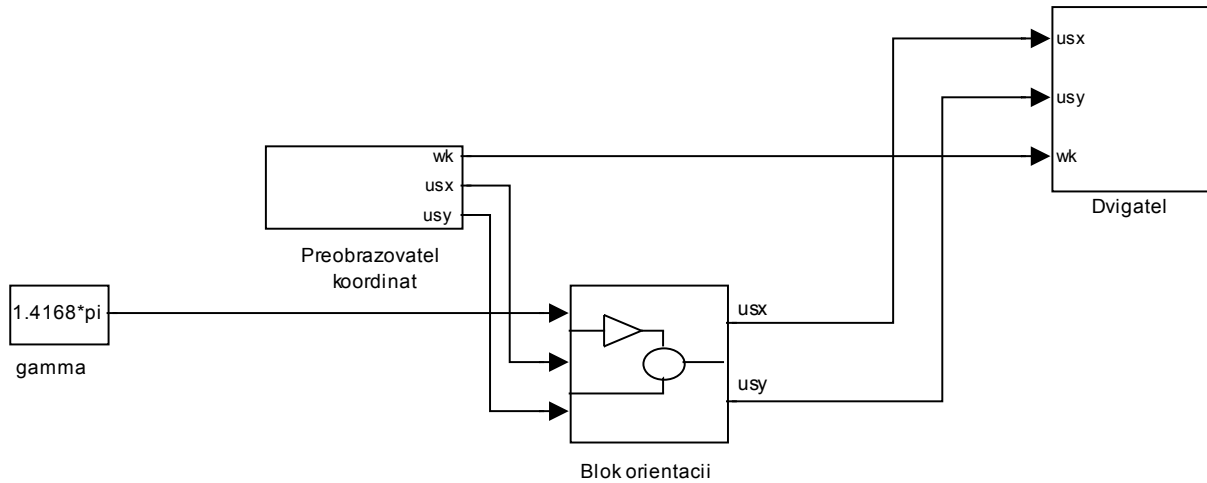


Рис. 7. Общий вид системы

Главным элементом этой системы является математическая модель асинхронного двигателя. Основным отличием от модели двигателя, приведенного в работе [1] является то, что рассматриваются новые переменные ψ_s и

$\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_{s\sigma}} \right)$ на выходе интегрирующих звеньев. Математическая модель АД дана на рис. 8.

Результаты моделирования системы представлены на рис. 9...12.

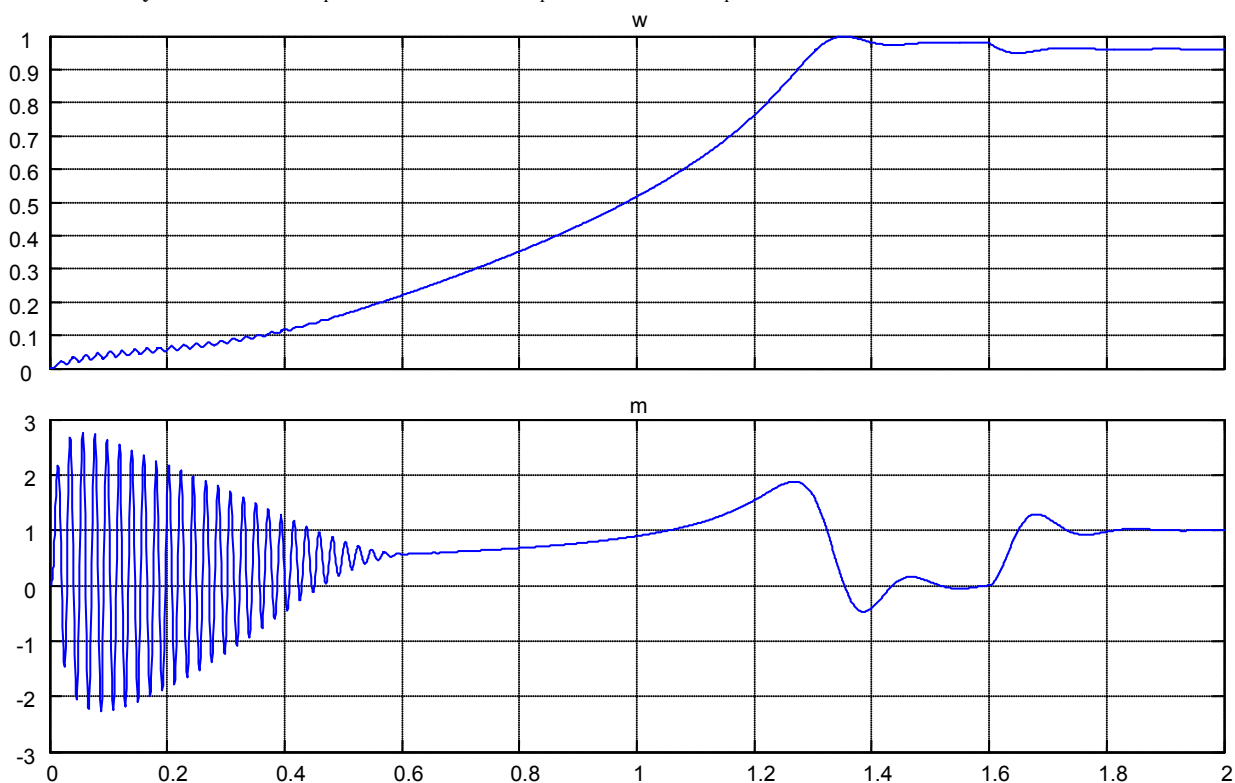


Рис. 9. Графики скорости и момента

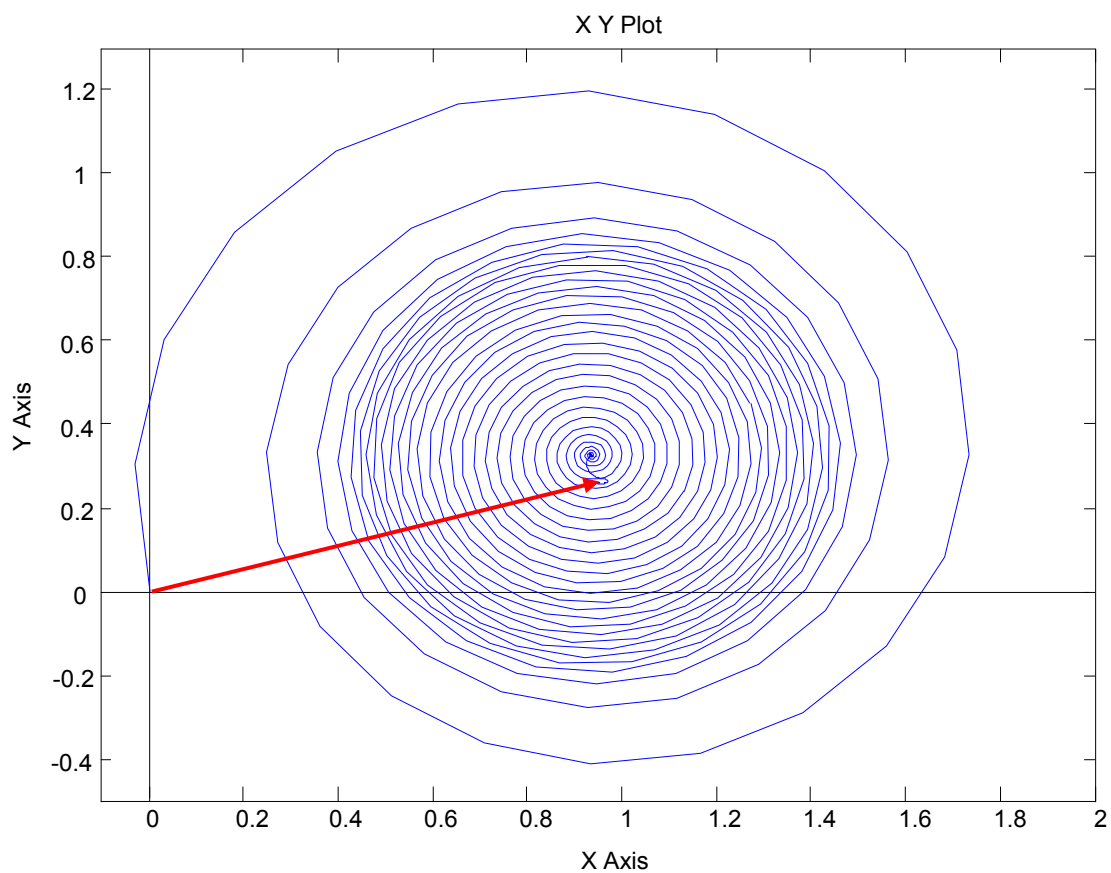


Рис. 10. Годограф изменения потокосцепления статора ψ_s

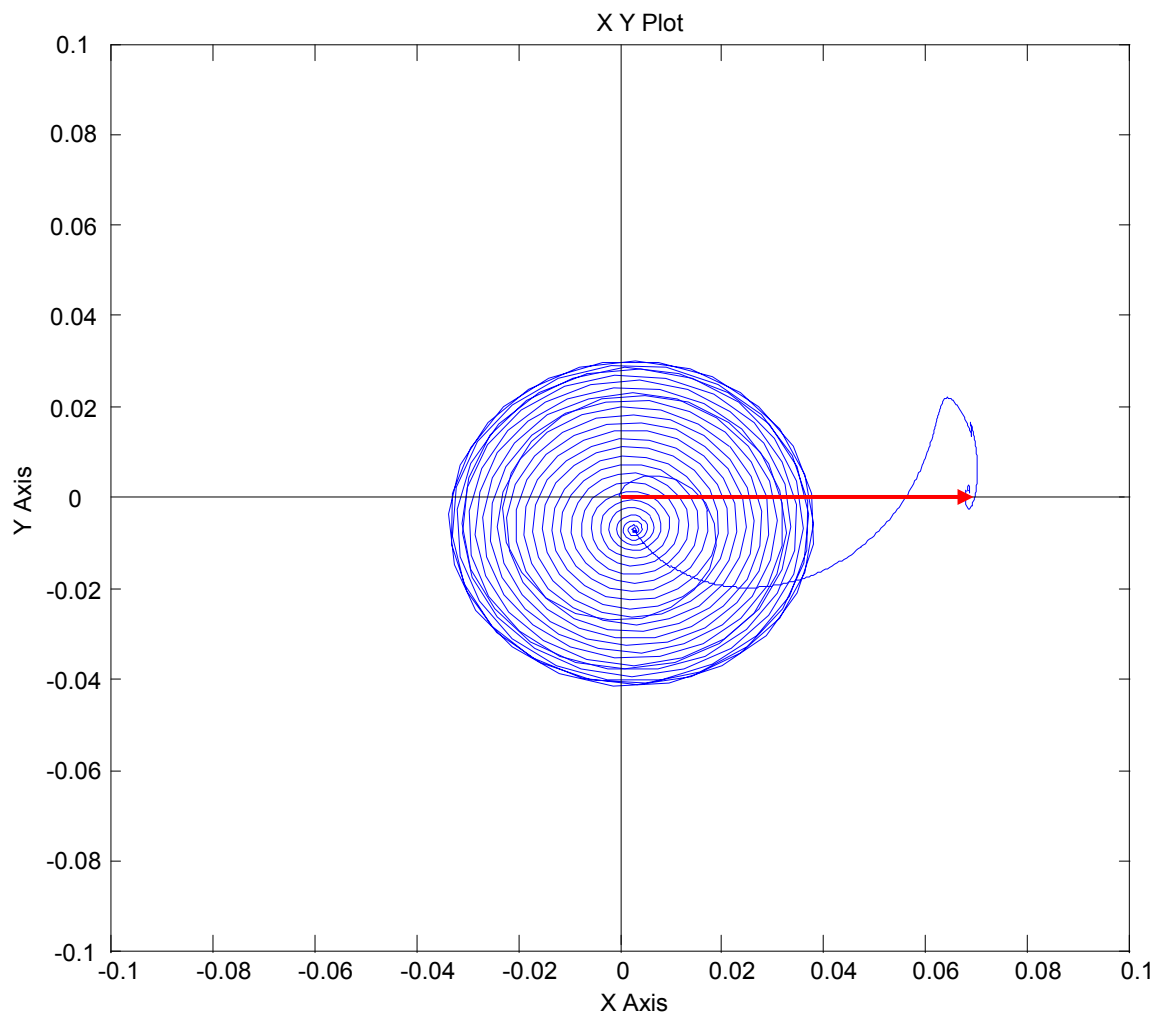


Рис. 11. Ориентация системы координат по потокоцеплению ротора

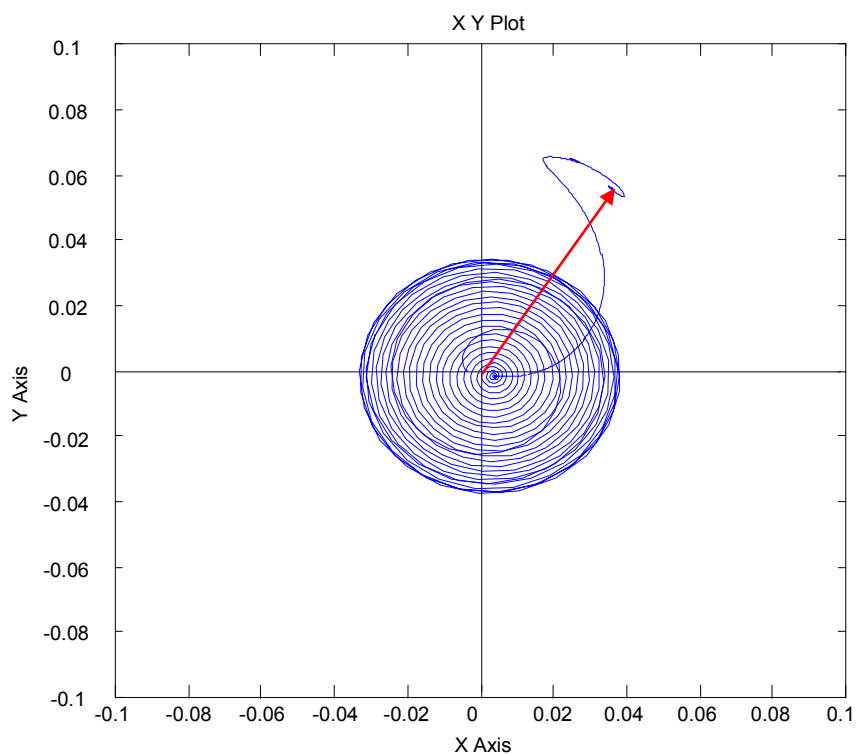


Рис. 12. Произвольная ориентация системы координат

Литература:

1. Емельянов, А. А., Бескеткин В.В., Авдеев А.С. Моделирование асинхронного двигателя с переменными на основе интегрирующих звеньев в системе Script-Simulink // Молодой ученый. — 2015. — № 17. — с. 10-18.
2. Шрейнер Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин. Под ред. проф. д.т.н. Р.Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. — 361 с.
3. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург УРО РАН, 2000. — 654 с.

ХИМИЯ

Получение и исследование свойств новых полупроводниковых материалов на основе ZnTe и CdSe

Васина Марина Владимировна, кандидат химических наук, доцент
Омский государственный технический университет

Работа посвящена получению, аттестации и исследованию физико-химических свойств твердых растворов и бинарных соединений системы ZnTe — CdSe. Она нацелена на поиск новых материалов для современной, прежде всего, нано-, сенсорной техники, а также новых полупроводниковых катализаторов [1].

Ключевые слова: полупроводники, сенсоры, твердые растворы, катализаторы.

Объектами исследований служили порошки и пленки бинарных соединений ZnTe, CdSe и твердых растворов $(\text{ZnTe})_x(\text{CdSe})_{1-x}$ ($x=0, 26, 68, 100$ мол. %). Порошки твердых растворов получали методом изотермической диффузии в вакуумированных запаянных кварцевых ампулах при температуре, ниже температуры плавления бинарных соединений, пленки твердых растворов и бинарных соединений — дискретным термическим напылением в вакууме ($T_{\text{конд}} = 298 \text{ K}$, $P = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$) на монокристаллы КВг с последующим отжигом в парах сырьевого материала в отработанных режимах [2]. Толщину пленок определяли, исходя из условий напыления и интерферометрически. О структуре порошков и пленок, как и о завершении синтеза твердых растворов, судили по результатам рентгенографического анализа, которые использовали и для аттестации полученных твердых растворов, наряду с результатами КР — спектроскопических исследований.

Электронномикроскопические исследования позволили установить распределение каждого бинарного компонента системы ZnTe–CdSe между объемом и поверхностью кристаллических зерен другого компонента, взятого в избытке, определить средний размер частиц, удельную поверхность, их распределение по размерам, коэффициент полидисперсности, элементный состав твердых растворов и бинарных компонентов

Результаты рентгенографических исследований свидетельствуют об образовании в системе ZnTe — CdSe (при заданных ее составах) твердых растворов замещения. Рассчитаны значения параметра решетки (a), межплоскостного расстояния (d_{hkl}), рентгеновской плотности (ρ_r). Скачок приходится на область перехода структур (s).

Образование твердых растворов замещения в системе ZnTe — CdSe подтверждают спектры комбинационного рассеяния: замещение атомов металлов в узлах

кристаллической решетки сопровождается уменьшением частоты колебаний и соответственно уменьшением интенсивности КР-пиков, а также косвенно результаты измерения рН изоэлектрического состояния поверхности — практически линейное изменение $\text{pH}_{\text{изо}}$ с составом.

Результаты ИК-спектроскопических исследований поверхности бинарных и четверных компонентов твердых растворов системы ZnTe — CdSe, эвакуированных на воздухе, в СО и смеси газов $\text{CO}:\text{O}_2 = 1:2$ описаны в работе [3]. Они показали в ИК-спектрах исходной поверхности компонентов системы (эвакуированных на воздухе) присутствуют полосы, ответственные за координационно-связанную воду, молекулярно-адсорбированный диоксид углерода, группу $\text{HO}-\text{CO}_2$, различные формы связанного кислорода.

Экспонирование в СО сопровождается понижением интенсивности колебаний OH^- групп, молекулярно адсорбированной воды о появление полосы, соответствующей колебаниям связи $\text{HO}-\text{CO}_2$. Из анализа ИК-спектров сделаны также выводы о практически полном удалении с поверхности компонентов системы адсорбированных примесей после выдержки их в вакууме, оксидной фазы (особенно с поверхности ZnTe) после экспонирования в СО и повышенной адсорбируемости в смеси $\text{CO}+\text{O}_2$ оксида углерода. Это подтверждают и исследование кислотно-основных свойств.

Как видно из рис. 1, значения $\text{pH}_{\text{изо}}$ исследуемых полупроводников, экспонированных на воздухе, плавно возрастают с увеличением содержания ZnTe. При воздействии СО появляются экстремумы, отвечающие составам $(\text{ZnTe})_{0,68}(\text{CdSe})_{0,32}$ и $(\text{ZnTe})_{0,26}(\text{CdSe})_{0,74}$, а в целом отмечается смещение значений $\text{pH}_{\text{изо}}$ в щелочную область.

Поведение водородного показателя логично связать с электронной структурой и двойственной функцией мо-

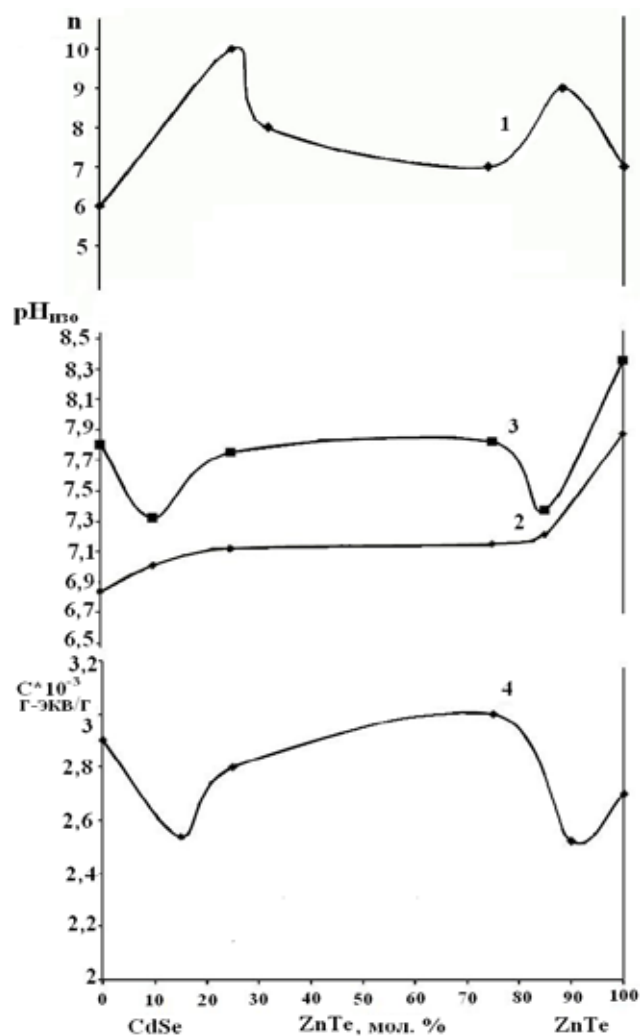


Рис. 1. Зависимости от состава компонентов системы ZnTe-CdSe количества частиц среднего размера (n) в интервале 21–31 мкм (1), pH изоэлектрического состояния поверхности, экспонированной на воздухе (2), в атмосфере CO (3), общей концентрации кислотных центров (4)

лекул CO. Обладая избыточной электронной плотностью за счёт неподелённых электронных пар атомов углерода и кислорода, а также за счёт образования двойной связи между ними, CO может представлять собой льюисовское основание (донор электронных пар) [2].

Поверхность полупроводников системы содержит координационно-ненасыщенные атомы (Zn, Cd), которые, испытывая недостаток электронов, проявляют свойства льюисовских кислот (акцепторов электронных пар) [1]. В результате взаимодействия неподелённых электронных

пар CO и свободных орбиталей координационно-ненасыщенных атомов льюисовские кислотные центры на поверхности частично гасятся. Это, скорее всего, и приводит к смещению $pH_{изо}$ в щелочную область, свидетельствуя о повышенной активности поверхности твердых растворов $(ZnTe)_{0.68}(CdSe)_{0.32}$ и $(ZnTe)_{0.26}(CdSe)_{0.74}$ к основным газам.

Последний вывод позволил рекомендовать полученные в работе новые материалы для изготовления чувствительных и селективных сенсоров — датчиков на оксид углеродам.

Литература:

1. Кировская, И. А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Твердые растворы. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. — 160 с.
2. Кировская, И. А. Поверхностные явления. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. — 175 с.
3. Кировская, И. А., Васина М. В., Екимов В. В., Дубина О. Н., Безбородова Т. Ю. Оптические свойства компонентов системы ZnTe-CdSe // Материалы II Всерос. молодежной науч.-техн. конф. «Россия молодая: передовые технологии в промышленность». Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. -Кн.2. — с. 142–148.

Технология получения технического хлористого натрия из галитовых хвостов

Рахматов Худоёр Бобониёзович, кандидат химических наук, зав. кафедрой
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Самадий Муроджон Абдусалимзода, ассистент
Ташкентский химико-технологический институт (Узбекистан)

Ахмедов Азимжон Нормуминович, кандидат технических наук;
Джураева Шохиста Дилмурадовна, старший преподаватель;
Тогаев Элдор Махманазарович, ассистент
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Известны различные методы утилизации и переработки галитовых отходов. Галитовые отходы являются побочным продуктом основной стадии производства. Количество хлорида натрия в природном сильвините очень велико (до 90 %). При переработке хлорид натрия уходит в отвал. Состав галитовых отходов, масс. %: NaCl — 80–92; KCl — 1,2–5,5; CaSO₄ — 0,3–2; MgCl₂ — 0,05–0,2; нерастворимый осадок — 1–2, влажность — 6–10 %. Некоторое количество галитовых отходов без дополнительной обработки может быть использовано в дорожном и коммунальном хозяйстве, а также горнорудной промышленности. Однако потребность в этих отраслях не превышает 30–35 % от общего количества производимых отходов. Остальная их часть должна быть переработана или утилизирована. Одной из перспективных областей использования галитовых отходов является переработка их на техническую или пищевую поваренную соль. Трудность получения пищевой поваренной соли заключается в том, что при флотационном методе переработки сильвинита в отходах остаются флотореагенты. В качестве их используют органические жирные амины. Поэтому необходимо вводить дополнительные операции для очистки поваренной соли от органических веществ. Помимо утилизации галитовых отходов применяют также и другие методы ликвидации. В Германии, например, складирование в отвалы занимает 36 % от общего числа ликвидируемых отходов, растворение и закачка в поглощающие горизонты — 40 %, подземное захоронение в выработанное шахтное пространство — 24 % [1]. В России в настоящее время галитовые отходы складировать на поверхности земли в виде солеотвалов высотой 25–30 м. По их границам устраивают дренажные каналы. Под солеотвалы отчуждаются большие площади сельскохозяйственных угодий. Только под г. Березники в настоящее время скопилось около 200 млн т отходов, под которыми занято 500 га сельскохозяйственных угодий.

Одним из рациональных путей уменьшения занятых площадей является высотное складирование ярусами высотой 30–40 м каждый. Первый ярус отходов влажностью 10–12 % устраивают до 30 м.

В г. Мозыре (Белоруссия) работает завод по получению поваренной соли из галитовых отходов ПО «Белорускалий». Солевые отходы используются в качестве сырья для получения поваренной соли на заводах в Италии и во

Франции (до 10 % общего количества). Использование отходов, полученных флотационным методом, для производства поваренной соли, вызывает сомнения, так как в NaCl переходят органические добавки, применяемые при проведении основного процесса. Некоторые из этих добавок являются высокотоксичными веществами. Один из возможных путей использования таких отходов — приготовление из них рассолов для производства соды. Такой процесс осуществлен на Березниковском химическом комбинате [2].

Разработана технология безреагентной подготовки рассола хлорида натрия с целью очистки рассола до заданной концентрации, в основе которой лежат процессы обработки водных растворов галитовых отходов переменными электромагнитными полями низкой частоты [3].

Суть разработки состоит в том, что при данной обработке недиссоциированные на ионы молекулы солей создают в водных растворах галитовых отходов вихревые электромагнитные поля, которые обеспечивают необходимое качество растворов при подготовке с необходимой концентрацией хлорида натрия в растворе. В результате обработки в растворах создаются условия, приводящие к взаимной коагуляции не растворимых в воде химических соединений и условия для перевода растворимых в воде химических соединений в нерастворимые соединения.

Другой способ заключается в переработке загрязненного примесями сырья — неочищенного рассола подземного растворения каменной соли, включающий выпаривание этого рассола на выпарной установке с получением суспензии, содержащей 30–40 % кристаллической соли, сгущение упаренной суспензии и промывку кристаллов поваренной соли исходным рассолом, возврат осветленного раствора на выпаривание со сбросом части этого раствора для вывода примесей, классификацию сгущенной суспензии в гидроцилиндре с возвратом сливного раствора гидроциклона на выпаривание, вторую промывку кристаллической соли из гидроциклона исходным рассолом, центрифугирование соли с возвратом фугата на выпаривание и сушку соли [4].

Описанным способом поваренную соль получают в результате непосредственной переработки неочищенного рассола, полученного при подземном растворении каменной соли и загрязненного примесями, в том числе и накипеобразующими. При этом исключена химическая

очистка рассола от примесей, а также термическая обработка рассола для осаждения из него примесей перед выделением поваренной соли. Неочищенный рассол, содержащий примеси, подается на многокорпусную выпарную установку, состоящую из четырех корпусов. В процессе выпаривания из рассола кристаллизуется поваренная соль, а также накипеобразующие примеси, главным образом сульфат и карбонат кальция. Однако ввиду того, что при выпаривании поддерживается специальный технологический режим, обеспечивается отсутствие отложений накипи на теплопередающих поверхностях и забивки солью теплообменных труб выпарных аппаратов. Это достигается тем, что в упаренной суспензии поддерживают концентрацию твердой кристаллической соли, равную 30–40 %. При этом в ней содержатся кристаллы накипеобразующих примесей, играющие роль затравки, на которых осаждаются выделяющиеся из рассола примеси. Поддержание указанного технологического режима позволяет выпарной установке работать без снижения производительности непрерывно в течение 15–30 суток. Применение для получения поваренной соли многокорпусной выпарной установки дает возможность существенно снизить энергозатраты и уменьшить себестоимость соли.

Упаренную суспензию, содержащую кристаллы поваренной соли и примесей, сгущают в отстойнике. При этом в осветленном растворе находятся кристаллы примесей, имеющие гораздо меньше, чем кристаллы поваренной соли размеры и потому уходящие с осветленным раствором. Осветленный раствор вместе с содержащимися в нем кристаллами примесей смешивается с исходным неочищенным рассолом и подается на выпаривание. В процессе выпаривания находящиеся в исходном рассоле кристаллы примесей играют роль затравки и предотвращают накипеобразование на трубках выпарных аппаратов. Часть осветленного раствора после сгущения упаренной суспензии, содержащая как растворенные, так и кристаллизовавшиеся примеси сбрасываются путем вывода из процесса. Тем самым из процесса выводятся избыточное количество приходящих с исходным неочищенным раствором примесей.

Сгущенная суспензия, в которой содержится около 50 % твердой фазы промывается исходным неочищенным рассолом путем смешения с ним так, чтобы концентрация твердой фазы в полученной суспензии была бы около 25 %. Эту суспензию классифицируют на гидроциклоне с возвратом сливного раствора гидроциклона на выпаривание. Поваренную соль, содержащуюся в сгущенной суспензии гидроциклона, вторично промывают исходным неочищенным рассолом, отделяют на центрифуге от раствора и сушат. Отфугованный от соли раствор возвращают на выпаривание.

Полученная изложенным способом пищевая поваренная соль имеет высокое качество, за исключением повышенного содержания кальция, которое для соли Аванского солекомбината достигает 0,1 % вместо 0,02 %,

допустимых для пищевой поваренной соли «Экстра» по ГОСТ 13830–91.

Недостаток известного способа состоит в том, что для вывода из процесса примесей, поступающих с исходным неочищенным рассолом, приходится сбрасывать часть упаренного раствора в канализацию, загрязняя окружающую среду. При этом сбрасываемый раствор является насыщенным по поваренной соли, что приводит к потере полезного продукта, составляющей 10–15 % от соли, находящейся в исходном рассоле.

Другим недостатком известного способа является недостаточная чистота получаемого готового продукта. Это проявляется в том, что содержание кальция в нем в 5 раз больше, чем требуется по стандарту.

Кроме того, недостатком известного способа является «зависание» соли на стенках отстойника при сгущении упаренной суспензии, содержащей кристаллы поваренной соли и примесей. Отмеченное явление приводит к ненадежной работе отстойника, нарушению режима отстаивания, следствием чего является загрязнение поваренной соли частицами примесей, в частности гипса и мела, вызывающее увеличение кальция в соли. Причина этого состоит в захвате мелких кристаллов примесей сгущенной в отстойнике крупнокристаллической солью, в результате чего такая поваренная соль обладает повышенной способностью к налипанию на стенки отстойника. Поэтому качество товарной соли снижается.

На основании изложенного видно, что применение способа не позволяет избежать сбросов промышленных отходов, загрязняющих окружающую среду и приводящих к потерям целевого продукта, а также не дает возможности получать пищевую поваренную соль высокого качества. Указанные недостатки могут быть устранены при осуществлении следующего изобретения. При этом достигаемым техническим результатом является улучшение качества товарной поваренной соли за счет снижения содержания примесей в ней, а также исключение сбросов промышленных отходов, полная их утилизация и повышение степени использования исходного сырья.

Изобретение представляет собой способ получения поваренной соли из загрязненного примесями сырья, например, из рассола подземного растворения каменной соли, включающий выпаривание этого рассола на выпарной установке с получением суспензии, содержащей 30–40 % кристаллической соли, сгущение упаренной суспензии и промывку кристаллов поваренной соли исходным рассолом с возвратом ответленного раствора на выпаривание, классификацию суспензии в гидроциклоне, вторую промывку кристаллической соли, центрифугирование соли с возвратом фугата на выпаривание и сушку соли.

Способ отличается тем, что классификации в гидроциклоне подвергают упаренную суспензию, которую разбавляют до концентрации кристаллической соли 10–20 %, сливной раствор гидроциклона делят на три части, одну из которых, равную 50–90 % от общего потока раствора на-

правляют на разбавление упаренной суспензии, другую часть, равную 7–25 % от общего потока направляют на выпаривание, из оставшейся третьей части сливного раствора отделяют твердую фазу, а маточным раствором производят вторую промывку кристаллической поваренной соли.

Способ отличается также тем, что 30–90 % маточного раствора выпаривают на отдельной стадии до полного выделения всех солей из раствора с последующим отделением их от раствора и сушкой.

Кроме того, способ отличается тем, что на отдельной стадии выпаривания часть упаренного раствора, составляющую 0,05–0,5 кг на 1 кг выделяемых солей, отделяют от упаренной суспензии и выводят из процесса.

Из приведенного выше краткого обзора следует, что галитовые отходы можно использовать для получения поваренной соли. Перспективным направлением является также внедрение методов комплексного использования сырья путем извлечения побочных компонентов — магния, брома, использования отходов для получения кормовой и технической соли и других продуктов.

Одной из трудностей переработки галитовых отходов хлорида натрия является переход в NaCl органических добавок, применяемых при проведении основного процесса и являющихся токсичными веществами.

Краткое описание технологии производства технического хлорида натрия из галитовых хвостов

По разработанной технологии получение технического хлорида натрия осуществляются следующим образом.

Галитовый отход со склада поступает в приемный бункер и ленточным дозатором подается в реактор-выщелачиватель, куда одновременно подается насыщенный раствор хлорида натрия в количестве обеспечивающем массовое соотношение в растворе-смесителе Ж:Т = 1:1.

Полученную суспензию разделяют на гидросепараторе от органики, образующихся на поверхности раствора — пленки, мелкой и легковзмучиваемой твердой части, а затем на ленточном вакуум-фильтре. Осадок промывают насыщенным раствором хлорида натрия, приготовленном на основе галитового отхода, которая после промывки

возвращается в начальную стадию процесса выщелачивание, т.е в реактор — выщелачиватель.

Промытые кристаллы хлорида натрия сушат, охлаждают и отправляют на склад для погрузки в автотранспорт.

Процесс переработки галитовых отходов на технический хлорид натрия состоит из следующих стадий:

- растворение галитовых отходов в насыщенном растворе хлорида натрия;
- отделение органической части и нерастворимого остатка на гидросепараторе;
- фильтрация пульпы;
- промывка осадка хлорида натрия с насыщенным раствором хлоридом натрия;
- отстаивание суспензии, образующихся после гидросепарирования и ее осветление;
- сушка, охлаждение и погрузка хлорида натрия в автотранспорт.

Преимущества рекомендованной технологии по сравнению с существующими

Основными преимуществами разработанной технологии переработки галитовых отходов по сравнению с существующими являются:

- простота технологической схемы;
 - простота изготовления технологического оборудования и его эксплуатации;
 - низкие теплоэнергетические затраты;
 - высокая степень использования галитового отхода;
 - низкая себестоимость готового продукта;
 - возврат выщелоченного хлорида калия в основное производство;
 - снижение затрат на перевозку галитовых отходов в хвостохранилище;
 - экономия горюче-смазочных материалов;
 - повышает степень извлечения хлорида калия на 5–7 %;
- Осуществление данной технологии позволит кроме получения товарного технического хлорида натрия, ежегодно дополнительно получать из галитовых отходов свыше 3 тыс. т хлорида калия и повысить степень извлечения хлорида калия с 85 до 90–92 %.

Литература:

1. Технология калийных удобрений. Под общей редакцией В. В. Печковского. Издание второе, переработанное. Минск. — Высшая школа. — 1978. — 304 с.
2. Фурман, А. А. и др. Поваренная соль. Производство и применение в химической промышленности. М.: Химия, 1980. — 272 с.
3. Патент РФ. № 2050322 Давыдов А. В., Забарских Б. Н., Хаустов Н. А. Способ получения хлористого калия. Оpubл. 20.12.1995.
4. Патент РФ. № 2157356 Сафрыгин Ю. С., Букша Ю. В., Осипова Г. В., Тимофеев В. И., Терентьева Г.И., Поликса А. М., Чистяков А. А., Коноплев Е. В., Гнип В. А., Махнев В. б., Фролов Н. П., Альжев И. А. Способ получения хлористого калия. Оpubл. 10.10.2000.

Исследование процесса конверсии хлорида калия с нитратом аммония в зависимости от технологических параметров

¹Рахматов Худоёр Бобониевич, кандидат химических наук, зав. кафедрой

²Самадий Муроджон Абдусалимзода, ассистент

¹Джураева Шохиста Дилмурадвна, старший преподаватель

¹Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

²Ташкентский химико-технологический институт (Узбекистан)

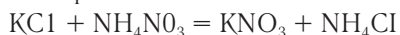
Калийно-аммиачная селитра, выпускаемая в довольно значительном количестве в ряде зарубежных стран, содержит 16–16,5 % N и 25 % K₂O. Ее изготавливают следующими способами:

1) механическим смешением сухих или увлажненных нитрата аммония и хлорида калия;

2) совместным выпариванием растворов нитрата аммония и хлорида калия;

3) введением в концентрированный раствор или плаву аммиачной селитры тонкоизмельченного хлорида калия с последующим гранулированием плава в грануляционных башнях. Последний способ представляет наибольший интерес, так как позволяет получить более однородное по составу удобрение [1].

При получении калийно-аммиачной селитры по любому способу в той или иной мере протекает реакция обменного разложения:



Получаемый продукт содержит тесно сросшиеся кристаллы KNO₃ и NH₄Cl. В результате образования KNO₂ — почти не гигроскопичной соли, — калийно-аммиачная селитра имеет лучшие физические свойства, чем чистый нитрат аммония.

В зависимости от условий приготовления калийно-аммиачная селитра содержит различное количество KNO₃. При механическом смешении увлажненных компонентов (2 % влаги) образуется около 7 % KNO₃, в случае совместного выпаривания растворов нитрата аммония и хлорида калия реакция образования KNO₃ протекает почти нацело.

При смешении плава аммиачной селитры, состоящего из 45 вес. ч. нитрата аммония и 5 вес. ч. воды, с 55 вес. ч. размолотого хлорида калия, около 88 % нитрата аммония превращается в KNO₃. При этом получается сухое рассыпчатое удобрение, которое не слеживается и легко рассеивается.

Производство нитрата калия конверсионным способом основано на обменном разложении:

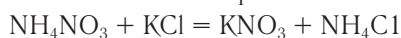


Диаграмма растворимости в системе NH₄NO₃ + KCl = KNO₃ + NH₄Cl показывает, что поле кристаллизации KNO₃ сильно увеличивается при понижении температуры. Поэтому легко подобрать условия, обеспечивающие кристаллизацию большей части KNO₃ при охлаждении концентрированного раствора, полученного смешением NH₄NO₃ и KCl. Использование этого способа затрудня-

ется необходимостью после выделения KNO₃ выпаривания раствора хлористого аммония, интенсивно разрушающего выпарные аппараты. Кроме того, потребность в хлористом аммонии относительно невелика, как удобрение хлористый аммоний имеет весьма ограниченное применение.

Изучено [2] взаимодействие нитрата аммония (NH₄NO₃), плава карбамида (CO(NH₂)₂) с хлоридом калия (KCl). Исследование проводили методом дифференциально-термического анализа (ДТА) от комнатной температуры до 400 °С. Приготовлены механические смеси NH₄NO₃, CO(NH₂)₂, и KCl в различных соотношениях исходных компонентов, которые затем расплавили на специальной установке. Температура плавления смесей была ниже по сравнению с температурой плавления исходных компонентов и составляла 80 °С. Дериватограммы образцов с соотношением компонентов 1:1:1 и 1:3:1 (соотношение N:K 1:1) показали их стабильность вплоть до начала температуры плавления 75 °С. Отсутствие фазовых переходов нитрата аммония IV III II объясняется образованием твердого раствора в системе нитрата аммония, нитрата калия (образующегося в плаве в результате обменной реакции между нитратом аммония и хлоридом калия) и образованием эвтектики в системе нитрата аммония-карбамид, что хорошо согласуется с литературными данными.

Физико-химической основой процесса конверсии послужила диаграмма растворимости системы K⁺; NH₄⁺ // Cl⁻; NO₃⁻ - H₂O, из которой следует, что конверсия начинается при введении в систему насыщенного нитрата аммония и хлорида калия. Максимальной конверсии можно достичь лишь при повышенных температурных условиях.

Для исследования использовали кристаллический нитрат аммония и хлорид калия. Опыты проводили в круглодонной колбе, снабженной мешалкой, в которую загружали 7,11 г KCl, 6,59 г NH₄NO₃ и 11,30 г H₂O. Колбу с раствором помещали в термостат с заданной температурой и интенсивно перемешивали. Через определенный промежуток времени проводили анализы химического состава жидкой и твердой фаз. Из результатов анализов следует, что степень конверсии зависит от температуры и увеличивается с ее ростом [3].

Процесс в основном заканчивается в течение 60 минут, при этом степень конверсии при 50, 75 и 100 °С составляет соответственно 66,0, 74,8 и 95,6 %. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса практически не

Таблица 1. Зависимость степени конверсии нитрата аммония с хлоридом калия от температуры и продолжительности процесса

Температура, °С	Время, мин	Степень конверсии, %	Содержания, нитрата калия в жидкой фазе, %
50	30	45,6	40,41
50	60	66,0	48,81
50	90	67,2	49,48
75	30	50,8	43,56
75	60	74,8	51,66
75	90	75,0	53,82
100	30	80,9	54,00
100	60	95,6	58,76
100	90	96,3	59,14

приводит к повышению степени конверсии. При 100 °С выход по калию достигает 55,53 %.

Из таблицы видно, что температура и время конверсии нитрата калия из хлорида калия и нитрата аммония играет ключевую роль. При температуре 50°С степень конверсии составляет в 30 мин 45,6 %, в 60 минут конверсия 66 % и 90 минут конверсия 67,2 %. При такой температуре проведение конверсии не дает экономический эффект. При температуре 75°С степень конверсии составляет в 30 мин конверсии 50,8 %, в 60 минут конверсии 74,8 % и 90 минут конверсии 75 %. Здесь можно увидеть положительное влияние температуры на конверсию. При температуре 100°С степень конверсии составляет в 30мин конверсии 80,9 %, в 60 минут конверсии 95,6 % и 90 минут конверсии 96,3 %. Анализируя эти данные, можно сделать вывод, что получение нитрата калия в промышленных мас-

штабах вполне приемлемо и нитрат калия имеет большой спрос как на отечественном, так и на зарубежном рынках.

Физико-химические свойства готовой продукции.

На рис. 1 и 2 представлены дифрактограммы и ИК-спектры нитрата калия.

По лабораторным данным разработана принципиальная блок-схема технологии производства нитрата калия и составлен материальный баланс на производство 1-ой тонны нитрата калия конверсионным методом.

Технологическая схема получения нитрата калия включает следующие операции:

1. Растворение хлористого калия в горячем растворе.
2. Фильтрация полученного раствора в целях отделения нерастворимых примесей.
3. Обменное разложение между KCl и NH₄NO₃ с получением раствора KNO₃.

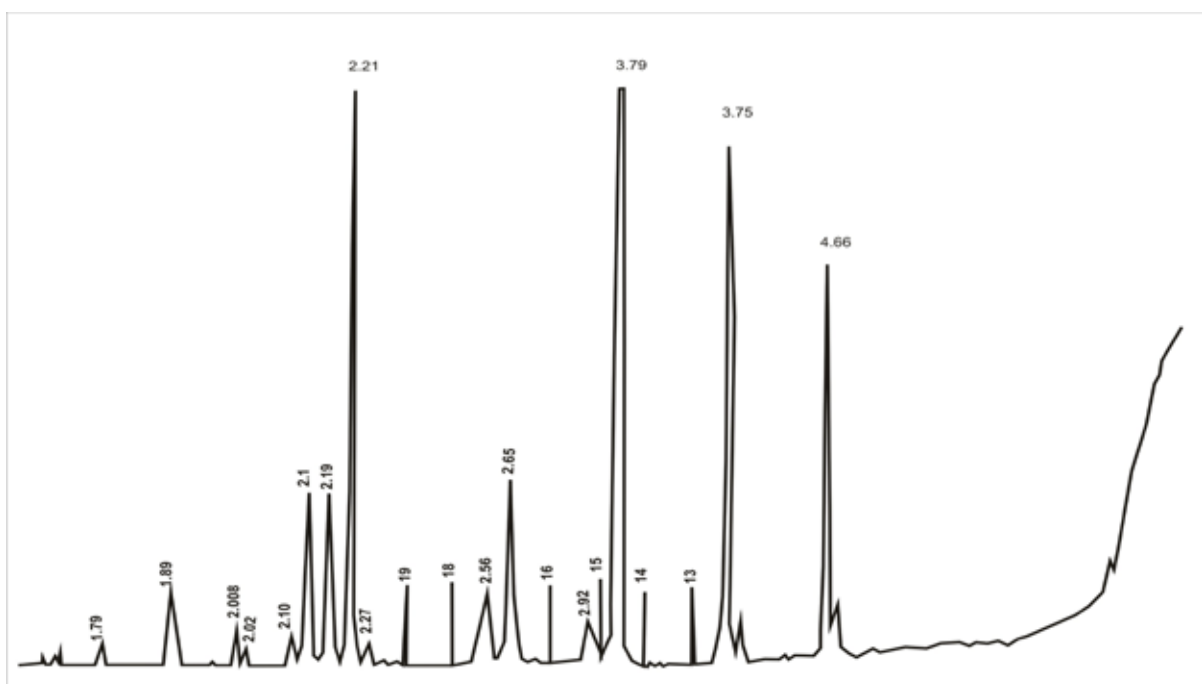


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма нитрата калия, полученного конверсией хлорида калия с нитратом аммония

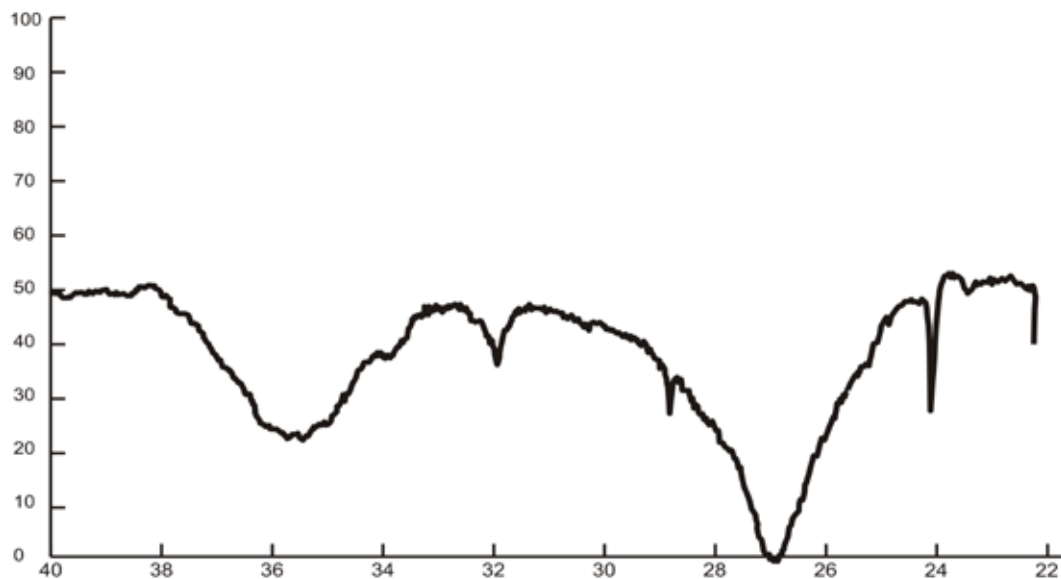


Рис. 2. ИК-спектр нитрата калия, полученного конверсией хлорида калия с нитратом аммония

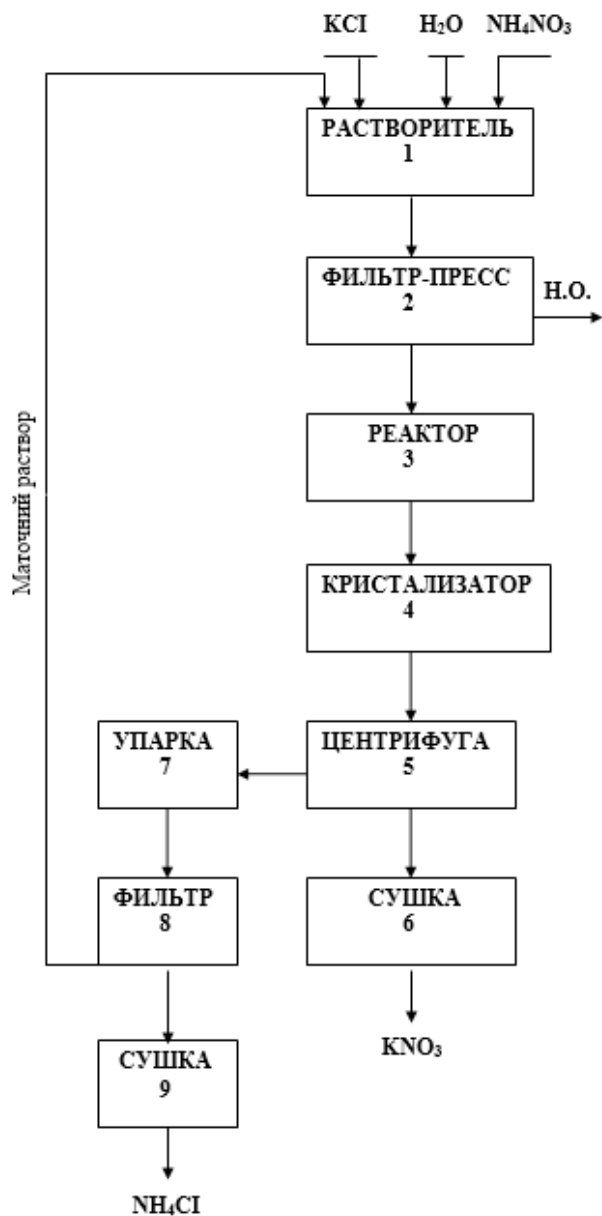
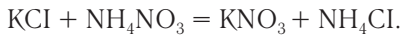


Рис. 3. Принципиальная блок-схема технологии производства нитрата калия конверсионным методом



4. Охлаждение полученного раствора в целях кристаллизации нитрата калия.
5. Отделение кристаллов нитрата калия методом центрифугирования.
6. Сушка полученного нитрата калия.

7. Маточный раствор после отделения нитрата калия подвергается упарке с целью отделения от маточника хлорида аммония.
8. Выделение из маточного раствора выпавших кристаллов NH_4Cl .
9. Сушка выделенного хлорида аммония.



Рис. 4. Материальный баланс получения нитрата калия конверсионным методом из хлорида калия Тюбегатанского месторождения и нитрата аммония местного производства.

Литература:

1. Химическая энциклопедия: в 5 т., т. 3 // Под общ. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Сов. энцикл., 1992. — 639с
2. Исследование взаимодействия в системе плавкости карбамид-хлорид калия-нитрата аммония. Ершенко Н. А., Таранушич В. А. Всероссийская научно-техн. конф. По тех. ТНВ, Казан — Менделеевск, 19–22 июня, 2001. Казан. 211–212.
3. Самадий, М., Мирзакулов Х. Ч., Кучаров Б., Хужамкулов С. Разработка технологии получения нитрата калия конверсионным методом на основе местного сырья. // Аналитик киме фанининг долзарб муаммолари — 2010: III-Республиканская научно-техническая конференция. 31–23 апреля 2010. — Термиз, 2010. с. 226–227.

Исследование процесса конверсии хлорида калия с нитратом кальция

¹Рахматов Худоёр Бобониёзович, кандидат химических наук, зав. кафедрой;

²Самадий Муроджон Абдусалимзода, ассистент;

¹Джураева Шохиста Дилмурадовна, старший преподаватель

¹Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

²Ташкентский химико-технологический институт (Узбекистан)

Для экспериментов использовали хлорид калия Тюбегатанского месторождения и нитрат кальция, полученного из промышленных отходов азотно-туковых заводов [1 и 2].

Опыты по конверсии нитрата калия из хлорида калия и нитрата кальция проводили в лабораторной установке, состоящей из стеклянного кварцевого реактора с мешалкой и электрическим подогревом. Температуру конверсии в реакторе поддерживали с помощью контактного термометра ТК-300, с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Скорость вращения и температура непрерывно регулировались.

Для исследования использовали кристаллический хлорид калия и нитрат калия. Опыты проводили в круглодонной колбе, на мешалке с подогревом, в которую загружали 20,54 г KCl, 24,59 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и 54,86 г H_2O . Колбу с хлоридом калия и водой растворяли в магнитной мешалке при 66°C , потом добавляли нитрат кальция. Кон-

версию проводили в течение 60 мин. После конверсии раствор охлаждали с целью извлечения из раствора нитрата калия. По полученному нитрату калия проводили анализы химического состава жидкой и твердой фаз. Из результатов анализов следует, что степень конверсии хлорида калия с нитратом кальция зависит от температуры и увеличивается с ее ростом.

Эксперименты по конверсии нитрата калия из хлорида калия и нитрата кальция проводили при больших температурных интервалах. По экспериментальным данным установили оптимальную температуру 66°C . Процесс в основном заканчивается в течение 60 минут: при этом степень конверсии при 25, 40, 66 и 100°C составляет соответственно 52,0, 72,6, 96,7 97,1 %. Оптимальная температура 66°C и дальнейшее увеличение продолжительности процесса практически не приводит к повышению степени конверсии. При 66°C выход по калию достигает 33,45 %.

Таблица 1. Влияние соотношение KCl: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ на плотность суспензии при различных температурах

	20	40,2	60	80
0,9; 1	1,557	1,540	1,527	1,506
1; 1,19	1,488	1,467	1,453	1,438
1; 23	1,420	1,400	1,382	1,367
1; 2	1,351	1,331	1,314	1,300
1; 5	1,289	1,276	1,263	1,256

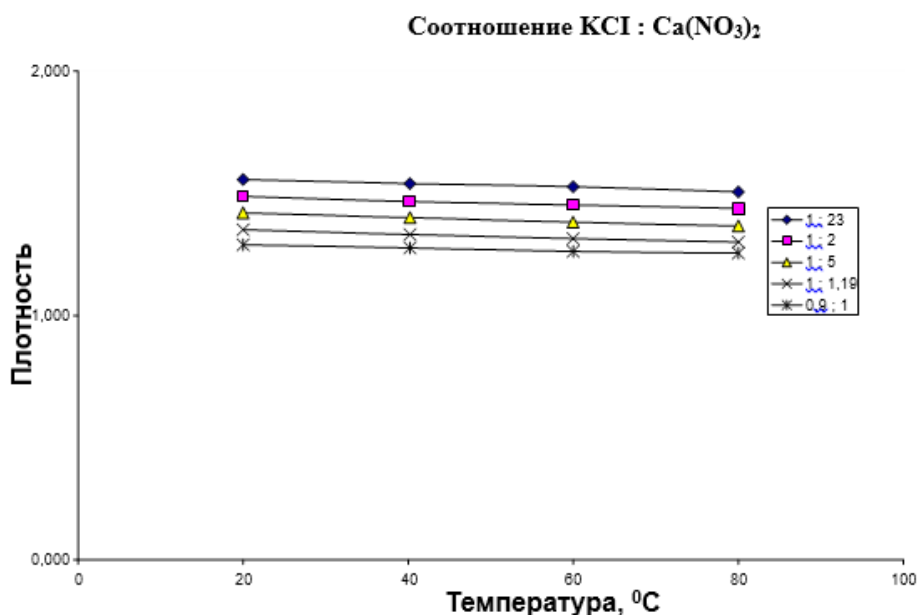


Рис. 1. Влияние температуры конверсии на плотность суспензии при различных соотношениях KCl: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

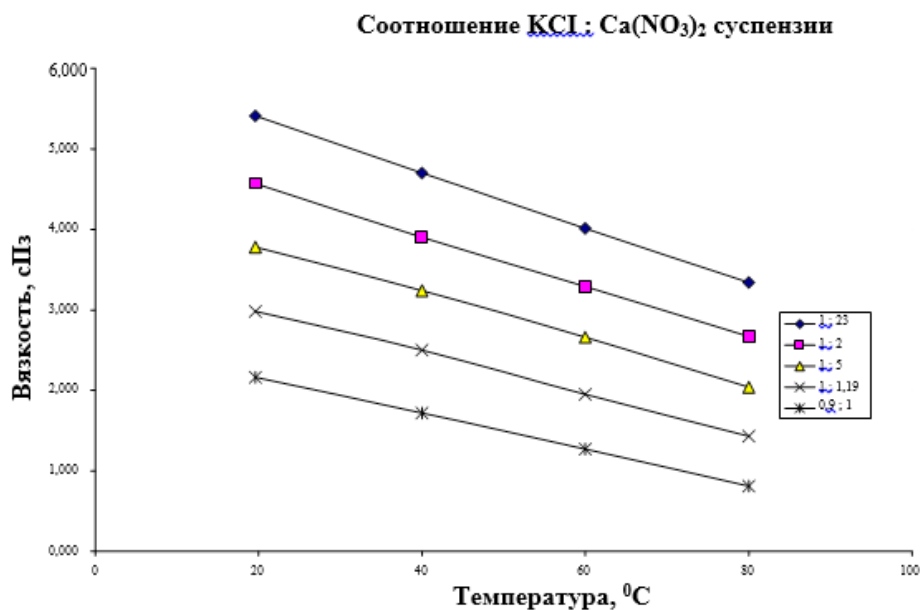


Рис. 2. Влияние температуры конверсии на плотность суспензии при различных соотношениях KCl: Ca(NO₃)₂.

Соотношение KCl: Ca(NO₃)₂ играет ключевую роль в конверсии нитрата калия. Нами было проведено детальное изучение, влияние и соотношение в широком интервале. В соотношении KCl: Ca(NO₃)₂ 1: 0,3 в осадок упал до 5,6 г.

Таблица 2. Влияние соотношения KCl: Ca(NO₃)₂ на плотность суспензии при различных температурах.
Влияние соотношения KCl: Ca(NO₃)₂ на вязкость суспензии

	20	40	60	80
1; 23	5,410	4,700	4,010	3,340
1; 2	4,570	3,900	3,290	2,670
1; 5	3,780	3,240	2,660	2,040
1; 1,19	2,980	2,500	1,950	1,430
0,9; 1	2,160	1,720	1,270	0,810

Влияние соот. KCl : Ca(NO₃)₂ маточник

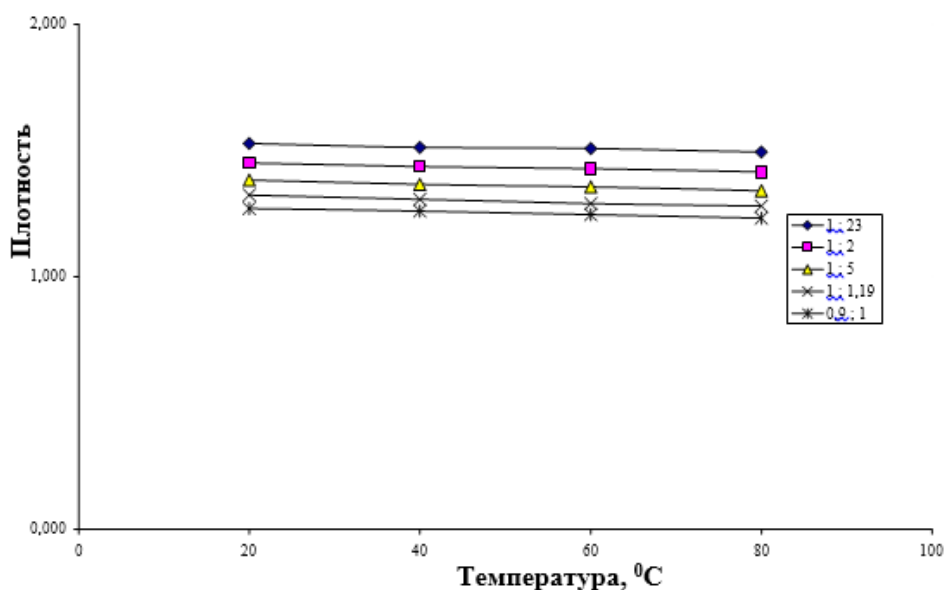


Рис. 3. Влияние температуры конверсии на плотность суспензии при различных соотношениях KCl: Ca(NO₃)₂

Таблица 3. Влияние соотношения KCl: Ca(NO₃)₂ на плотность суспензии при различных температурах.
Влияние соотношения KCl+Ca(NO₃)₂ на плотность маточника

	20	40	60	80
1; 23	1,527	1,512	1,507	1,494
1; 2	1,450	1,436	1,427	1,414
1; 5	1,382	1,365	1,355	1,340
1; 1,19	1,323	1,306	1,289	1,279
0,9; 1	1,270	1,260	1,245	1,231

Влияние соот. KCl: Ca(NO₃)₂ маточник

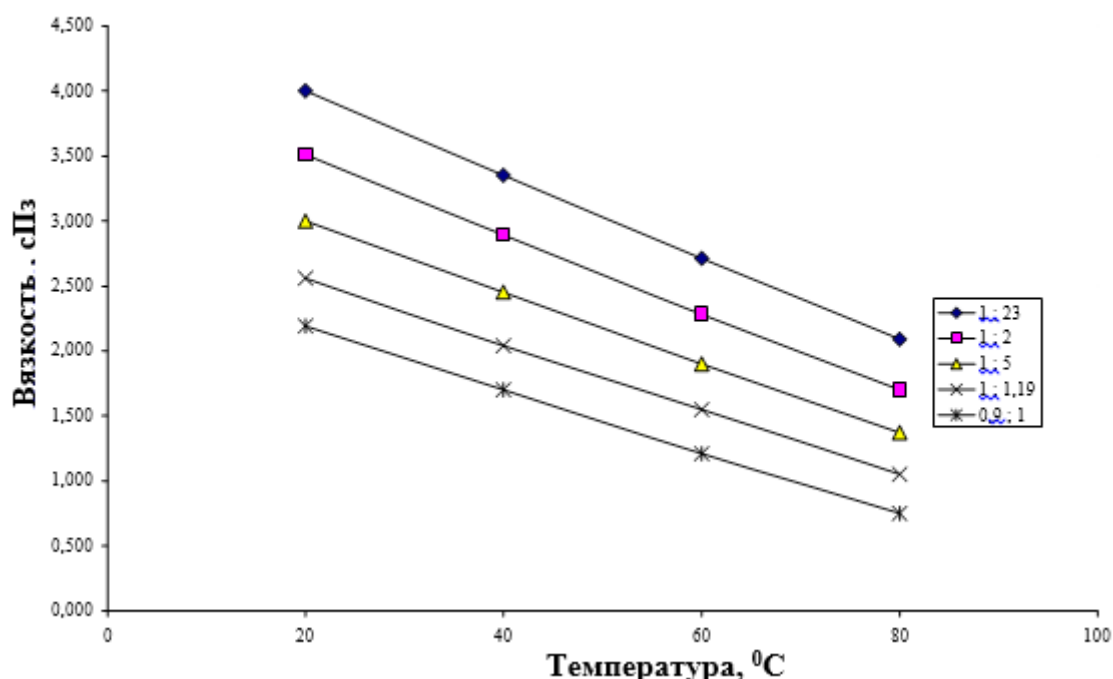


Рис. 4. Влияние температуры конверсии на плотность суспензии при различных соотношениях KCl: Ca(NO₃)₂

Таблица 4. Влияние соотношения KCl: Ca(NO₃)₂ на плотность суспензии при различных температурах.
Влияние соотношения KCl+Ca(NO₃)₂ на вязкость маточника

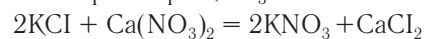
	20	40	60	80
1; 23	4,000	3,350	2,710	2,090
1; 2	3,510	2,890	2,280	1,700
1; 5	3,000	2,450	1,900	1,370
1; 1,19	2,560	2,040	1,550	1,050
0,9; 1	2,190	1,700	1,210	0,750

По лабораторным данным была разработана принципиальная блок-схема технологии производства нитрата калия и составлен материальный баланс на производство 1-ой тонны нитрата калия конверсионным методом.

Технологическая схема получения нитрата калия включает следующие операции:

1. Растворение хлористого калия в горячем растворе.
2. Фильтрация полученного раствора с целью отделения нерастворимых примесей.

3. Обменное разложение между KCl и Ca(NO₃)₂ с получением раствора KNO₃.



4. Охлаждение полученного раствора в целях кристаллизации нитрата калия.

5. Отделение кристаллов нитрата калия методом центрифугирования.

6. Сушка полученного нитрата калия.

7. Маточный раствор после отделения нитрата калия подвергается упарке с целью отделения от маточника хлорида аммония.

8. Выделение из маточного раствора выпавших кристаллов CaCl_2 .

9. Сушка выделенного хлорида кальция.

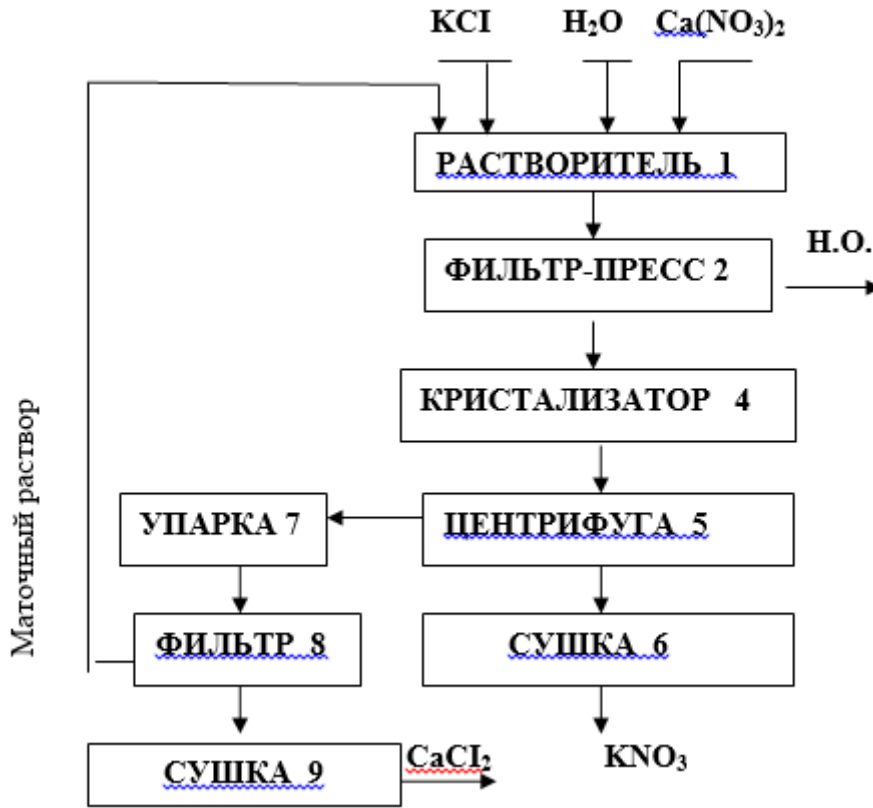


Рис. 3. Принципиальная блок-схема технологии производства нитрата калия конверсионным методом

Материальный баланс конверсии нитрата калия с хлоридом калия и нитратом кальция на 1 т. готовой продукции.

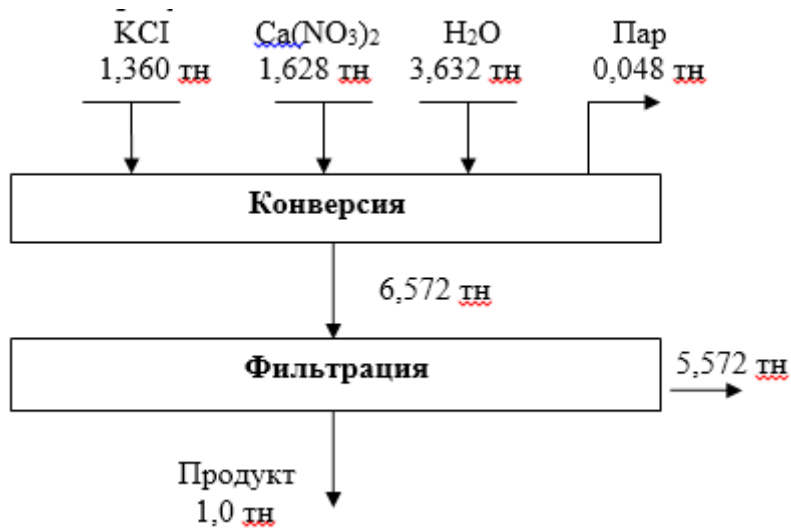


Рис. 4. Материальный баланс получения нитрата калия конверсионным методом из хлорида калия и нитрата кальция

Литература:

1. Безотходная технология получения нитрата калия на основе растворов. Дормешкин О. Б., Воробев Н. И., Новек Д. М. Белорусский государственный технологический университет. Хим.пром-сть, 2005. № 8. с375–381.

2. Самадий, М., Мирзакулов Х. Ч., Кучаров Б., Хужамкулов С. Разработка технологии получения нитрата калия конверсионным методом на основе местного сырья. // Аналитик киме фанининг долзарб муаммолари — 2010: III-Республиканская научно-техническая конференция. 31–23 апреля 2010. — Термиз, 2010. с. 226–227.

Сорбционная активность свежловичного жома по отношению к ионам свинца

Рябинина Елена Ивановна, кандидат химических наук, доцент;
 Зотова Елена Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент;
 Пономарева Наталия Ивановна, доктор химических наук, профессор;
 Тимашова Анастасия Александровна, студент;
 Андреева Наталья Александровна, студент
 Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

В статье представлены результаты исследования сорбционной активности свежловичного жома, активированного угля и полифепана по отношению к катионам свинца. Показано, что свежловичный жом связывает значительно сильнее Pb^{2+} , что обусловлено наличием пектина, обладающего гидрофильными и комплексообразующими свойствами по сравнению с гидрофобными исследуемыми энтеросорбентами.

Ключевые слова: сорбция, свежловичный жом, полифепан, активированный уголь, свинец.

Загрязнение окружающей среды химическими элементами приводит к избыточному их поступлению в организм человека, что пагубно влияет на здоровье людей. Поиск соединений с высокой сорбционной активностью по отношению к токсическим соединениям и разработка на их основе новых лекарственных препаратов являются важными задачами современной экспериментальной фармакологии и фармации. Среди веществ, связывающих химические элементы и токсические соединения, вызывают интерес пищевые волокна, в частности пектин. Препараты на его основе применяются в качестве энтеросорбентов (Фитосорбовит, Полисорбовит-50, Полисорбовит-95). Однако, производство пектина дорогой и трудоемкий процесс [1]. Мы предлагаем использовать в качестве энтеросорбента свежловичный жом. Существенным преимуществом использования свежловичного жома в качестве основы для создания энтеросорбента, является доступность сырья, меньшая сложность технологического процесса получения.

Цель работы — изучить металлсвязывающую активность и провести сравнительный анализ сорбционной способности свежловичного жома и лекарственных препаратов из группы энтеросорбентов по отношению к ионам свинца.

Объектом исследования являлись энтеросорбенты: активированный уголь (ОАО «Ирбитский химфарм завод»), полифепан (ЗАО «Сайнтекс»), а также свежловичный жом, полученный после переработки плодов и высушенный естественным путем. Ионы свинца брали в виде солей $Pb(NO_3)_2$, используя реактив квалификации «х.ч». Количественный анализ катионов свинца в растворе проводили титриметрическим методом по следующей методике. В колбу для титрования отбирали мерной пипеткой 2 мл анализируемого раствора, добавляли 0,1–0,2 г сухого уротропина до рН =

5,0, три капли индикатора ксиленолового оранжевого и титровали стандартным раствором ЭДТА (0,025 М) до перехода фиолетовой окраски в лимонно-желтую [2].

Важнейшими характеристиками сорбентов являются величина сорбционной емкости и время достижения сорбционного равновесия.

Кинетику сорбции исследовали методом ограниченного объема раствора. Для получения кинетических кривых сорбции в серию пробирок помещали навески (m) адсорбента по 1 г, заливали их 0,05 л (V) водного раствора соли исследуемого металла и выдерживали от 5 мин до 1 ч. Начальная концентрация (C_0) ионов металлов составляла 0,025 моль/л. Через определенные промежутки времени раствор отделяли от сорбента и выявляли в нем текущую концентрацию ионов металла (C_T) титриметрическим методом. Сорбционную емкость сорбентов (A_T) в каждый данный момент времени рассчитывали по формуле:

$$A_T = \frac{(C_0 - C_T) \cdot V}{m}$$

Степень извлечения (α) определяли следующим образом:

$$\alpha = \frac{C_0 - C_T}{C_0} \cdot 100\%$$

На рис. 1. представлена зависимость сорбционной емкости сорбентов в каждый момент времени в отношении ионов свинца.

По полученным данным была рассчитана связывающая активность сорбентов, т. е. степень извлечения ионов свинца (рис. 2). Изучение скорости сорбционных процессов показало, что связывание ионов свинца свежловичным жомом, происходит достоверно быстрее, чем активированным углем и полифепаном.

Через 5 мин 1 г свекловичного жома связывает в среднем 23,88 % свинца, активированный уголь — 4,54 %, а полифепан всего 1,16 %. Таким образом, процент связывания ионов свинца в первые 5 минут свекловичным жомом в 5 раз больше, чем активированным углем

и в 20 раз, чем полифепаном. Однако, через 10 мин степень извлечения свинца свекловичным жомом в 2,6 раза больше, чем активированным углем и в 8,7 раз, чем полифепаном, через 15 мин соответственно в 3 и 6 раз, через 20 мин — 3 и 5 раз, через 60 мин — 3 и 5 раз.

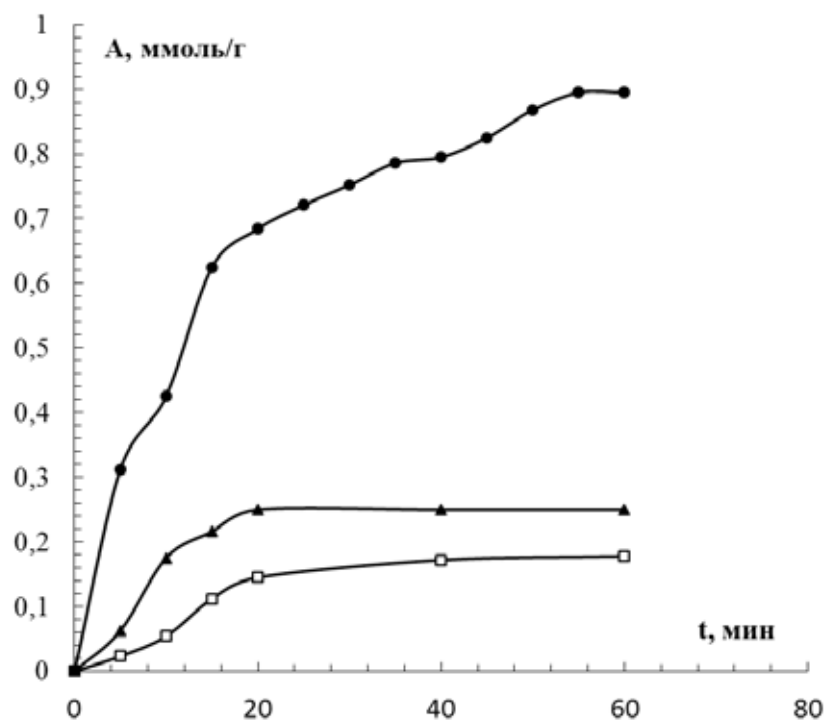


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов свинца энтеросорбентами:
● — свекловичный жом; □ — полифепан; ▲ — активированный уголь

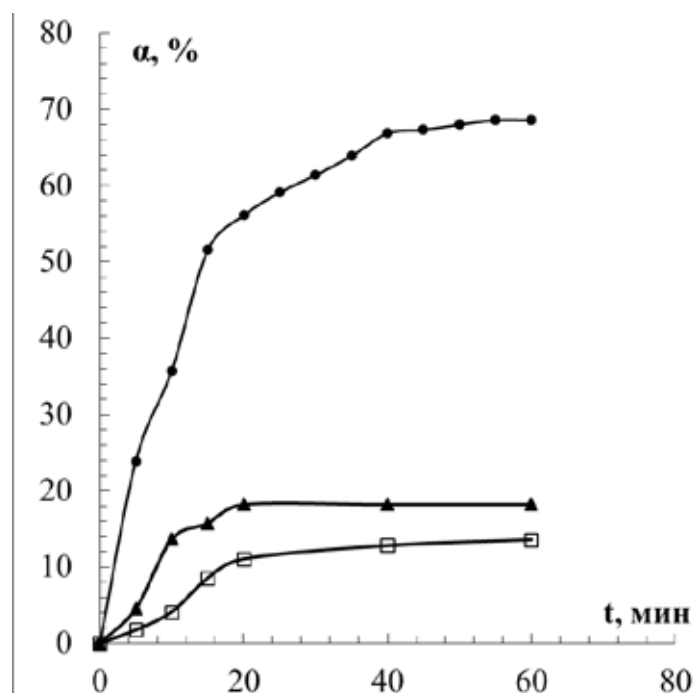


Рис. 2. Степень извлечения ионов свинца энтеросорбентами:
● — свекловичный жом; □ — полифепан; ▲ — активированный уголь

Полученные данные свидетельствуют, что активированный уголь и полифепан, имея гидрофобную поверхность, обладают малым сродством к молекулам воды и гидратированным ионам [3]. Высокая сорбционная активность свежловичного жома, обусловленная наличием пектина, физические свойства которого проявляются как гидрофильный коллоид и поэтому обладающего большим сродством к молекулам воды и гидратированным ионам, а также за счет наличия в составе пектина карбоксильных

и гидроксильных групп галактуроновой кислоты способствующих хелатообразованию с ионами d- металлов [3, 4]. Максимальное количество свинца, которое может быть связано 1 г сорбента составляет: полифепан — 36,88 мг/г, активированный уголь — 51,8 мг/г, свежловичный жом — 185,44 мг/г. Таким образом, свежловичный жом, может быть рекомендован в качестве детоксиканта ионов свинца, что предполагает разработку лекарственной формы на его основе.

Литература:

1. Рябина, Е. И. Влияние щавелевой кислоты на выход пектина из яблочных и цитрусовых выжимок / Е. И. Рябина, Е. Е. Зотова, Н. И. Пономарева, И. П. Чурилова // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2015 г.: в 13 частях. Часть 6; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. — с. 126–127.
2. Харитонов, Ю. Я. Аналитическая химия. Количественный анализ. Физико-химические методы анализа: практикум: учеб. пособие / Ю. Я. Харитонов, Д. Н. Джабаров, В. Ю. Григорьева. — М.: ГЭОТАР — Медиа, 2012. — 368 с.: ил.
3. Рябина, Е. И. Активность энтеросорбента полифепана по отношению к катионам некоторых d — металлов / Е. И. Рябина, Е. Е. Зотова, Н. И. Пономарева, А. А. Тимашова, Н. А. Андреева // Прикладные информационные аспекты медицины. — 2014. — Т.17, № 2. — с. 87–91.
4. Николаев, В. Г. Современные энтеросорбенты и механизмы их действия / В. Г. Николаев, С. В. Михаловский, Н. М. Гурина // Эфферентная терапия. — 2005. — Т.11, № 4. — с. 3–17.

ИНФОРМАТИКА

Обучающаяся система управления движением для 3D модели многоногого робота

Демин Александр Викторович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
Институт систем информатики имени А. П. Ершова СО РАН (г. Новосибирск)

Введение

Шагающие роботы уже на один десяток лет вызывают повышенный интерес со стороны ученых и инженеров-робототехников [1–2]. Одна из причин такого внимания — это исключительные возможности передвижения по пересеченной местности по сравнению с традиционными колесными или гусеничными роботами. Действительно, подобные роботы способны передвигаться по неровным поверхностям, перешагивать препятствия, пересекать овраги, шагать по лестницам и даже, при соответствующей конструкции, карабкаться по стенам и деревьям. Многоногие роботы с тремя и более парами ног представляют особый интерес, поскольку они, во-первых, статически устойчивы, а во-вторых, более надежны, поскольку потеря одной или нескольких конечностей для таких роботов не является фатальной.

Однако обратной стороной указанных преимуществ является значительная сложность управления подобными роботами, связанная с наличием большого количества управляемых степеней свободы (гиперизбыточность). По этой причине даже непосредственное ручное управление человеком подобной машиной невозможно. Это означает, что шагающая машина, даже в случае ручного управления человеком, все равно должна обладать автоматической системой управления движением, хотя бы на уровне контроля и координации работы ног.

В настоящее время системы управления шагающими роботами в основном конструируются вручную. При таком подходе разработчик старается заранее предусмотреть и запрограммировать все возможные формы передвижения и ситуации, когда их необходимо применять. Однако из-за наличия большого количества степеней свободы вручную задать сенсорно-моторную функцию, определяющую траектории движения всех конечностей с учетом показаний сенсоров, а также учесть все виды поверхностей, по которым может передвигаться робот, достаточно сложно.

Особенно тяжело предусмотреть возможность адаптации в случае неожиданного изменения окружающей среды или поломки отдельных частей робота. Поэтому становится актуальной разработка способов автоматического порождения системы управления на основе различных моделей обучения.

Однако использование популярных методов, таких как обучение с подкреплением (Reinforcement Learning), напрямую для генерации систем управления гиперизбыточными роботами оказывается затруднительным по причине наличия большого количества степеней свободы у подобных роботов. Поэтому в настоящее время многие разработчики в основном отдают предпочтение эволюционным методам, в частности, генетическим алгоритмам и генетическому программированию, а также их комбинациям со стандартными методами обучения [3–6].

Но применение эволюционных методов также имеет недостатки, основными из которых являются следующие [7]. Во-первых, это существенное время, требуемое на проведение вычислений, поскольку на каждом эволюционном шаге каждое решение из популяции требует оценки эффективности способа перемещения. Во-вторых, это практическая невозможность применения данного метода для адаптации в условиях реальной работы, поскольку для работы метода необходимо наличие популяции роботов.

В данной работе предлагается обучающаяся система управления, использующая логико-вероятностный метод извлечения знаний для генерации правил управления на основании опыта взаимодействия системы с окружающей средой [8–10]. Особенностью предлагаемого подхода является использование свойств симметрии в конструкции робота для построения системы управления и ее обучения. Действительно, многоногие роботы обычно имеют симметричную морфологию, которая позволяет функционально разбить конструкцию робота на модули таким образом, что подсистема управления каждого из них будет

контролировать только одну пару конечностей. При этом правила управления схожими парами конечностей могут в большой степени совпадать либо вообще быть идентичными. Чтобы эффективно использовать подобные свойства симметрии модулей, в данной работе предлагается специальный метод поиска управляющих правил, который в первую очередь пытается найти правила, общие для всех модулей, а уже затем специфицировать их для каждого конкретного модуля в отдельности. Эффективность подхода оценивается на примере обучения способом передвижения виртуальной модели многоногого робота.

3D симулятор многоногого робота

Для проведения экспериментов с предложенной моделью управления был разработан интерактивный 3D-симулятор с графическим интерфейсом. Основное назначение программы — проведение экспериментов по управлению роботами в среде, приближенной к реальному миру. Программа обладает возможностями визуализации виртуальной среды и записью экспериментов в видео-файл. В качестве физического движка в симуляторе используется библиотека Open Dynamic Library (ODE) [11], которая позволяет моделировать динамику твердых тел с различными видами сочленений. Преимуществом данной библиотеки является скорость, высокая стабильность интегрирования, а также встроенное обнаружение столкновений.

Модель многоногого робота представлена в симуляторе в виде конструкции из шести одинаковых модулей, связанных друг с другом жесткими сочленениями (рис. 1). Каждый модуль имеет пару Г-образных ног с правой и левой стороны соответственно. Таким образом, суммарно робот имеет двенадцать ног-конечностей. Каждая нога соединена с модулем при помощи универсального сочленения, имеющего два угловых двигателя, которые позволяют вращать ногу в суставе в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В целом, конструкция робота напоминает своим видом биологических многоножек и позволяет реализовать характерные для данного вида способы передвижения.

Модель обучающейся системы управления

Для создания системы управления модульными роботами предлагается использовать нейронные сети, состоящие из обучаемых логических нейронов, каждый из которых управляет отдельным модулем робота.

Логические нейроны функционируют в дискретном времени $t = 0, 1, 2, \dots$. Каждый нейрон содержит некоторый набор входов $input_1, \dots, input_k$, принимающих действительные значения, и один выход $output$, принимающий значения из заранее заданного набора $\{y_1, \dots, y_m\}$. В каждый момент времени t на входы нейрона подается входящая информация путем присвоения входам некоторых действительных значений $input_1 = x_1, \dots, input_k = x_k$, $x_1, \dots, x_k \in \mathbb{R}$. Результатом работы нейрона является выходной сигнал $output = y$, $y \in \{y_1, \dots, y_m\}$, принимающий одно из возможных значений $\{y_1, \dots, y_m\}$.

После того, как отработают все нейроны сети, от внешней среды поступает награда. Функция награды задается в зависимости от конечной цели и служит оценкой качества управления. Задачей системы управления является обнаружение таких закономерностей функционирования нейронов, которые бы обеспечивали получение максимальной награды.

Множество закономерностей, определяющих работу нейронов, предлагается искать в виде логических закономерностей с оценками, имеющих следующий вид:

$$\forall i(P(i), X_1(i), \dots, X_m(i), Y(i) \rightarrow r), \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$ — переменная по объектам — индексам нейронов.

$X_j(i) \in \mathbb{X}$ — предикаты из заданного множества входных предикатов \mathbb{X} , описывающих входы j нейронов N_i ($i = 1, \dots, n$). К примеру, в простейшем случае данные предикаты могут быть заданы как $X_j(i) = (input_k(i) = x_r)$, где x_r — некоторые константы из области значений входящих сигналов, которые могут быть заданы, к примеру, путем квантования диапазона возможных значений соответствующих входов нейронов.

$Y_j(i) \in \mathbb{Y}$ — предикаты из заданного множества выходных предикатов \mathbb{Y} , описывающих выходы нейронов

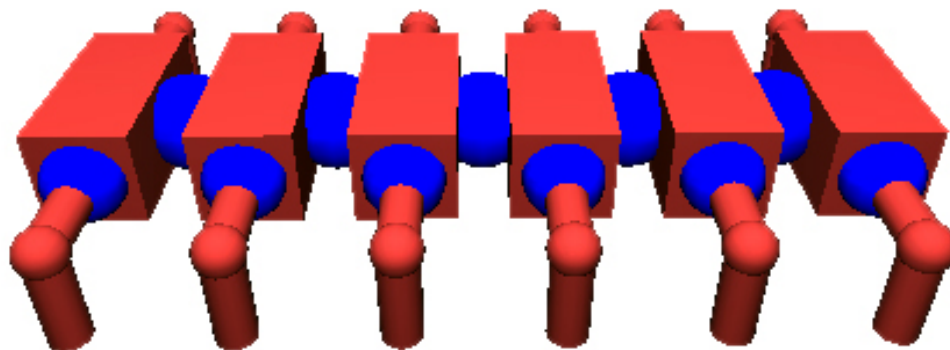


Рис. 1. Модель многоногого робота

N_i ($i = 1, \dots, n$) и имеющих вид $Y_j(i) = (\text{output}(i) = y_r)$, где y_r — некоторые константы из набора значений выходных сигналов.

$P(i) \in \mathbb{P}$ — предикаты из множества предикатов \mathbb{P} , имеющих вид $(i = j)$, где $j = 1, \dots, n$, смысл которых — сужать область применения правил вида до конкретных нейронов.

r — награда, максимизация которой является постоянной задачей нейрона.

Данные закономерности предсказывают, что если на вход нейрона N_i , $i = 1, \dots, n$ будут поданы сигналы, удовлетворяющие входным предикатам $X_1(i), \dots, X_m(i)$ из посылки правила, и нейрон подаст на свой выход сигнал, указанный в выходном предикате $Y(i)$, то математическое ожидание награды будет равно некоторой величине r .

Отдельно отметим, что если какой-либо нейрон N_j имеет вход, специфичный только для этого нейрона, то предполагаем, что предикат $X(i)$, описывающий этот вход, будет принимать значение «0» для всех $i \neq j$, т. е. для всех других нейронов. Аналогично, если выход какого-либо нейрона N_j может принимать некоторое значение y , характерное только для этого нейрона, то соответствующий выходной предикат $(\text{output}(i) = y)$ также будет принимать значение «0» для всех $i \neq j$.

Поясним необходимость введения множества предикатов \mathbb{P} . В том случае, если правило не содержит предикатов из \mathbb{P} , то они будут иметь вид $\forall i(X_1(i), \dots, X_m(i), Y(i) \rightarrow r)$ и будут описывать закономерности, общие для всех нейронов N_i , $i = 1, \dots, n$. Добавление в посылку правила предиката из \mathbb{P} автоматически суживает область применения правила до конкретного нейрона. Таким образом, правила, содержащие предикаты из \mathbb{P} , описывают закономерности, специфичные для конкретных нейронов. Также следует отметить, что сужение области применимости правил может происходить не только за счет предикатов из \mathbb{P} , но также за счет входных либо выходных предикатов из \mathbb{X} и \mathbb{Y} , описывающих специфичные входы либо выходы конкретных нейронов.

Для нахождения закономерностей вида предлагается использовать алгоритм, основанный на идеях семантического вероятностного вывода, описанного в работах [12]. При помощи данного алгоритма анализируется множества данных, хранящих статистику работы нейронной сети (вход-выход нейронов и полученная награда) и извлекаются все статистически значимые закономерности вида.

В данной работе мы не будем приводить описание алгоритма семантического вероятностного вывода. Подробное описание можно найти в работах [8, 12]. Отметим только, что суть алгоритма заключается в последовательном уточнении правил, начиная с правил единичной длины, путем добавления в посылку правил новых предикатов с последующей проверкой уточненных правил на принадлежность к вероятностным закономерностям. По существу реализуется направленный перебор правил, позволяющий существенно сократить пространство поиска. Сокращение

перебора достигается за счет использования эвристики, которая заключается в том, что, начиная с момента, когда длина посылки правил достигает некоторой заданной величины, называемой глубиной базового перебора, начинается последовательное уточнение только тех правил, которые являются вероятностными закономерностями.

Преимущество использования семантического вероятностного вывода и правил вида состоит в организации поиска правил таким образом, что сначала будут обнаруживаться правила, общие для всех нейронов, а только затем — более сложные, включающие специфичные для конкретных нейронов правила. В результате, в задачах управления модульными роботами, если хотя бы часть модулей имеет схожие функции, которые можно описать общими правилами, предложенный подход позволяет существенно сократить время поиска решения.

Функционирование нейронной сети в целом происходит следующим образом. На каждом такте работы сети на входы нейронов поступают входящие сигналы. После чего последовательно для каждого нейрона запускается процедура принятия решения, в процессе которой из множества правил, описывающих работу нейронов, выбираются те, которые применимы к текущему нейрону на текущих входных сигналах. Затем среди отобранных правил выбирается одно правило, прогнозирующее максимальное значение математического ожидания награды r . Далее на выход нейрона подается выходной сигнал $\text{output} = y$, указанный в правиле. В начальной стадии функционирования сети, когда множество правил, описывающих работу нейронов, еще пусто, либо когда нет правил, применимых к текущему набору входящих сигналов, выход нейрона определяется случайным образом. После того, как все нейроны сгенерируют свои выходные сигналы, от внешней среды поступает награда и осуществляется обучение, в процессе которого ищутся новые и корректируются текущие правила работы в соответствии с предложенным алгоритмом поиска закономерностей.

Система управления движением многоногого робота

Для задачи управления многоногим роботом был выбран нейронный контур, состоящий из шести нейронов — по одному нейрону на каждый модуль робота (рис. 2). Каждый нейрон N_i , $i = 1, \dots, 6$ контролирует движения левой и правой ноги своего модуля, подавая активирующие сигналы на соответствующие угловые двигатели, вращающие конечности в суставе. Чтобы немного упростить задачу, движения правой и левой ног робота были синхронизированы таким образом, что движение одной ноги всегда происходит в противофазе с другой. Т. е., к примеру, движение левой ноги вперед всегда сопровождается движением правой ноги назад. Таким образом, нейрону, по сути, достаточно контролировать движения только одной ноги, поскольку вторая нога будет повторять эти же движения, только в противофазе.

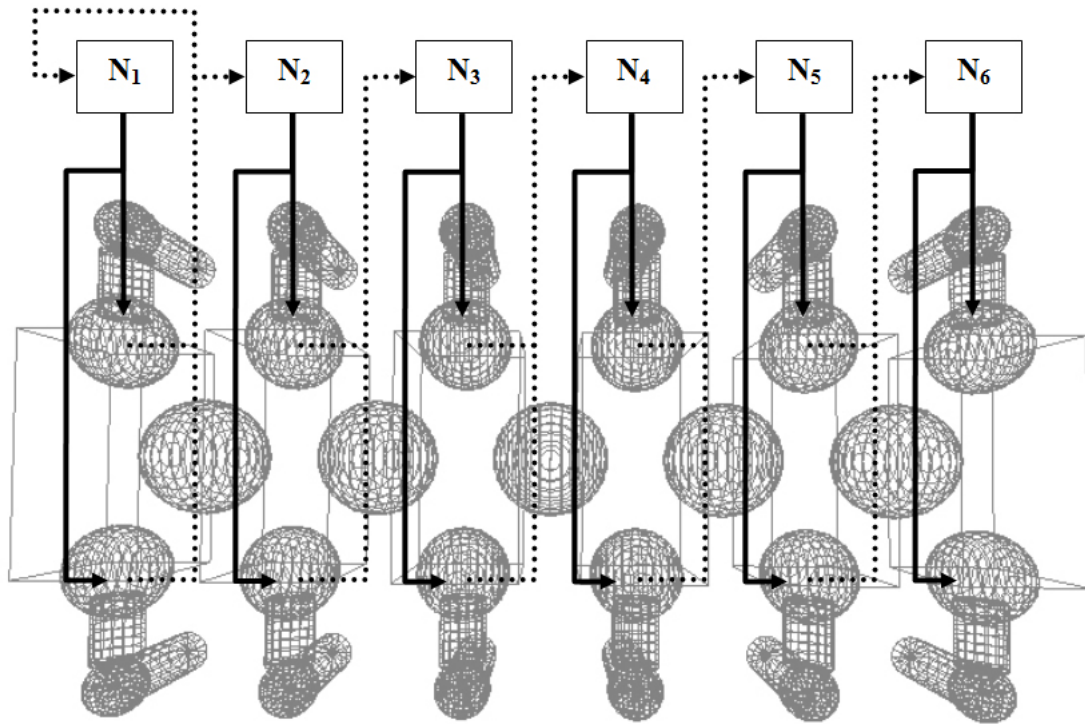


Рис. 2. Схема нейронного контура управления движением

Нейрон первого модуля N_1 получает на вход информацию о положении ног первого модуля. Остальные нейроны N_i , $i = 2, \dots, 6$ получают на свой вход данные о положении ног предыдущего модуля. Информация о положении ноги задается парой углов сгиба конечности в суставе в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Множество входных и выходных предикатов для нейронов задается путем квантования диапазона возможных значений соответствующих входов и выходов нейрона.

Награда для всего нейронного контура управления движением определяется в зависимости от величины скорости, которую разовьет робот на отрезке времени Δt : чем выше скорость — тем больше награда.

При помощи 3D-симулятор была проведена серия экспериментов по обучению движению модели многоногого робота. Результаты экспериментов показали, что система управления успешно обнаруживает согласованные движения конечностей, обеспечивающие эффективное перемещение вперед. На рисунке 3 приведен пример оп-

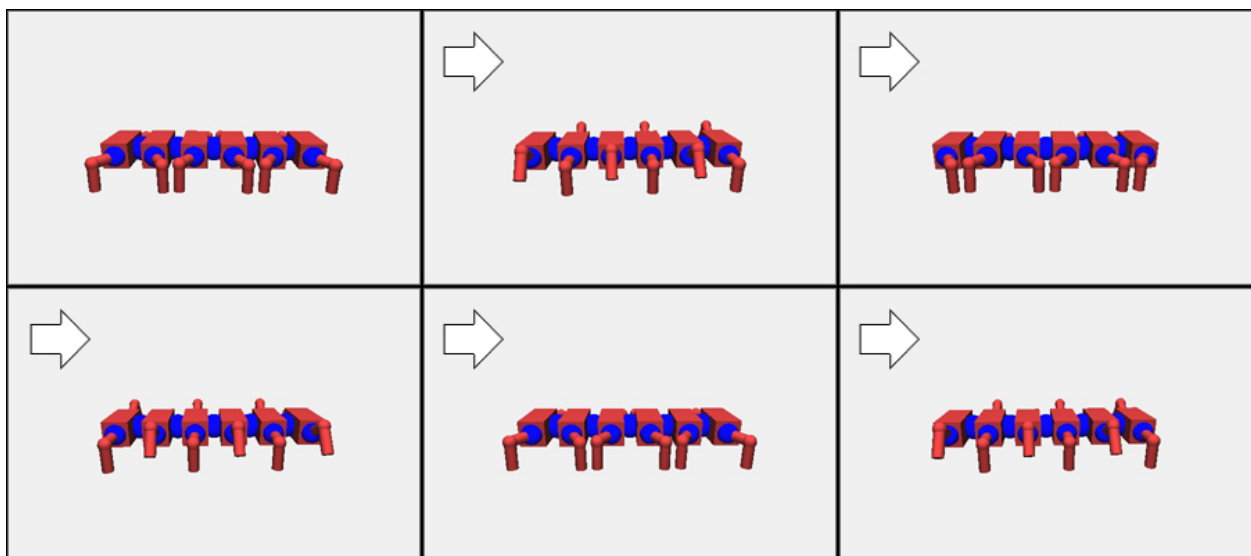


Рис. 3. Последовательность движений робота при перемещении вперед

тимальной последовательности движений, найденной в процессе обучения.

Заключение

В данной работе предложен подход к адаптивному управлению модульными системами с большим числом степеней свободы, основанный на совместном обучении управляющих модулей, начиная с нахождения общих для всех модулей управляющих правил и записывая их последующей спецификацией в соответствии с идеями семантического вероятностного вывода. Полученные результаты показывают, что предложенная модель системы

управления способна обучиться сложным формам передвижения, основываясь только на опыте взаимодействия системы с окружающей средой. Кроме того, стоит отметить, что предложенный подход хорошо масштабируется относительно увеличения числа конечностей: добавление новых модулей к конструкции робота не приводит к увеличению количества общих правил и поэтому слабо влияет на эффективность системы. С практической точки зрения, проведенные экспериментальные исследования на примере многоногого робота показывают, что предложенный подход является достаточно эффективным и может быть использован для управления сложными модульными системами, имеющими множество степеней свободы.

Литература:

1. Raibert, M. H. Legged robots // Communications of the ACM. — 1986. — 29(6). — pp. 499–514.
2. Silva, M. F., Machado J. A. T. A historical perspective of legged robots // Journal of Vibration and Control. — 2007. — V.13. — 9–10. — pp. 1447–1486.
3. Bongard, J. C. Evolutionary Robotics // Communications of the ACM. — 2013. — Vol. 56. — No. 8. — pp. 74–83.
4. Daoxiong Gong, Jie Yan, Guoyu Zuo. A Review of Gait Optimization Based on Evolutionary Computation // Applied Computational Intelligence and Soft Computing. — 2010. — vol. 2010. — Article ID 413179. — 12 p.
5. Valsalam, V. K. Miikkulainen R. Modular neuroevolution for multilegged locomotion // In Proceedings of GECCO. — 2008. — pp. 265–272.
6. Ito, K., Matsuno F. A study of reinforcement learning for the robot with many degrees of freedom — acquisition of locomotion patterns for multi legged robot // In Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation. — 2002. — pp. 3392–3397.
7. Mataric, M., Cliff D. Challenges in evolving controllers for physical robots // Robotics and Autonomous Systems. — October 1996. — 19(1). — pp. 67–83.
8. Демин, А. В., Витяев Е. Е. Логическая модель адаптивной системы управления // Нейроинформатика. — 2008. — Т. 3. — № 1. — с. 79–107.
9. Демин, А. В. Обучающаяся модель управления хемотаксисом нематоды *C. Elegans* // Нейроинформатика. — 2013. — Т. 7. — № 1. — с. 29–41.
10. Demin, A. V., Vityaev E. E. Learning in a virtual model of the *C. elegans* nematode for locomotion and chemotaxis // Biologically Inspired Cognitive Architectures (2014). — Elsevier, 2014. — V. 7. — pp. 9–14.
11. Smith, R. Open Dynamics Engine. — URL: <http://ode.org/>.
12. Витяев, Е. Е. Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов. — Новосибирск: НГУ, 2006. — 293 с.

Тестирование интернет-страниц как решение задачи о многоруком бандите

Смирнов Дмитрий Сергеевич, студент
Санкт-Петербургский государственный университет

В наши дни активно развивается рынок электронной коммерции: все большую популярность набирают интернет-магазины и различные интернет-сервисы. Основным рычагом увеличения продаж интернет-магазина является так называемая *конверсия*. *Конверсия* — это отношение числа визитов пользователей, в которых были совершены целевые действия, к общему числу визитов. Целевые действия определяются исходя из коммерческой составляющей страницы. Примеры целевых действий: положить товар в корзину, нажать кнопку «оформить товар», перейти в раздел «контакты» и т. д. Величина конверсии в основном зависит от внешнего оформления интернет-страницы, расположения определенных элементов и функционала.

Основным инструментом увеличения конверсии является тестирование интернет-страниц [1]. Перед тестированием страницы задается определенная цель (например, клик по некоторой кнопке), показатели достижения которой отслеживаются. Пользователям поочередно показываются разные версии одной страницы (например, в одной версии может

быть изменена цветовая гамма, расположение элементов и т.д). После проведения теста сравниваются показатели достижения целей, и выявляется страница с большей конверсией.

Подход к тестированию, описанный выше, довольно популярен, однако имеет существенный недостаток: во время теста в равных пропорциях показываются страницы с низкой и высокой конверсией. Показ страниц с низкой конверсией несет убыток организатору теста. Владелец интернет-ресурса, кроме выявления страницы с наибольшей конверсией, заинтересован в том, чтобы во время проведения теста достичь наибольшую суммарную конверсию. Именно эту задачу решает подход к тестированию, основанный на решении задачи о многоруком бандите (Multi-armed bandit [2]).

Цели работы: предложить подход к тестированию интернет-страниц на основе задачи о многоруком бандите, рассмотреть некоторые алгоритмы решения задачи, разработать программную реализацию симуляции тестирования страниц, на основе которой продемонстрировать применимость алгоритмов для решения задачи тестирования.

Задача о многоруком бандите является частным случаем дилеммы исследования-использования, которая может быть описана следующим образом [3]. Имеется система взаимодействия игрока с окружающей средой. Игрок имеет набор действий для этого взаимодействия. После каждого действия игрок получает некоторый выигрыш. Перед очередным взаимодействием с окружающей средой игрок имеет выбор: выполнить уже известное действие и получить выигрыш близкий к ожидаемому или выполнить действие, результат которого трудно предугадать. В первом случае будем говорить, что игрок находится в *фазе использования*, во втором случае — в *фазе исследования*.

Задача о многоруком бандите впервые рассмотрена Гербертом Роббинсом (Herbert Ellis Robbins) в 1952 году и с тех пор широко используется для моделирования задач вида исследования-использования. Математическая модель задачи строится следующим образом [4].

Рассмотрим K игровых автоматов. С каждым автоматом связаны случайные величины $X_{i,n}$, где $1 \leq i \leq K, n \geq 1$, то есть i — индекс автомата. При каждой игре на автомате случайная величина генерирует выигрыш. Например, играя на автомате ii , игрок будет получать выигрыши $X_{i,1}, X_{i,2}, \dots$ — реализации независимых случайных величин, имеющих общий неизвестный закон распределения с неизвестным математическим ожиданием μ_i . Независимость распределений имеет место и для выигрышей разных автоматов, то есть $X_{i,s}$ и $X_{j,t}$ независимы (и, как правило, имеют разные законы распределения) для любых $1 \leq i < j \leq K$ и $s, t \geq 1$. Цель игрока — достичь максимальный выигрыш за время игры.

Под стратегией (policy, allocation strategy) A будем понимать алгоритм выбора следующего автомата для игры на основе последовательности предыдущих игр и полученных выигрышей. Основной характеристикой сравнения стратегий является *функция потерь*.

Пусть $T_i(n)$ — это число игр, сыгранных на автомате i с использованием стратегии A в течение первых n игр. Тогда функция потерь стратегии A после n сыгранных игр определяется как

$$R_T = \mu^* n - \sum_{j=1}^K E[T_j(n)],$$

где $\mu^* = \max_{1 \leq i \leq K} \mu_i$.

Если бы распределения выигрышей были известны, то стратегия игры была бы тривиальна: всегда играть на автомате, который имеет максимальное математическое ожидание выигрыша.

Доказано [2], что для функции потерь справедлива оценка $R_T = \Omega(\log T)$, где T — количество сыгранных игр. Алгоритмы, которые достигают этой оценки, называются *оптимальными*. В дальнейшем будут использоваться следующие обозначения: $\hat{\mu}_i(t)$ — средний выигрыш автомата i после t игр, $p_i(t)$ — вероятность игры на автомате i во время t . Ниже приведены идеи и краткие описания используемых алгоритмов.

Обзор литературы

Описание задачи и алгоритмов её решения, к сожалению, крайне скудно представлено в русскоязычной литературе, в связи с чем, при исследовании и написании работы использовались в основном англоязычные источники. Постановка задачи и описание некоторых подходов к решению описаны в [3]. В [2] вводится функция, называемая сожалением, которая характеризует работу алгоритмов для решения задачи о многоруком бандите. Там же доказано, что функция сожаления R_T асимптотически не меньше функции $\log T$. Описание используемых в работе алгоритмов и демонстрация их работы представлены в [4]. В [5] описан алгоритм UCS1 и даны оценки функции сожаления R_T некоторых алгоритмов.

Описание алгоритмов

ϵ — жадный алгоритм (ϵ — greedy)

Алгоритм ϵ — greedy [4, 1] относится к так называемым жадным алгоритмам, которые отличаются тем, что на каждом этапе оптимизационной задачи выбирают локально оптимальное решение, допуская, что конечное решение также окажется оптимальным.

В силу простоты реализации ϵ — жадный алгоритм широко используется для решения задачи о многоруком бандите. Суть алгоритма состоит в том, что в каждый момент времени $t = 1, 2, \dots$ выбирается автомат с наибольшим средним выигрышем с вероятностью $(1 - \epsilon)$ и с вероятностью ϵ — случайный автомат среди всех. Формально, пусть после t

t игр средние выигрыши автоматов равны $\widehat{\mu}_1(t), \dots, \widehat{\mu}_K(t)$ тогда вероятность выбора автомата с номером i в следующий момент времени вычисляется по формуле

$$p_i(t+1) = \begin{cases} 1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon}{K}, & \text{если } i = \operatorname{argmax}_{j=1, \dots, K} \widehat{\mu}_j(t), \\ \frac{\varepsilon}{K}, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На каждом шаге с вероятностью $(1 - \varepsilon)$ алгоритм находится в фазе использования и с вероятностью ε — в фазе исследования. При $\varepsilon = 1$ получим стратегию, при которой номер автомата для следующей игры выбирается случайно, а при $\varepsilon = 0$ получим так называемый «чистый» жадный алгоритм, который никогда не будет иметь фазу исследования.

В [5] предложена модификация данного алгоритма, в которой значение параметра ε уменьшается с течением времени.

Модифицированный ε — жадный алгоритм (ε_n — greedy)

Алгоритм ε_n — greedy [5, 6] отличается от предыдущего алгоритма тем, что на каждом шаге $n = 1, 2, \dots$ вероятность ε вычисляется по формуле

$$\varepsilon_n = \min\left(1, \frac{cK}{d^{2n}}\right)$$

где K — число автоматов, c и d — параметры, причем $0 < d < \min \Delta_i, \Delta_i = \mu^* - \mu_i$. В [5] доказано, что данный алгоритм является оптимальным. Два приведенных выше алгоритма обладают существенными недостатками. Первый из которых заключается в том, что в фазе исследования номер автомата для следующей игры выбирается случайно, то есть независимо от полученных выигрышей. Второй недостаток состоит в том, что вероятность попадания в фазу исследования не зависит от полученных выигрышей, тогда как представляется правильным увеличивать данную вероятность в случае наличия автоматов с близкими выигрышами. От обоих недостатков свободен следующий алгоритм.

Алгоритм Softmax

Алгоритм описан в [4]. Его идея состоит в том, чтобы играть на автомате с вероятностью пропорциональной среднему выигрышу. Пусть после tt игр средние выигрыши автоматов равны $\widehat{\mu}_1(t), \dots, \widehat{\mu}_K(t)$, тогда вероятность того, что в момент времени $(t + 1)$ будет сыгран автомат с номером i равна

$$p_i(t+1) = \frac{e^{\frac{\widehat{\mu}_i(t)}{\tau}}}{\sum_{j=1}^K e^{\frac{\widehat{\mu}_j(t)}{\tau}}}, i = 1, \dots, K.$$

Параметр τ называется температурным коэффициентом. При $\tau \rightarrow +\infty$ алгоритм ведет себя случайным образом, при $\tau \rightarrow 0$ алгоритм становится жадным.

Алгоритм UCSB1

UCB (Upper Confidence Bounds) — семейство алгоритмов, которое описано в [5] как простая реализация идеи оптимизма в условиях неопределенности, предложенной в [2]. Рассмотрим самый простой в реализации и популярный алгоритм UCSB1.

На каждом шаге алгоритма вычисляется величина

$$\max_{i=1, \dots, K} \left(\widehat{x}_i + \sqrt{\frac{2 \ln n}{n_i}} \right),$$

где \widehat{x}_i — средний выигрыш автомата i , n_i — количество сыгранных игр на автомате i , n — количество всех сыгранных игр. Алгоритм выбирает тот автомат, для которого эта величина максимальна. Таким образом, видно, что алгоритм, выбирая автомат для следующей игры, использует информацию о количестве сыгранных игр на каждом автомате. Рассмотренный алгоритм отличается от ранее описанных главным образом тем, что не имеет параметров, следовательно, нет необходимости в их подборе. Другим отличием алгоритма является его полная детерминированность, то есть отсутствие случайности.

Алгоритм погони (Pursuit)

Алгоритм описан в [4]. На каждом шаге вычисляются вероятности выбора каждого автомата для следующей игры по формуле

$$p_i(t+1) = \begin{cases} p_i(t) + \beta(1 - p_i(t)), & \text{если } i = \operatorname{argmax}_{j=1, \dots, K} \widehat{\mu}_j(t), \\ p_i(t) + \beta(0 - p_i(t)), & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На первом шаге считаем, что $p_i(0) = \frac{1}{K}$. Параметр β называется скоростью обучения.

Проведение эксперимента

Модель Бернулли многорукого бандита

Модель Бернулли многорукого бандита [5] отличается тем, что случайные величины, характеризующие выигрыш в игре на автоматах, имеют распределение Бернулли с неизвестными вероятностями p_1, \dots, p_K . Таким образом, при игре на автомате с номером i игрок получает выигрыш 1 с вероятностью p_i и выигрыш 0 с вероятностью $(1 - p_i)$. Данный частный случай задачи о многоруком бандите подходит для моделирования процесса тестирования интернет-страниц. Будем считать, что показ страницы — это игра на автомате, а выигрыш 1 — есть достижение конверсионной цели.

Описание эксперимента

В качестве эксперимента, иллюстрирующего работу описанных выше алгоритмов, предложена программная реализация симуляции тестирования интернет-страниц. На вход программе подается число тестируемых страниц K , вектор вероятностей $p = [p_1, \dots, p_K]$, где компонента p_i — есть вероятность достижения конверсионной цели на странице с номером i . Кроме того, задается число показов страниц N . Программная реализация выполнена на языке Python. В качестве результатов работы программы выводится величина конверсии, достигнутой каждым алгоритмом, и номер страницы с наибольшей конверсией. Под конверсией в данной случае понимается отношение числа достигнутых целей к общему числу показов страниц N .

Поскольку 44 из 5 рассмотренных алгоритмов зависят от параметров, которые влияют на их работу (см. пример на рис 1), то не представляется возможным подобрать параметры алгоритмов, которые гарантировали бы достижение наибольшей конверсии на всех векторах $p = [p_1, \dots, p_K]$. С этим же связана проблема невозможности выявления алгоритма, который бы работал на всех векторах $p = [p_1, \dots, p_K]$ наилучшим образом.

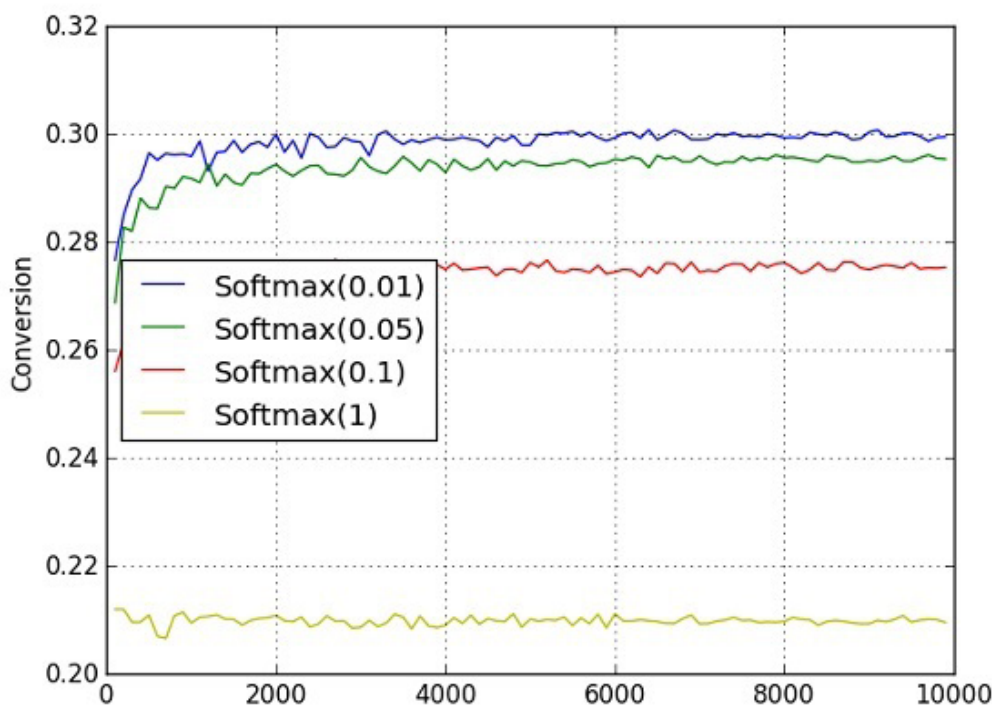


Рис. 1: Зависимость работы алгоритма Softmax от параметров

Результаты и выводы

Рассмотрим несколько случаев входных данных, на которых продемонстрируем работу алгоритмов и сравним полученные результаты. Сначала рассмотрим случай тестирования двух страниц $K = 2$. Пусть $p = [0,1;0,3]$. Параметры алгоритмов были подобраны в ходе экспериментов. Результаты работы алгоритмов представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Все алгоритмы, за исключением UCSV1, имеют элемент случайности, поэтому для них в качестве результатов берется среднее значение для 100 запусков.

Из таблицы 1 и графика 2 видно, что результаты работы алгоритмов приблизительно совпадают. Следует отметить, что алгоритм Softmax в большинстве случаев достигал наибольшей конверсии среди всех алгоритмов. Кроме того,

видно, что алгоритм UCB1 имеет медленный рост достигаемой конверсии, однако при большом числе показов страниц ($N > 10000$) не уступает другим алгоритмам.

Таблица 1. Достигнутая конверсия: случай тестирования двух страниц

Алгоритм\Показы	1000	5000	10000	20000	50000
ϵ -greedy(0,01)	0,2946	0,2991	0,2983	0,2988	0,299
ϵ_n -greedy(0,001)	0,2934	0,2983	0,2993	0,2937	0,2996
Softmax(0,01)	0,3	0,2981	0,2991	0,3004	0,2999
Pursuit(0,05)	0,295	0,2941	0,2975	0,2999	0,3001
UCB1	0,2714	0,2893	0,2937	0,2962	0,2999

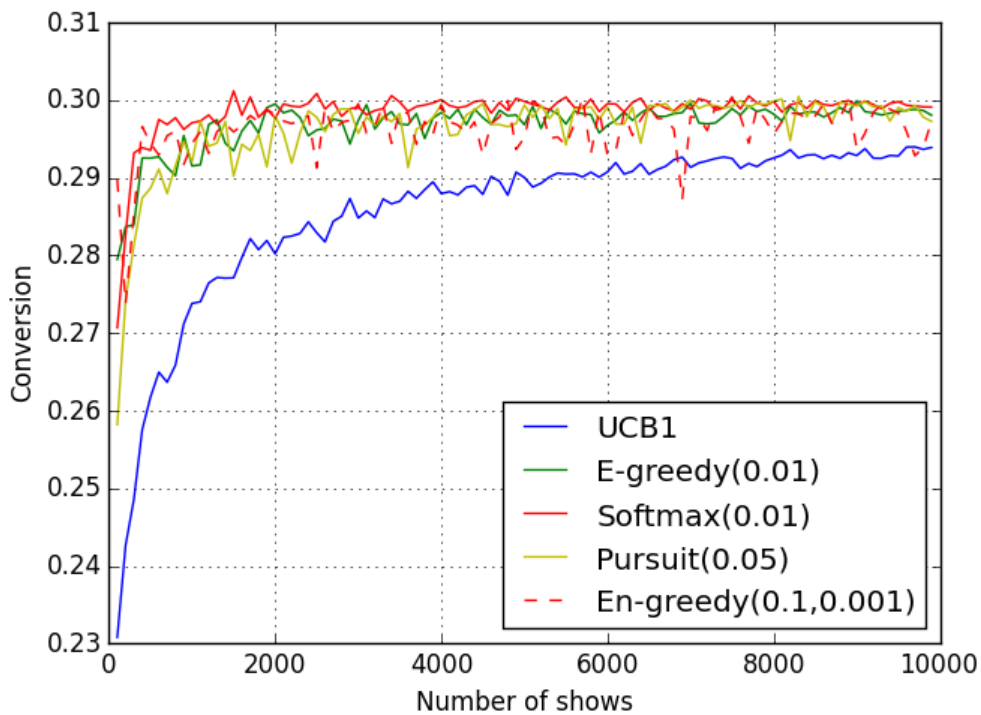


Рис. 2: Результат работы программы для двух тестируемых страниц

В таблице 2 и на рисунке 3 приведены результаты работы алгоритмов для тестирования 5 страниц. Вектор вероятностей имеет вид $p = [0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5]$.

Таблица 2. Достигнутая конверсия: случай тестирования пяти страниц

Алгоритм\Показы	1000	5000	10000	20000	50000
ϵ -greedy(0,01)	0,4645	0,483	0,4806	0,49	0,4925
ϵ_n -greedy(0,1)	0,4473	0,485	0,4861	0,4944	0,4975
Softmax(0,01)	0,4718	0,4794	0,472	0,4847	0,4882
Pursuit(0,01)	0,4516	0,4844	0,486	0,4957	0,4938
UCB1	0,4214	0,4633	0,476	0,4865	0,4927

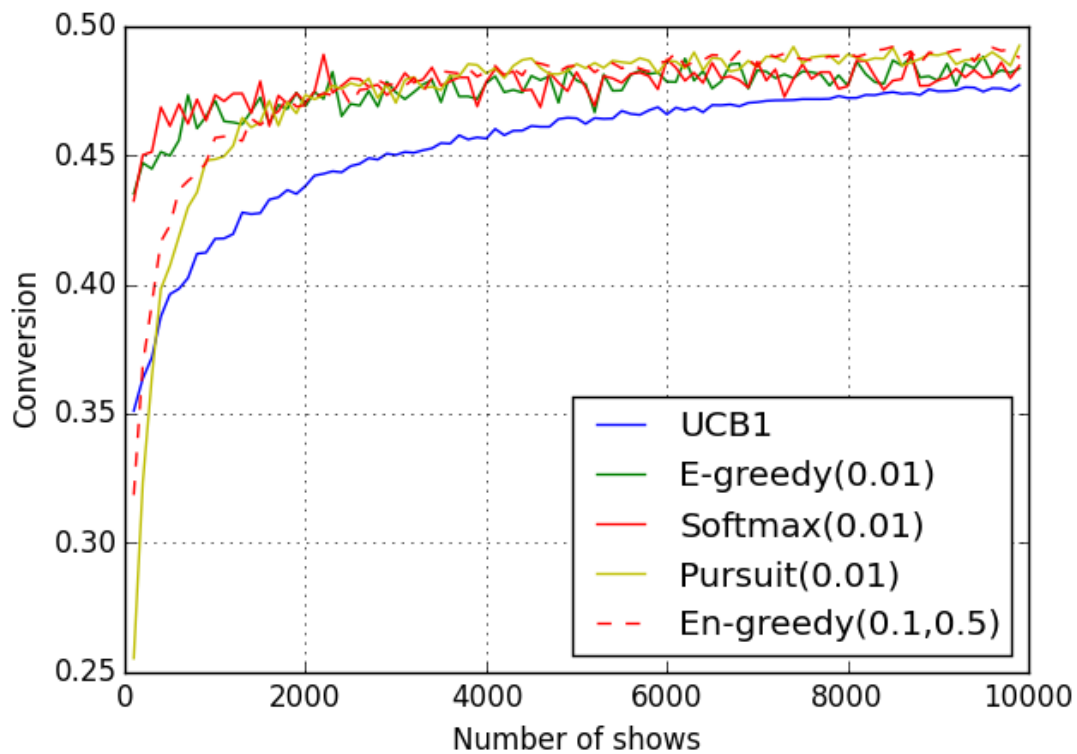


Рис. 3: Результат работы программы для 5 тестируемых страниц

Из таблицы 2 видно, что для 1000 показов наибольшую конверсию достиг алгоритм Softmax, при $N > 1000$ наилучшим образом сработали Pursuit и ϵ_n -greedy.

Теперь рассмотрим случай $K = 10$ с вектором вероятностей

$$p = [0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,6].$$

Результаты работы алгоритмов приведены в таблице 3 и на рисунке 4. В данном случае наибольшую конверсию достигали алгоритмы ϵ_n -greedy и Pursuit.

Таблица 3. Достигнутая конверсия: случай тестирования десяти страниц

Алгоритм\Показы	1000	5000	10000	20000	50000
ϵ -greedy(0,05)	0,5483	0,5714	0,5746	0,5802	0,5847
ϵ_n -greedy(0,05)	0,5307	0,5753	0,583	0,5938	0,5903
Softmax(0,01)	0,5441	0,5563	0,579	0,5781	0,5719
Pursuit(0.01)	0,5382	0,5817	0,5807	0,5838	0,5874
UCB1	0,4464	0,5268	0,554	0,5729	0,5864

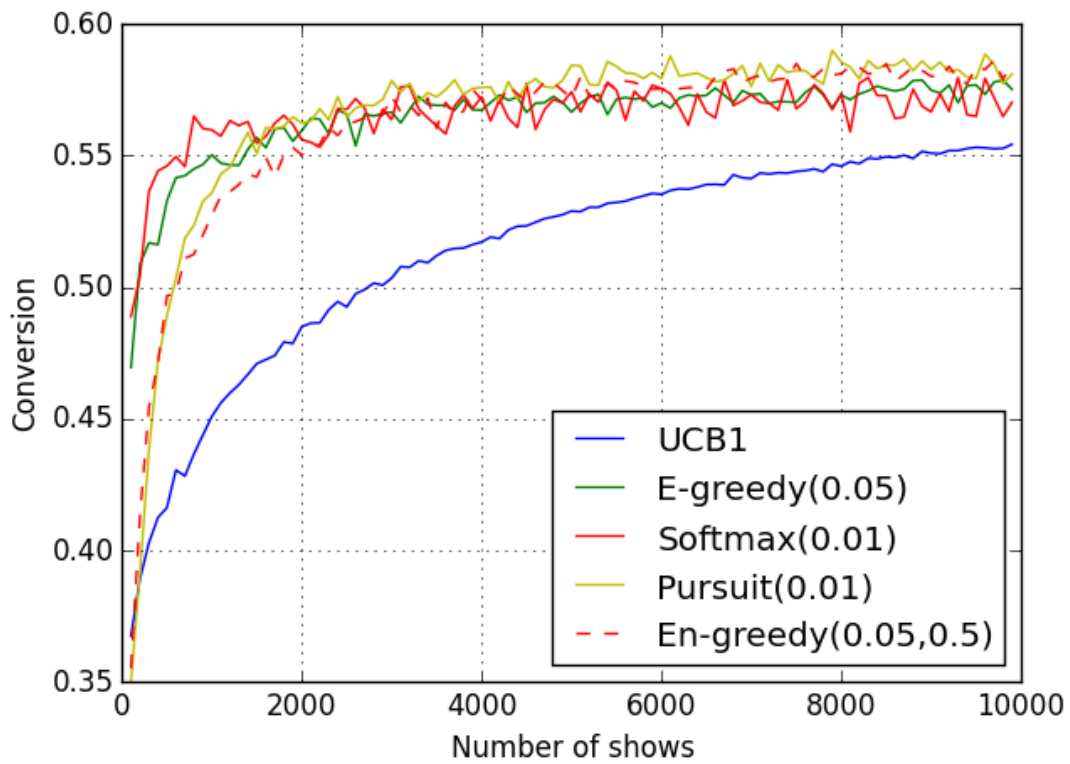


Рис. 4: Результат работы программы для 10 тестируемых страниц

Рассмотрим случай, когда конверсии страниц имеют близкие значения, что наиболее часто встречается на практике. Пусть $K = 10$ и вектор конверсионных вероятностей имеет вид

$$p = [0,4; 0,42; 0,45; 0,47; 0,5; 0,52; 0,55; 0,57; 0,58; 0; 6].$$

Результат работы алгоритмов представлен в таблице 4 и на рисунке 5.

Таблица 4. Сравнение работы алгоритмов тестирования 10 страниц

Алгоритм\Показы	1000	5000	10000	20000	50000
ϵ -greedy(0,05)	0,5658	0,5766	0,5818	0,5844	0,5886
ϵ_n -greedy(0,05)	0,5599	0,5784	0,5814	0,5814	0,59
Softmax(0,01)	0,5659	0,5796	0,5814	0,5828	0,5857
Pursuit(0.01)	0,5578	0,5827	0,5842	0,5839	0,5893
UCB1	0,5293	0,5451	0,5544	0,5635	0,576

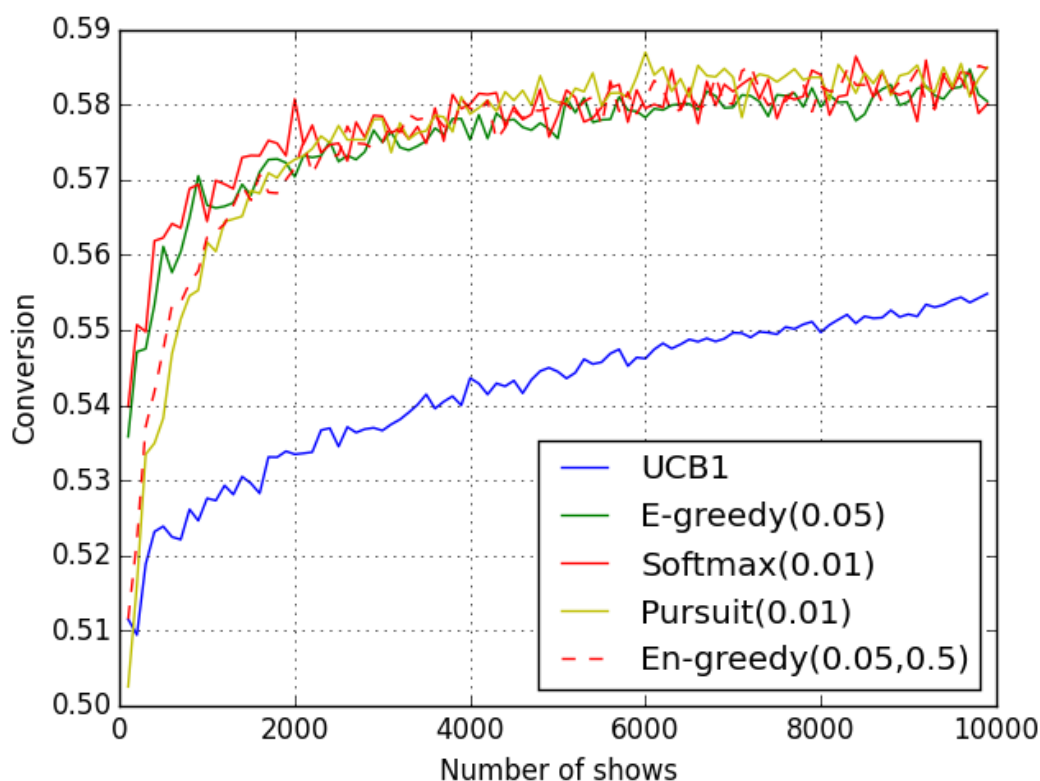


Рис. 5: Результат работы программы для 10 тестируемых страниц (случай страниц с близкой конверсией)

В рассматриваемом случае важно то, с каким успехом алгоритмы находят страницу с наибольшей конверсией. В таблице 5 представлены результаты работы алгоритмов при 100 запусках. В ячейках — число запусков, в которых алгоритм обнаружил страницу с наибольшей конверсией.

Таблица 5. Определение страницы с наибольшей конверсией

Алгоритм\Показы	1000	5000	10000	20000	50000
ϵ -greedy(0,05)	38	51	53	68	78
ϵ_n -greedy(0,05)	38	44	58	63	66
Softmax(0,01)	42	43	42	57	57
Pursuit(0.01)	47	50	56	63	55
UCB1	48	82	90	100	100

Заключение

В данной работе был предложен подход к тестированию интернет-страниц с использованием алгоритмов для решения задачи о многоруком бандите. Были рассмотрены 5 алгоритмов.

Предложена программная реализация симуляции процесса тестирования. Результаты работы алгоритмов на некоторых входных данных представлены в работе. Для случая малого числа страниц $K \leq 10$, который рассматривался в работе и который чаще всего и встречается на практике, в ходе многочисленных тестов установлено, что все алгоритмы дают приблизительно равные результаты.

Камнем преткновения к применению алгоритмов является наличие у 4-х из них параметров, которые необходимо подбирать. Общего правила для их подбора, к сожалению, нет. На практике подбор параметра следует осуществлять исходя из его смыслового значения в определенном алгоритме. Кроме того, имея статистические данные, характеризующие конверсию, можно экспериментальным путем подобрать параметры. С точки зрения практического применения среди описанных алгоритмов выгодно отличается алгоритм UCB1, не имеющий параметров. При малом числе показов $N < 5000$ по значению достигнутой конверсии алгоритм уступает другим рассмотренным алгоритмам, однако

при увеличении N демонстрирует высокий показатель конверсии, сравнимый с другими алгоритмами. Кроме того, благодаря детерминированности алгоритм гарантирует высокую конверсию от запуска к запуску, чего нельзя утверждать о других алгоритмах.

Литература:

1. Жадный алгоритм в A/B-тестировании // URL:<http://habrahabr.ru/post/144977/>
2. Lai, T. L., Robbins H. Asymptotically efficient adaptive allocation rules // Advances in applied mathematics. 1985. No 6. P. 4–22.
3. Sutton, R. S., Barto A. G. Introduction to reinforcement learning. MIT Press, 1998.
4. Kuleshov, V., Precup D. Algorithms for the multi-armed bandit problem // Journal of Machine Learning Research. 2000. No 1. P. 1–48.
5. Auer, P., Cesa-Bianchi N., Fischer P. Finite-time Analysis of the Multiarmed Bandit Problem // Machine Learning. 2002. Vol. 47, No 2–3. P. 235–256
6. Борисова, Т. С. Решение задачи исследования-использования для показа баннеров.

Численная реализация разностного метода решения одной задачи для уравнения эллиптического типа

Фазылова Лейла Сабитовна, старший преподаватель;
Пак Дмитрий Валерьевич, студент

Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова (Казахстан)

Применение новых информационных технологий в учебном процессе позволяет повысить не только эффективность, но и качество подготовки специалистов. При подготовке специалистов высшей квалификации по специальности «Математическое и компьютерное моделирование» изучение разностных методов решения уравнений в частных производных, является очень важной частью курса «Численные методы математической физики». Автоматизация решения задач данного типа во много раз ускорит учебный процесс и позволит студентам приобрести навыки математического и компьютерного моделирования различных физических процессов. Авторами был уже реализован алгоритм разностного метода для решения одной задачи для уравнения гиперболического типа [1].

В данной работе рассматривается проблема решения краевых задач для уравнений эллиптического типа. Эти задачи являются стационарными, так как в них отсутствует временная переменная. В них требуется найти решение уравнения в частных производных в данной области пространства, если на границе области решение или его производная заданы. Разностные схемы получаются путем замены производных их конечно-разностными аппроксимациями. В результате приближенное решение эллиптических задач сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений для значений искомой функции во внутренних узлах сетки.

Постановка задачи [2]. Требуется построить разностную схему для решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа:

$$u_{xx} + u_{yy} = 0, \quad 0 < x < L, \quad 0 < y < M,$$

$$u(0, y) = \varphi(0, y), \quad 0 < y < M,$$

$$u(L, y) = \varphi(L, y), \quad 0 < y < M,$$

$$u(x, M) = \varphi(x, M), \quad 0 \leq x \leq L,$$

$$u(x, 0) = \varphi(x, 0), \quad 0 \leq x \leq L,$$

где $\varphi(x, y)$ — заданная функция, L, M — заданные числа;

$u(x, y)$ — искомая функция, которая удовлетворяет дифференциальному уравнению в заданной области и краевым условиям на границе данной области.

Решение. В данном случае задача решается в области $D = [0, L] \times [0, M]$ прямоугольной формы, краевые условия заданы на сторонах прямоугольника. В плоскости Oxy построим сетку

$$D_h = \{(x_i, y_i)\},$$

где $x_i = ih_x$, $y_j = jh_y$, $i = 0, 1, \dots, I$, $j = 0, 1, \dots, J$;

h_x, h_y — величины шагов по x и по y ;

$Ih_x = L$, $Jh_y = M$, I и J — целые положительные числа.

Заменим дифференциальные операторы в уравнении Лапласа центральными разностями второго порядка:

$$u_{xx}(x_i, y_j) = \frac{u(x_i + h_x, y_j) - 2u(x_i, y_j) + u(x_i - h_x, y_j)}{h_x^2},$$

$$u_{yy}(x_i, y_j) = \frac{u(x_i, y_j + h_y) - 2u(x_i, y_j) + u(x_i, y_j - h_y)}{h_y^2},$$

Применяя краткую запись $u(x_i, y_j) = u_{i,j}$, получаем

$$\frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h_x^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h_y^2} = 0, \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1$$

или

$$\frac{h_y^2}{h_x^2} u_{i+1,j} + \frac{h_y^2}{h_x^2} u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - 2 \left(1 + \frac{h_y^2}{h_x^2} \right) u_{i,j} = 0, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1.$$

Полагая $\varphi_{i,j} = \varphi(ih_x, jh_y)$, краевые условия можно записать в виде:

$$u_{0,j} = \varphi_{0,j}, \quad j = 1, \dots, J-1;$$

$$u_{I,j} = \varphi_{I,j}, \quad j = 1, \dots, J-1;$$

$$u_{i,J} = \varphi_{i,J}, \quad i = 0, 1, \dots, I;$$

$$u_{i,0} = \varphi_{i,0}, \quad i = 0, 1, \dots, I. \quad (3)$$

Для нахождения искомого решения требуется решить систему $(I-1) \times (J-1)$ линейных алгебраических уравнений. Схема (2)-(3) имеет второй порядок аппроксимации по h_x и по h_y , является абсолютно устойчивой и сходится. Ей соответствует пятиточечный шаблон — схема крест.

При $h_x = h_y$, т. е. одинаковых шагах в горизонтальном и вертикальном направлениях, получаем

$$u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - 4u_{i,j} = 0, \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1.$$

Разрешив (4) относительно $u_{i,j}$, получим

$$u_{i,j} = \frac{1}{4} (u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1}), \quad i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1. \quad (5)$$

Это означает, что решение $u_{i,j}$ аппроксимируется средним значением по четырем соседним узлам. Как правило, для решения системы (5) применяются различные итерационные методы, например, метод простой итерации или метод Зейделя.

Алгоритм разностного метода решения поставленной задачи.

1. Задать сетку $D_h = \{(x_i, y_j)\}$, где $x_i = ih_x$, $y_j = jh_y$, $i = 0, 1, \dots, I$, $j = 0, 1, \dots, J$;

h_x, h_y — величины шагов по x и по y ; $Ih_x = L$, $Jh_y = M$, I и J — целые положительные числа;

$\varepsilon > 0$ — желаемую точность.

Вычислить

$$u_{0,j} = \varphi_{0,j}, \quad j = 1, \dots, J-1;$$

$$u_{I,j} = \varphi_{I,j}, \quad j = 1, \dots, J-1;$$

$$u_{i,J} = \varphi_{i,J}, \quad i = 0, 1, \dots, I;$$

$$u_{i,0} = \varphi_{i,0}, \quad i = 0, 1, \dots, I.$$

Положить $k = 0$; задать начальное приближение искомого решения во внутренних узлах:

$$u_{i,j}^{(0)}, \quad i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1.$$

2. Вычислить $u_{i,j}^{(k+1)}$ одним из двух методов:

а) методом простых итераций:

$$u_{i,j}^{(k+1)} = \frac{1}{4} \left(u_{i+1,j}^{(k)} + u_{i-1,j}^{(k)} + u_{i,j+1}^{(k)} + u_{i,j-1}^{(k)} \right), \quad i = 1, \dots, I-1, \quad j = 1, \dots, J-1;$$

б) методом Зейделя:

Шаг 1. Положить $j = 1$.

Шаг 2. Вычислить

$$u_{i,j}^{(k+1)} = \frac{1}{4} \left(u_{i+1,j}^{(k)} + u_{i-1,j}^{(k+1)} + u_{i,j+1}^{(k)} + u_{i,j-1}^{(k+1)} \right), \quad i = 1, \dots, I-1.$$

Шаг 3. Если $j = J-1$, процесс завершить. Иначе положить $j = J+1$ и перейти к шагу 2.

3. Если выполняется условие окончания

$$\max_{i,j} \left| u_{i,j}^{(k+1)} - u_{i,j}^{(k)} \right| \leq \varepsilon,$$

процесс завершить. Иначе положить $k = k+1$ и перейти к п. 2.

Замечание. Метод Зейделя обеспечивает движение по узлам слева направо, начиная с первого слоя сетки по переменной x . Использование значений с $(k+1)$ -й итерации, как правило, улучшает сходимость.

Пример. Рассмотрим частный случай поставленной задачи при $L = 1$, $M = 1$, $I = J = 3$,

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} \sin \pi x, & y = 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \\ 0, & \text{на остальных границах прямоугольной области.} \end{cases}$$

Для численной реализации данного алгоритма была выбрана среда разработки Borland Delphi 7, так как данный язык программирования обладает достаточным функционалом для решения рассматриваемой задачи. В среде Delphi 7 имеются обширные библиотеки программ для решения математических задач [3]. При разработке программы для поставленной задачи были использованы дополнительные библиотеки, которые позволили значительно сократить код основной программы. На рисунке 1 представлен интерфейс программы.

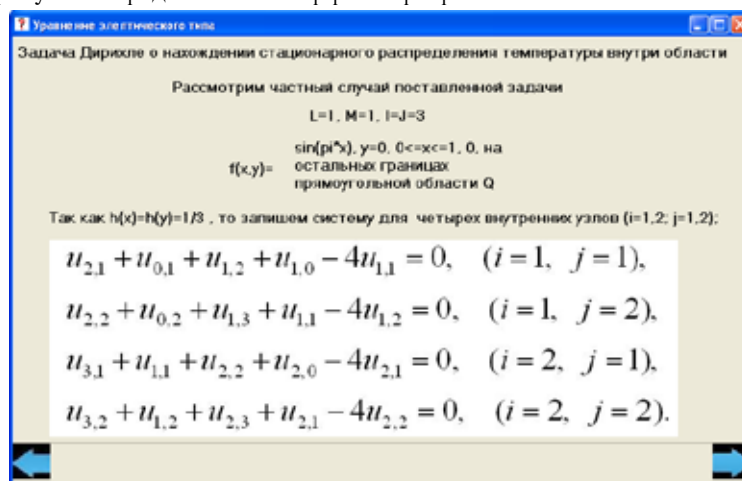


Рис. 1. Интерфейс программы

Результат программы для приведенного выше тестового примера представлен на рисунке 2.

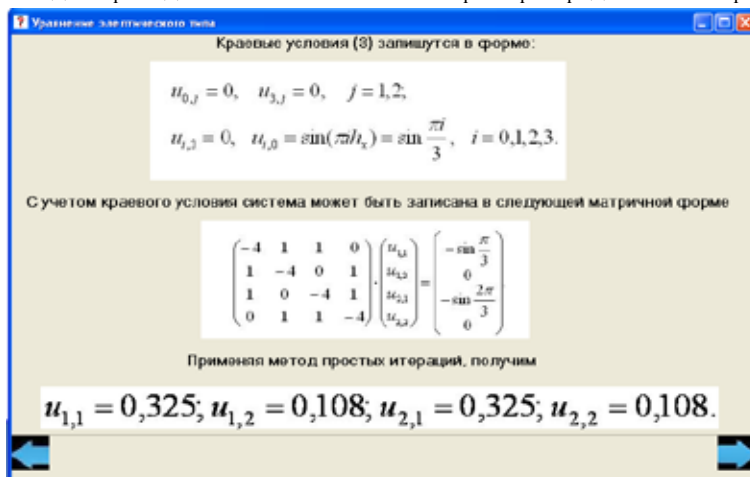


Рис. 2. Вывод результата программы

На рисунке 3 представлен результат действия вышеприведенного алгоритма, реализованный в табличном процессоре Excel2010.

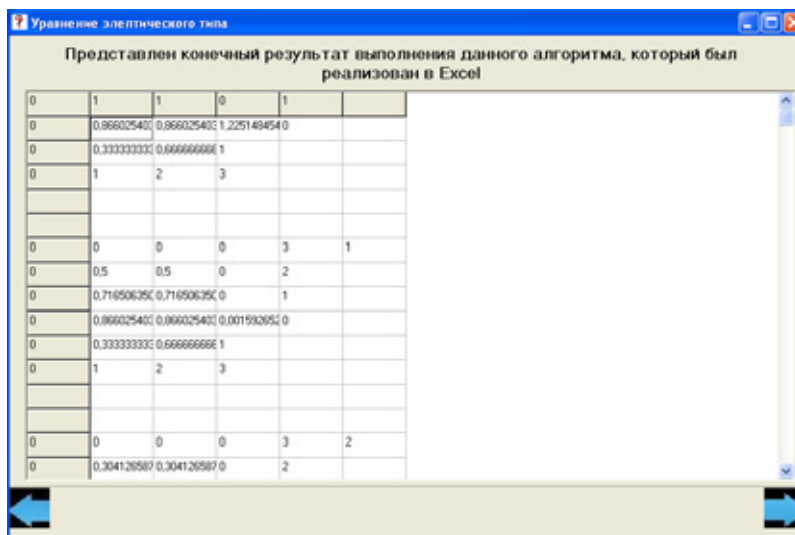


Рис. 3. Численная реализация в Excel2010

Авторами была разработана программа, которая позволяет автоматизировать процесс вычисления решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа. Программа предназначена для освоения студентами разностного метода решения уравнений эллиптического типа и может применяться в учебном процессе.

Литература:

1. Фазылова, Л. С., Устинова Л. С., Пак Д. В. Программирование разностного метода решения одной задачи для уравнения гиперболического типа // Молодой ученый: Научный журнал. — 2015. — № 10. — С. 68–71.
2. Киреев, В. И. Численные методы в примерах и задачах: учеб. пособие/ В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. — Изд. 2-е, стер. — М.: Высшая школа, 2006. — 480 с.
3. Нил Дж. Рубенкинг. Язык программирования Delphi для «чайников». Введение в Borland Delphi 2006. — М.: Диалектика, 2007. — 336 с.

ЭКОЛОГИЯ

Пути решения проблем в области обращения с отходами

Васина Марина Владимировна, кандидат химических наук, доцент;

Бруева Ольга Юрьевна, аспирант

Омский государственный технический университет

В работе рассмотрены применяемые наилучшие доступные технологии по размещению и утилизации промышленных отходов. Предложена оптимизация способов обращения с отходами с целью снижения объемов отходов, передаваемых на захоронение. Выявлены экономические критерии стимулирования деятельности промышленных предприятий в области обращения с отходами.

Ключевые слова: отходы, утилизация, стимулирование, наилучшие доступные технологии.

В современном мире очень остро стоит проблема утилизации и захоронения промышленных отходов. Проблема кроется не только в отсутствии оптимального, безопасного и быстрого способа, но и в его экономической эффективности. На сегодняшний день в России отсутствуют механизмы, позволяющие заинтересовать руководителей и персонал промышленных предприятий во внедрении ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий в области обращения с отходами.

Большой проблемой для многих организаций является сортировка образующихся отходов: отсутствие механизмов сортировки, недостаточность мест размещения контейнеров для различных видов отходов. Наличие у крупных предприятий сортировочных станций, позволило бы снизить объемы поступающих на городские полигоны отходов, тем самым разгрузив местные свалки. На сегодняшний день критическое положение сложилось в городе Омск: закрыты два из трех действующих полигонов опасных отходов. А на единственной городской свалке, принимающей отходы, нагрузка увеличилась в десятки раз. Характерная ситуация складывается во многих российских регионах. При сортировке отходов можно выделить полезные фракции, которые возможно переработать (стекло, бумага, пластмасса), реализовать населению для вторичного потребления (тара, древесные отходы), повторно использовать в производстве (масла, зола и т. д.). Такие мероприятия не только сократили объем отходов, поступающие на городские свалки, но и принесли экономический эффект.

Можно выделить несколько существующих в мире технологий:

1. Метод санитарного захоронения твердых бытовых отходов (применяются более строгие меры по ограничению захоронения).

В качестве обязательных природоохранных мер для предотвращения попадания загрязняющих веществ в почву и поступления грунтовых вод в зону складирования и захоронения предусматривают противофильтрационные экраны. Процесс захоронения отходов заключается в послойной укладке на территории санкционированной свалки изоляционного материала. Насыпаемый ежедневно слой отходов разравнивается и уплотняется специальными катками, затем засыпается слоем песка или глины, выравнивается, и вновь уплотняется.

2. Сжигание отходов.

Мусоросжигательный завод — предприятие, использующее технологию переработки твердых бытовых отходов, посредством термического разложения в котлах или печах. Преимуществами данной технологии являются:

1) уменьшение объема отходов для захоронения примерно в 10 раз;

2) производство тепло- и электроэнергии.

Создание подобных заводов сопровождается появлением других проблем. Так зола, образующаяся при сжигании мусора, гораздо более опасна, чем отходы. Необходим поиск мест ее захоронения и возникают дополнительные затраты, связанные с ее захоронением. Помимо золы образуются и высокотоксичные газы. Достаточно значительны и затраты на создание мусоросжигающих заводов (капитальные — от 80 до 100 тыс. долларов на тонну, сжигаемую в день, эксплуатационные расходы достигают 20 долларов за тонну).

3. Компостирование отходов.

Этот метод основан на естественных, но ускоренных реакциях трансформации мусора при доступе кислорода в виде горячего воздуха. Проблема компостирования в нашей стране заключается, в невозможности использования компоста.

Таблица 1. Сравнительные характеристики технологий переработки отходов

Показатели	Метод			
	захоронения	сжигания	компостирования	пиролиза
Инвестиции (млн. \$/ в сутки на 100 т)	30	33,60	38,60	23
Период строительства (в месяцах)	9–12	20–24	12–18	12–18
Площадь (м ² /т)	500–900 м ² /т	60–100 м ² /т	110–150 м ² /т	110–150 м ² /т
Себестоимость (\$/т)	5–8	11–20	7–11	6–11

4. Пиролиз.

Пиролиз (разложение, распад) — термическое разложение любых соединений при недостатке кислорода на составляющие менее тяжёлые молекулы под действием повышения температуры. В результате пиролиза образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Основными компонентами пиролизного газа являются водород, оксид углерода, метан. Пиролизный газ имеет преимущество перед природным, так как не содержит соединений серы и азота. Однако в связи с низкой теплотворной способностью, трудностями аккумуляции и хранения пиролизного газа он не может собираться и транспортироваться на значительное расстояние, вследствие чего потребитель газа должен находиться не далее 3 км от пиролизной установки [1, с. 223].

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики данных технологий с учетом экономической эффективности.

В настоящее время в КНР существуют десятки тысяч компаний по переработке отходов, ввозящих в страну иностранный мусор. Китайские предприниматели импортируют мусор из США, Великобритании и других стран Евросоюза. Современные и относительно безопасные технологии переработки остаются доступными только крупнейшим переработчикам КНР, остальные же попросту сжигают или закапывают мусор в землю. В Канадском городе Эдмонтон открыли первый в мире завод, перерабатывающего мусор в биотопливо.

В Российской Федерации работают небольшое количество предприятий по переработке отходов:

— 7 мусоросжигательных заводов (Москва, Пятигорск, Мурманск, Владивосток, Санкт-Петербург)

— 5 мусороперерабатывающих заводов (Санкт-Петербург, Тольятти и Нижний Новгород, Новосибирск)
 — 39 мусоросортировочных комплексов.

При решении проблем по обращению с отходами необходим комплексный подход: внедрение ресурсосберегающих технологий, ликвидация накопленного экологического ущерба, рекультивация полигонов с истекшим сроком эксплуатации, строительство новых объектов размещения отходов.

Меры, направленные на экономическое стимулирование деятельности в области обращения с отходами, связаны с вопросами совершенствования системы нормирования негативного воздействия на окружающую среду, а также внедрения наилучших технологий. В качестве основных механизмов экологического нормирования в сфере обращения с отходами выступают: паспортизация, лицензирование, лимитирование, экономическое регулирование.

Таким образом, без применения современных «наилучших доступных технологий» утилизация отходов неизбежно приведет к экологическому кризису. Предприятия будут внедрять такие технологии, если они принесут экономическую выгоду. В настоящее время проделана большая работа в области природоохранного законодательства. Так, например, согласно п.7 статьи 16.3 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», вступающей в силу с 1 января 2019 года, при размещении отходов производства и потребления на объектах размещения отходов, исключающих негативное воздействие на окружающую среду и определяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обращения с отходами, плата за размещение отходов производства и потребления не взимается [2].

Литература:

1. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов: учебн. для вузов. — М.: «СП Интернет Инжиниринг», 1999. — 445 с.
2. Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

КУЛЬТУРОЛОГИЯ

Музыкальное образование в системе региональной культурной политики

Абдулаева Медина Шамильевна, доктор культурологии, доцент;
Керимханова Наиле Мурадовна, старший преподаватель
Дагестанский государственный педагогический университет (г. Махачкала)

При разработке стратегии региональной культурной политики необходимо учитывать роль культурной среды. Включение спектра музыкальной культуры в контекст культурной политики способно обеспечить эффективность социокультурного развития региона.

Ключевые слова: музыкальная культура, музыкальное образование, региональная культурная политика.

Позитивные результаты интеграционных процессов глобализации сопровождаются культурно-цивилизационными «вызовами», выходящими за рамки национальной безопасности отдельных стран. Так, активно расширяющееся влияние на регионы России арабо-мусульманской культуры сопровождается усилением религиозной самоидентификации населения, в северокавказском регионе — доминированием мусульманской идентичности. Дальнейший рост арабо-мусульманского компонента в социокультурном пространстве северокавказского региона может сформировать приоритет арабо-мусульманской системы ценностей над светскими, в конечном итоге — вызвать потерю общегражданской идентичности. Необходимо учитывать, что «целевой аудиторией» исламизации является молодежь: именно в среде молодого поколения получили распространение духовные ценности арабо-мусульманского мира, арабский стиль в одежде, интернет-сообщества сторонников «чистого» ислама.

Влияние институтов мусульманского мира на социокультурное пространство российских регионов оказывается настолько активным, что позволяет говорить о глобализационном характере исламизации. При этом наиболее активно выступил ислам, несущий радикальные коннотации. Параллельно с активностью распространения исламизации происходит усиление архаизационных и традиционалистских тенденций в социокультурной сфере, что порой трактуется как стремление к сохранению этнокультурной идентичности в условиях глобальной вестернизации.

В данных условиях приобретает актуальность региональная культурная политика, главная задача которой — создание культурной среды, аккумулирующей достижения традиционной этнокультуры, «традиционного» (не радикального) ислама и культуры современного индустриаль-

ного мира. Культурная политика рассматривается нами не только как механизм сохранения культурного наследия страны, но и в качестве средства формирования общегражданской идентичности, актуализации роли патриотизма, разработки стратегии национальной безопасности. Таким образом, региональная культурная политика — важнейший стратегический ресурс развития России в XXI веке. Востребованность в региональной культурной политике получает «мягкая сила» (soft power), которая, по мнению американского исследователя Джозефа Ная, «привлекает своей культурой, политическими идеалами и программами» [4]. Результативность «мягкой силы» выявится в процессе роста общегражданской идентичности народов северокавказского региона через элементы массовой и элитарной европейской культуры.

Предполагается, что эффективная региональная политика, направленная на формирование общегражданской идентичности через актуализацию института традиции и модернизацию социокультурной среды, выступит основой национальной безопасности. Возможность практического применения научных результатов исследования региональных аспектов культурной политики определится при разработке стратегий национальной безопасности с учетом специфики культурной среды.

Многообразие культурных традиций — ценнейшее богатство России. Спектр музыкальной культуры республики Дагестан отражает сложившиеся в едином территориальном и социокультурном пространстве антиномии городской культуры и сельской (крестьянской), индустриальной и традиционно-консервативной. В этой связи актуализируется роль региональной культурной политики, приоритеты которой формируются с учетом этно-конфессиональных, исторических, географических, социально-экономических и др. условий региона [1, с. 500].

На заседании Президентского света по культуре и искусству Президентом Российской Федерации сказано: «Считаю, что культуру нельзя загонять в прокрустово ложе бессмысленной отчетности о количественных достижениях и процентах на душу населения. Она может измениться только общественным признанием и характером влияния на становление личности. Нам нужна новая, комплексная система оценки качества культурной среды и эффективности реализуемых мер» [3].

В проекте Доклада «О государственной культурной политике» в числе основных задач государственной культурной политики названо Сохранение наследия отечественной культуры как универсальной ценности, определяющей национальную самобытность России и составляющей основу развития человека и общества: «Важно не только сохранять культурное наследие, но и обеспечивать его интеграцию в культурную среду, популяризировать его и делать доступным для населения страны, актуализировать через сознание молодого поколения, активно включать в образовательные и воспитательные процессы всех уровней» [2, с. 25].

Ведущую роль в региональной культурной политике республики Дагестан решает создание культурной среды, главным условием эффективности которой является развитая институциональная сеть учреждений художественного образования, музыкальное образование и просвещение, практика популяризации академической музыки, осуществляемая учреждениями образования и социально-культурными институтами [1, с. 500–501].

Большую работу в плане совершенствования подготовки музыкально-педагогических кадров ведет профессорско-преподавательский коллектив Дагестанского государственного педагогического университета. В настоящее время факультет музыки ДГПУ — единственный специализированный центр, имеющий собственные принципы

и методы работы в области высшего музыкально-педагогического образования. Осуществляя профессиональную подготовку бакалавров педагогического образования, педагоги факультета разработали основную образовательную программу «Музыка и мировая художественная культура». Концепция программы учитывает, что «мировая культура, в частности музыкальная культура современного Дагестана, развивается через взаимодействие различных локальных и функциональных культур, в результате чего возникает сеть общения, поддерживающая огромное разнообразие не только стилей, типов менталитета, поведения, но и ценностных ориентаций, национально-этнической самобытности» [1, с. 501]. Одной из острых проблем в области профессионального музыкального образования является проблема снижения среди подрастающего поколения интереса к классической музыке, к профессии учителя музыки, музыканта-педагога. Отсутствие во многих районах Дагестана детских музыкальных школ порождает приток на факультет абитуриентов без базовых музыкальных знаний. Актуальность этой проблемы была отмечена на конференции, посвященной 100-летию Г. А. Гасанова — основоположника профессионального музыкального образования в республике: «Разработка коллективом факультета концепции непрерывного музыкального образования наилучшим образом разрешит данную проблему через создание при факультете музыкальной школы, аналогичной Центральной музыкальной школе при Московской консерватории, где дети обучаются вплоть до поступления в консерваторию» [5, с. 10].

Предполагается, что художественная культура, музыкальное просвещение выступят действенным средством при формировании гражданской идентичности народов Дагестана и определяют социокультурный потенциал региона.

Литература:

1. Абдулаева, М. Ш. Музыкальное просвещение — компонент региональной культурной политики республики Дагестан: реалии и перспективы // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8–2. с. 499–502.
2. Государственный совет Российской Федерации. Совет при Президенте Российской Федерации по культуре и искусству. Доклад «О государственной культурной политике» (проект).
3. Заседание Совета по культуре и искусству 2 октября 2013 г. [Электронный ресурс] // Президент России. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/transcripts/19353> (дата обращения: 01.09.2015).
4. Най, Д. Soft power, или «мягкая сила» государства [Электронный ресурс] // О ситуации в России. Режим доступа: http://www.situation.ru/app/j_art_1165.htm (дата обращения: 01.09.2015).
5. Осипов, Р. С. О некоторых проблемах совершенствования системы профессионального музыкального образования в Дагестане // *Теория и практика музыкального образования: история, современность, перспективы: Материалы республиканской научно-практической конференции 8 декабря 2000 г.* — Махачкала, ДГПУ, 2000.

Тема города Муром в творчестве Ивана Семёновича Куликова

Домахин Александр Алексеевич, студент

Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского

В статье рассказывается о картинах И. С. Куликова, на которых изображены люди, окрестности, ярмарки и базары старинного города Мурома. Приведён анализ некоторых из них.

Ключевые слова: Иван Семёнович Куликов, Муром, ярмарка, монастыри, картина.

Современный мир вновь вносит в жизнь нашего общества интерес к живописи и в целом к искусству. Возвращается интерес и к коллекционированию предметов искусства. Многие художники не только пишут собственные картины, но и создают, по истине, великолепные коллекции, где предметы старины гармонично сочетаются с предметами современного искусства. Одним из таких людей в начале XX века в Муроме был Иван Семёнович Куликов. Написав более 1500 картин, он стал основателем и первым директором Муромского историко-художественного музея (МИХМ), в котором собрал около 400 работ декоративно-прикладного народного искусства. Значительная часть картин в его творчестве посвящена родному городу Мурому, его окрестностям, крестьянам, ярмаркам и т. п. [3, с. 83]. Поэтому целью данной работы является выявление картин о городе Муроме в творчестве Ивана Семёновича Куликова и анализ некоторых из них.

С раннего детства художника восхищали обширные ярмарки и базары, проходящие в Муроме. На них приезжали жители близлежащих деревень, сёл и городов. Куликов описывал Муром красочно не только на картинах, но и словами: «город в течение двух недель наполнялся народом. Было шумно и весело и нарядно... Слепые сидели на мосту и пели священные псалмы... Запах свежескошенной травы, которую жевали лошади у своих телег... пахло дётгем, которым смазывались колёса — всё это в солнечный день свою имело прелесть» [2, с. 62]. Иван Семёнович посвятил ярмаркам целую серию работ: «В праздничный день» (1906), «Базар в Муроме» (1907), «Базар у карусели» (1908), «Базар с баранками» (1909),

«Ярмарка» (1910) «Ярмарка в Муроме» (1910–1912), «Базар у церкви» (1913). Все картины изображающие Муромские базары и ярмарки написаны примерно в одинаковой цветовой гамме, имеют практически одинаковую манеру, поэтому можно проанализировать только одну из них.

В картине «Базар в Муроме» (Рис. 1) художник с большой точностью представляет себя в роли собирателя старины, изображает момент выбора на базаре предметов писца (XVII-XVIII век): подвесных литых чернильниц с объёмными изображениями птицы сирина, всадника, сцены борьбы с единорогом, а также подсвечника с двуглавым орлом, держателя-футляра для гусяного пера, которые он сам лично приобрёл в коллекцию МИХМ.

Сюжет картины прост, как и в большинстве произведений Куликова. В один из жарких дней лета не затихает многоцветная ярмарочная улица. На полотне она показана очень обобщённо: фигуры и лица толпы в большинстве своём являются только фоном, и только на переднем плане изображаются несколько фигур. Художник применяет здесь приём изображения фигур, которые освещены против света. Человек вырисовывается силуэтом либо на фоне голубого неба, либо на пейзаже, который красочно освещён солнцем. Справа задумчиво, неторопливо и изящно проходит румяная девушка в роскошном платке и тёмно-зелёном платье. Слева от миловидной девушки размещен какой-то чиновник. Он разглядывает старинные предметы, лежащие на земле (набор писца XVII-XVIII века), которые продаёт пожилая женщина под зонтом, ярко освещенным солнцем.



Рис. 1. Картина «Базар в Муроме»



Рис. 2. Картина «В праздничный день»

Картины «Базар в Муроме», «Базар с баранками», «Мальчики на базаре» написаны в разных временных промежутках, но написаны как бы в едином духе, одном стиле. Персонажи женщин можно выделить в сразу нескольких произведениях Ивана Семёновича. Например, крестьянка, изображённая в зелёном платье и малиновом платке с цветами, предстаёт перед нами на нескольких полотнах [1, с. 83]. На картине «В праздничный день» (Рис. 2) эта крестьянка размещена в центре композиции на переднем плане, а на картине «Ярмарка в Муроме» она помещена среди шумной толпы ярмарки.

Картину «Возвращение из города» Куликов создаёт в 1914 году (Рис. 3). На переднем плане изображены крестьянская девушка и крестьянский молодой человек, которые возвращаются домой из города. Как и на всех картинах подобного жанра движение героев плавны и неторопливы. Можно предположить, что молодой человек провожает свою молодую жену в деревню. Пара грустна и на чём-то сосредоточена. Печальные задумчивые глаза девушки олицетворяют собой чистоту и нежность. Она одета в охристую шубу, а голова покрыта шалью с рисунком в клеточку. У девушки на плече висит короб с гостинцами, которые она

несёт из города. По интересно завязанному шарфу, надетой по-молодецки шапке и модным усикам можно заключить, что молодой человек — городской мещанин. Он уже отвык от тяжелого труда крестьянской жизни. Невзирая на то, что пара идёт вместе, по едва уловимым движениям, взглядам, выражению лица подчёркивается некий конфликт. Вероятно, что данные проводы могут являться последними, кажется, что еще мгновение — и девушка с переживаниями и тяжёлыми мыслями вернётся в свою родную деревню, а молодой человек останется в древнем городе. Фон полотна создаёт уходящий в зимнюю дымку городской пейзаж. Вдали изображены старинные Муромские храмы и монастыри, избы и хозяйственные постройки.

Картина «Возвращение из города» является характерным произведением первого периода творческой деятельности художника, так как построена на излюбленном приёме — контрасте. Охристые оттенки шубы девушки противопоставляются фиолетово-чёрной одежде молодого человека [2, с. 70].

Именно за цикл картин о городе Муроме в октябре 1915 года И. С. Куликов получил звание академика живописи.



Рис. 3. Картина «Возвращение из города»



Рис. 4. Картина «Никола-Зарядская церковь»

На значительной части картин о Муроме Иван Семёнович изображает древнейшие памятники архитектуры города. К 1910–20-м годам относится целый цикл небольших работ, показывающих исторические места города. На этих полотнах архитектурная панорама дополняет жанровые сцены: «Муромские монастыри» (1914), «Никола-Набережная церковь в Муроме» (1916), «Никола-Зарядская церковь» (1916) (Рис. 4), «Соборная площадь в Муроме» (1919), «Село Борисоглебское и его храмы» (1922), «Воскресенская церковь» (1924), «Торговые ряды в Муроме» (1924), «Церковное крыльцо» (1925), «Рождественская площадь в Муроме» (1927), «Улица старого Мурома» и многие другие. Многие памятники с приходом новой власти были вскоре уничтожены, и разрушались на глазах художника. Ужас такого зрелища выплёскивался в беглых зарисовках в его альбоме.

С 1921 по 1925 годы Куликов создаёт несколько репродукций со своих дореволюционных полотен для Владимирского и Муромского музеев: «Гулянье зимой» («Погулянка»), «У околицы» (Находится в Государственной Третьяковской галерее). Также для иллюстраций в МИХМ Иван Семенович написал этюды Муромских памятников архитектуры: этюды торговых рядов, этюды Никола-Зарядской церкви, этюды Богородицкого собора и этюды Рождественской церкви [4, с. 29].

После восстановления Общества имени Ильи Репина значительно возрастает творческая активность Ку-

ликова. В выставке данного общества художник сначала выставляет только 10 графических работ (в основном портреты), но уже в следующем году представляет на внимание зрителям 18 полотен. При всём этом картины были либо копиями дореволюционных произведений, либо небольшими этюдами с несложными сюжетами, изображающими архитектуру города: «Уголок Мурома», «Площадь крестьянина в Муроме» и т. п.

В январе 1935 года Иван Семёнович становится членом горьковского отделения созданного Союза художников (ГОССХ). Куликов занимается живописью даже несмотря на ухудшения в здоровье. Увлекается в основном натюрмортом и пейзажами [2, с. 87]. Но, к сожалению, в пейзажах ограничивается маленькими этюдами, изображающими природу Муромской земли. Художник проявляет себя как тонкий лирик, который знает законы пленэрной живописи. На полотнах автор воссоздаёт голубые просторы реки Оки, живописные дали небольшой речки Илевны, пригородные деревни Подболотню, Ямскую слободу, Нежиловку, насыщая их солнечным светом и невероятным простором. Так создаются замечательные виды Мурома и его окрестностей на картинах «Жатва» (1930) и «Подболотня» (1930) (Рис. 5).

В целом цикл картин Куликова о городе Муром отличается правдивостью и прямолинейностью. Произведения находятся в числе полотен реалистической живописи России, но в то же время наполнены гуманизмом, лиризмом, умиротворением и самое главное любовью



Рис. 5. Картина «Подболотня»

к простому человеку. Живопись Куликова насыщена национальным духом, а богатая цветовая гамма и мастерство исполнения придают картинам невообразимое чувство прекрасного.

Литература:

1. Аникин, Д. Родом из Муром (И. С. Куликов) // Вокруг света, № 6, 1998.
2. Беспалов, Н. А., И. С. Куликов. — М.: Изобразительное искусство, 1990.
3. Домахин, А. А., Иван Семёнович Куликов как художник исторического жанра / А. А. Домахин // Молодой ученый. — 2015. — № 6. — с. 83–87.
4. Липатов, В. С. Краски времени: Очерки. — М.: Молодая гвардия, 1983.

Китайская чайная церемония

Кочетова Маргарита Александровна, студент;

Пищальникова Регина Алексеевна, студент;

Терешкова Надежда Сергеевна, аспирант, преподаватель

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Когда разговор заходит о Китае, первая ассоциация, которая приходит на ум — это чай. Действительно употребление данного напитка является не только приятным время препровождением, как за повседневным, так и за праздничным столом, но и неотъемлемой частью китайской культуры, всех официальных и традиционных мероприятий и церемоний. К тому же чай является традиционным напитком и употребляется каждый день. По мнению Б. Виноградского чай — это совершенно уникальная, живая сущность, символический центр, вокруг которого создается среда для общения, для взаимопонимания культур [1].

Китайцы не только подарили миру название чая и научили человечество употреблять чай как напиток, но и открыли само чайное растение — чайный куст, впервые упомянув о нем почти 4700 лет назад.

Данная тема является актуальной, так как знакомство с историей возникновения одного из основных элементов китайской культуры помогает приблизиться и к самой культуре в целом. Знакомство с обычаями и традициями подразумевает духовное сближение людей разных национальностей. Помимо этого китайский язык играет немалую роль в культуре страны, поэтому знакомство с основными традициями помогает лучше понять и сам язык, что немало важно для тех людей, кто заинтересован в его изучении. Поскольку в России нет такого понятия как чайная церемония, мы рассмотрим, как зародилась эта традиция и как проводится данное мероприятие [2].

Философия китайской чайной церемонии заключается в возможности остановиться, прислушаться к себе, почувствовать всю глубину чайного вкуса и живительную силу его аромата, а также растворить свои мысли в плавных, медитативных движениях ведущего. В нашей статье мы рассмотрим происхождение чая, какие виды чая являются самыми распространенными в Китае, какими целебными

свойствами он обладает и как применяется в медицине, какие особенности существуют в процессе проведения чайной церемонии, и откуда берет начало эта традиция.

Первые упоминания о чае относятся к периоду 4800-летней давности. А открытие чая приписывают одной из центральных фигур китайской мифологии, божественному предку китайской нации ШэньНуну. «Шэньнун» в переводе означает «Божественный Землепашец». Этот культурный герой китайской нации, по преданию, научил китайцев пахать землю, сажать злаки, выращивать полезные и лекарственные растения, и многому другому. ШэньНун имел голову быка и тело человека, а живот у него был из прозрачного нефрита. Существует легенда, что ШэньНун бродил по Китаю, изучая травы, чтобы отделить ядовитые от лекарственных, и тем самым помочь людям лечить болезни. Действие трав он испытывал на себе, наблюдая при этом за воздействием съеденной травы сквозь свой прозрачный живот. По одной из версий легенды, однажды он попробовал очередное незнакомое растение и сильно отравился. Почувствовав себя плохо, он лег на землю под неизвестным ему кустом и закрыл глаза. Внезапно с листьев этого куста скатилась росинка. Проглотив росинку, ШэньНун почувствовал облегчение и прилив бодрости. С тех пор ШэньНун всегда брал с собой листья этого куста, используя их как противоядие. Так, ШэньНун научил древних китайцев употреблять чай как лекарство. Есть также мнение, что чай первоначально использовался как ритуальное растение [1, с. 6].

В Древнем Китае чай пили только богатые люди. А вот когда точно чай из лекарства превратился в повседневный напиток, не знает никто. Историки чаще всего упоминают 1 в. до н. э., период правления династии Хань (207 до н. э. — 220 н. э.). В то время мода на чай уже широко распространилась, и чай можно было купить на рынке.

Позже, во время правления династии Тан (618–907) чайное искусство развивалось очень быстро, и появились новые технологии выращивания и обработки чайного листа. Появилось множество произведений, посвящённых чаю — песни, стихи, рисунки... К этому же периоду относятся и первое систематическое описание чайной культуры и традиций Китая. Это знаменитый «Трактат о чае», написанный в VIII в. известным поэтом танской династии Лу Юем. В книге приводится полное описание известных на тот период сортов чая, способов приготовления напитка, обычаев, связанных с чайной культурой в разных провинциях, а также описание воды из разных источников. Лу Юя до сих пор почитают в Китае как Божество чая — Ча-шэнь, во многих китайских чайных на видном месте можно увидеть статуэтку Лу Юя с чашкой чая в руках.

В Россию чай проник по Великому шелковому пути. В 1567 году казаки преподнесли царю в качестве подарка баночку душистого чая. Но по-настоящему чай начали ценить и пить в 19 веке, заваривая его в знаменитых самоварах [3].

Существует много различных подходов к классификации поистине огромного количества различных сортов чая. Наиболее распространенный — классификация по степени ферментации, сложного биохимического процесса, происходящего под воздействием температуры, влаги, солнечного света, механического воздействия кислорода, и ферментов, и времени. Совокупность этих параметров и определяет особенности и скорость процесса. Можно выделить медленный и ускоренный способ ферментации.

Еще до того как чай стал широко использоваться в повседневной жизни, было известно о его целебных свойствах и он применялся в медицине. Чай и сейчас является одним из уникальных растений, несущим в себе огромный спектр различных веществ, оказывающих при правильном употреблении благоприятное действие на организм человека. Во-первых, чай является мочегонным напитком и удаляет поверхностные опухоли, выводит яды и алкоголь. К тому же, выпитый за 20 минут до еды чай улучшает аппетит и пищеварение, регулирует метаболизм жиров и при этом не имеет побочных эффектов. Во-вторых, устраняет сонливость, взбадривает дух, снимает усталость. Чай так же способствует укреплению сухожилий и костей, образованию крови, поддерживает функцию щитовидной железы.

Зеленый чай восстанавливает функции щитовидной железы и помогает организму противостоять радиоактивному облучению. Восстанавливает кроветворную деятельность организма, то есть способствует повышению количества белых клеток в крови, и, следовательно, повышает иммунитет организма. Помогает организму противостоять возникновению раковых клеток в после радиации [1, с. 17].

В Китае чай — не просто напиток, утоляющий жажду, он является так же частью такого важного традиционного мероприятия, как чайная церемония, то есть специфиче-

ская ритуализованная форма совместного чаепития, созданная в Китае и по настоящее время культивируемая в этой стране. Искусство чаепития и чайной церемонии — основа китайской культуры чая. Понятие «искусство» включает в себя технику и художественную сторону процесса приготовления и дегустации чая, в то время как понятие «церемония» относится к атмосфере, в которой происходит этот процесс.

Понятие «чай как искусство» означает, что процесс возделывания, сбора, приготовления и отбора чая следует считать эстетическим наслаждением, таким же, какое мы испытываем, читая прекрасные стихи или слушая великолепную музыку. Для китайцев чай является воплощением духа Вселенной. Когда чай попадает в ваш организм, вас наполняет энергия солнца, луны и земли и всех чудес света. Именно поэтому все знаменитые знатоки культуры китайского чая либо сами умеют выращивать, собирать и готовить чай, либо досконально изучили опыт производства чая [4].

Сам процесс чаепития представляет целую церемонию, где необходимо соблюдать определенный порядок в заваривании чая. Основная цель чайной церемонии — раскрыть аромат и вкус чая, а здесь спешка ни к чему. Спокойное состояние духа — неперемное условие церемонии. Маленькая изящная посуда, замысловатые предметы чайной утвари, тихая музыка создают особую атмосферу церемонии.

Способов употребления данного напитка существует множество. На сегодняшний день чай часто пьют большими чашками (по 200 мл) как в русскоговорящих странах, поскольку такой объем может утолить жажду, или совсем маленькими чашками, делая при этом маленькие глоточки. В древние времена чай пили ложками, что давало возможность не только почувствовать вкус и аромат чая, но и получать удовольствие от самого процесса чаепития.

Для приготовления на чайной церемонии в большинстве случаев используется улун. Данный чай, часто называют чаем «черного дракона» или «императором чайного мира», что связано в первую очередь со способом его приготовления и плантациями, на которых он выращен. Его пьют только на праздничных чаепитиях. Данный чай относится к бирюзовым чаям, что означает, что по крепости он уступает черному чаю, но все же, более «сильный», чем зеленый.

Старая китайская поговорка гласит: «Чтобы хорошо выполнить работу, нужно иметь хорошие инструменты» [5]. Это относится как к простому ремеслу, так и к творчеству. Как любой материальный объект, искусство имеет духовное и художественное начало, поэтому чайные приборы должны быть не просто удобны в использовании, радовать взор формой и сочетанием цветов, а также служить источником эстетического наслаждения.

Лу Юй разработал 24 чайных прибора, которые описал в своем «Каноне чая», это такие приборы как бамбуковая корзина, печь или очаг, инструменты для раскаливания огня и так далее [2].

В Китае принято выражать свое почтение к старшим, предложением чашки чая. Старших родственников приглашают на чашку чаю в ресторан и платят за них — это традиционное китайское занятие в выходные. Раньше чай подавали люди, занимающие менее высокую ступень и социальный статус. Сейчас в Китае можно видеть, что родители иногда подают чай детям, или начальник может налить чай своим подчинённым. Но на официальных мероприятиях более высокопоставленный участник никогда не подаст вам чай.

Дети, заведя семью или уехав работать, редко навещают своих родителей и поэтому совместные чаепития в ресторанах — это важная часть встречи с семьей. В воскресенье китайские рестораны переполнены посетителями, особенно в дни праздников. Семейные ценности имеют важное значение в Китае.

В традициях Китая принято, извиняясь, наливать чашку чая человеку, у которого просишь прощения. Это означает искреннее раскаяние и покорность.

В свадебных традициях Китая в знак уважения жених и невеста подают чай своим родителям, опустившись на колени, говорят слова благодарности. Родители выпивают

чай и вручают молодоженам красный конверт, который символизирует удачу [6].

Чайная церемония в день свадьбы служит и как способ знакомства семей жениха и невесты. Китайские семьи зачастую очень многочисленны, поэтому не все смогут познакомиться на свадьбе. Такое могло случиться в древности, когда у отца семейства было несколько жён.

Изучив данный материал, можно сделать вывод, что чай в Китае — это не просто вкусный напиток. Он является одним из тех предметов, которые составляют значительную часть культуры и традиций страны. Почти ни один день у китайцев не обходится без распития чая, который обладает к тому же и целебными свойствами и изначально использовался в качестве лекарства. Чайная церемония можно сказать, мероприятие сродни медитации, только инструментом расслабления в ней служит не дыхание, а божественный вкус элитного чая. Через процесс чайной церемонии можно постигнуть складывавшиеся веками знания и сблизиться с духом чужой страны, прийти к лучшему пониманию людей, общественной жизни, а опираясь на традиции пройти сквозь сердце нации, которое бьется в самом центре китайской культуры.

Литература:

1. «Путь чая» Б. Виноградский, Москва «Гермитаж-Пресс», 2004 г.
2. Тихонова, Е. В. Компоненты устного билингвального дискурса (на материале китайского языка) // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 1443–1446.
3. «Китайское искусство чаепития» Ван Лин «Центрполиграф» Москва; 2003 г.
4. «Чайный канон» Лу Юй, переводчик Б. Армандас, 2004–2005 г.
5. Tikhonova, E. V., Tereshkova N. S. Information and Communication Technologies in the Teaching of Interpreting // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2014. Т. 154. с. 534–538.
6. Шепотько, А. В. Чайная церемония в Китае // Соизучение языков и культур. Лингвистическое (языковое) образование в вузе.
7. URL: <http://econf.rae.ru/article/4627> (дата обращения: 15.09.2015).

Особенности взаимоотношений в китайской семье

Кузьменко Екатерина Борисовна, студент;

Скворцова Ирина Андреевна, студент;

Терешкова Надежда Сергеевна, аспирант, преподаватель
Национальный исследовательский Томский государственный университет

В настоящее время взаимоотношения России и КНР находятся на стадии развития и взаимодействия во всех сферах деятельности [1–3]. В связи с этим необходимо четко понимать и осознавать менталитет народа, с которым происходит столь тесное сотрудничество, а также в чем заключаются отличия образа мышления китайцев и русских [4].

В двух данных странах центральным компонентом общества является семья. С научной и юридической точки зрения семья — это сообщество, основанное на брачном

союзом мужчины и женщины (отца, матери) и их детей (собственных и усыновленных), связанных духовно, общностью быта и взаимной моральной ответственностью. Семья создается на основе брака, кровного родства, усыновления, а также на других основаниях, не запрещенных законом и таких, которые не противоречат моральным принципам общества.

Несмотря на свою всеупотребительность, понятие семьи довольно многозначно, а его четкое научное определение довольно затруднено. В различных обществах

и культурах определение семьи может некоторым образом различаться. Кроме того, часто определение зависит также и от той области, относительно которой это определение даётся. Существует много определений семьи. Каждое из них зависит от конкретных исторических, этнических и социально-экономических условий, а также от конкретных целей исследования [5].

Если мы обратимся к словарю Ожегова, то найдем там следующую трактовку: «семья — группа живущих вместе близких родственников» [6]. Ушаков дает несколько более широкое определение понятию «семья»: группа людей, состоящая из родителей, детей, внуков и ближних родственников, живущих вместе [7]. В контексте данной статьи мы будем использовать термин «семья» согласно определению Ушакова, так как оно наиболее точно поясняет данное понятие в китайском и русском представлениях.

Каждый народ является носителем определённой культуры, традиций, норм и ценностей, которые меняются с течением времени. Следовательно, изменения ориентиров, разнообразные переломы являются предпосылками для дальнейшего развития, эволюции и революции ментальных особенностей той или иной нации [8]. Однако за историю человеческого существования семья была и до сих пор остаётся одной из важнейших ценностей для народов мира. Каждый человек нуждается в любящей и крепкой семье. Именно поэтому каждое государство стремится максимально укрепить статус семьи в обществе. Кроме того, семья способна в той или иной степени влиять на общество, регулировать быстро растущий индивидуализм, а также способствовать сохранению и передаче культурных норм и ценностей будущему поколению.

Для начала рассмотрим подробно особенности отношений в китайской семье. Китай традиционно уделяет особое повышенное внимание развитию института семьи. Семья всегда рассматривалась как некое маленькое государство, отец являлся «представителем» императора в этом государстве. Отношения между членами семьи, подобно отношениям между гражданами одной страны, базировались на нормах конфуцианской морали.

Религия в целом оказывала огромное влияние на развитие китайского общества, на житейский уклад, на духовную жизнь (искусство, образование) Китая. Под значительным воздействием оказался и китайский институт семьи.

Уклад в китайской семье всегда был строго патриархальным и имел определенные правила и нормы. На протяжении более чем 2000 лет в семье соблюдались «пять хороших проявлений», или «пять хороших качеств», «уха-оцятин» 1) В семье должны быть уважение к старшим и любовь к юным; 2) должна быть гармония между мужем и женой; 3) семья должна поддерживать добрые отношения с соседями; 4) в семье должны присутствовать трудолюбие и бережливость; 5) семья должна заботиться об охране окружающей среды.

Традиционная китайская семья создавалась для конкретной цели — продолжение рода. Согласно конфуци-

анским нормам, человек, не желавший создавать семью, считался безнравственным, так как такой человек не думал о продолжении рода, а, значит, уклонялся от своего долга перед предками. На холостяков в Китае смотрели с презрением и подвергали суровому моральному осуждению. Внебрачные дети считались большим позором как для матери, так и для всей семьи.

В настоящее время молодые люди больше руководствуются понятиями «счастье» и «любовь» при выборе будущего партнера. Брак больше не является чем-то обязательным или навязываемым обществом. Кроме того, как раз в это же время китайские власти обратили внимание на остро стоящую демографическую проблему в стране, которая заключалась в стремительном и неконтролируемом росте населения. С тех пор государство проводит политику, требующую создавать исключительно нуклеарные семьи (то есть семьи, состоящие из родителей и детей, либо только из супругов).

В развитии китайского института семьи за последние десятилетия наметились следующие тенденции: 1) Уменьшение среднего размера семьи; 2) «вестернизация»; 3) изменение внутрисемейных отношений и положения детей в семье; 4) трансформация семейной морали; 5) нуклеаризация и др [9].

Во многих странах беременным женщинам оказывается особое внимание. Так и в Китае в течение беременности и некоторого времени после рождения ребенка мама и новорожденный особо опекались: матери не следовало часто вставать с кровати и вообще передвигаться, запрещалось стричь волосы, пить зеленый чай, следовало держать нижнюю часть тела в тепле и т. п. В этот период вся забота о ребенке и домашние обязанности ложились на плечи других родственников женского пола [9].

В традиционном Китае была особая система ухода молодых людей за старшим поколением, поддержка родителей являлась особой функцией семьи. Но жесткая демографическая политика, пришедшая на смену конфуцианским понятиям о большом потомстве, нанесла серьезный ущерб по системе семейного ухода за родителями. Единственному ребенку в семье приходилось теперь взваливать себе на плечи уход за своими родителями и двумя парами бабушек и дедушек.

В современном китайском обществе традиция ухода за старшими поколениями еще сильнее отошла на задний план. А концепция «абсолютного послушания отцу» постепенно сменилась идеей равенства между членами семьи. Таким образом, связь между поколениями постепенно ослабела и сейчас в отношениях родителей и их взрослых детей все больший акцент делается на материальную сторону отношений.

В конечном итоге, на китайские отношения внутри семьи сильно повлияла европейская культура. Дети по-прежнему питают уважение к старшим и заботятся о них, но молодое поколение стало более самостоятельным и менее зависимым от мнения своих родителей и пра-родителей [11].

Теперь перейдем к подробному описанию российской семьи. Так сложилось, что в прошлом, как в императорской России, так и в Советском Союзе, были сильны патриархальные воззрения. Они представляли собой систему взглядов на мир традиционного русского общества, крестьянства, мещанства небольших российских городов. Это был патриархальный мир традиционного житейского уклада, который включал в себя веками отработанный механизм социализации, воспитывающий в человеке стремление работать на благо семьи, подчиненность детей и женщин главе семьи — мужчине.

Брак в дореволюционной России строился не на любви, а на выгоде. Женщина воспринималась как некий объект, который можно было выгодно «купить» и «продать». Настоящая любовь была редким явлением и уж точно не считалась поводом для заключения брака. Считалось, что хорошая жена должна была быть не столько красивой, сколько хозяйственной — на ней лежала вся работа по дому (воспитание детей в дворянской семье; уборка, готовка, работа в поле в крестьянской семье). Мужчина был главой семьи. Он должен был обеспечивать и защищать своих домочадцев, быть сильным, строгим и справедливым. Жена должна была быть прилежной, во всем подчиняться своему мужу.

Это подчинение оправдывалось одной из идей господствовавшей тогда в нашей стране религии — православия. Идея заключалась в превосходстве мужа над женой. Религия пронизывала все сферы общества и имела огромное влияние на сознание народа, так что никто не оказывал сопротивление этому укладу.

Практически каждый мужчина в царской России был женат ввиду более высокого социального статуса по сравнению с женщиной. Для женщины же не выйти замуж («остаться старой девой») считалось позором. Это как бы говорило о том, что женщина не подходила под нормы критерии того периода.

В настоящее время люди, не состоящие в браке, уже не вызывают общественного осуждения, не являются чем-то необычным.

Со времен СССР излишняя религиозность сменилась полным ее отсутствием. Выросло несколько поколений людей, сознание которых было свободно от православных предубеждений.

Таким образом, проанализировав весь пройденный путь становления российской семьи такой, какой мы видим ее сейчас, можно сделать вывод о том, что отношения семье и в обществе в целом стали более либеральными.

После всего вышесказанного можно перейти к сравнительному анализу. К сходствам можно отнести следующие суждения:

1. И русские, и китайские семьи на ранних этапах своего развития отличались особой патриархальностью.

2. Русским и китайским детям с раннего возраста прививалось уважительное отношение к старшим и любовь к труду как умственному, так и физическому.

3. Как Россия, так и Китай в конечном итоге пришли к относительному равноправию в семейных отношениях.

4. И в китайской, и в российской культуре мужчина и женщина представлялись как единое целое (отдельное подтверждение этому можно найти в древнерусских и в древнекитайских поговорках: «Муж без жены — что гусь без воды» (рус.), «Муж да жена — одна душа» (рус.), «Муж поет, а жена подпекает» (кит.), «В дружной семье всё получится» (кит.)).

5. В обеих странах положение женщин долгое время значительно принижалось.

Можно также отметить ряд отличий:

1. Если говорить о религиозной составляющей семейных отношений, то в российской семье отношения регламентировались христианством — Бог создал человека по своему образу и подобию, мужчина и женщина равны. Что же касается китайской семьи, то там огромное влияние оказывало конфуцианство. Семейные отношения между мужем и женой закреплены феодальной нормой: муж — руководитель жены. Семейное устройство напоминает государственное, в котором строгие нормы приводят к власти императора (отца). В российском обществе понятия «семья» и «государство» не были так близки [12].

2. В настоящий момент в Китае действует политика, направленная на сокращение рождаемости. В России же действует прямо противоположная политика.

3. Китай долгое время являлся закрытой страной, которая не испытывала влияния извне (этим можно объяснить те конфуцианские нормы, которые оставались неизменными на протяжении стольких веков). Россия на длительные периоды оказывалась под влиянием то Европы, то Азии, что, естественно, сказывалось на семейных отношениях (в период монголо-татарского нашествия в русской семье особо остро проявились элементы диктаторства; в середине XVIII века с началом европеизации положение женщин начало меняться (право на образование)).

Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что между российской и китайской семьями сходств больше, чем различий. Несмотря на разные пути развития, менталитет и условия жизни эти страны имеют много общего. Это говорит о достаточной близости, схожести характеров этих, казалось бы, непохожих друг на друга стран. Познав семью данной страны, ее традиции и обычаи, мы начинаем лучше понимать культурные особенности данного государства. А это необходимо для установления дружеских отношений между странами, что как нельзя важно при нынешней политической ситуации в мире.

Литература:

1. Tikhonova, E. V., Tereshkova N. S. Information and Communication Technologies in the Teaching of Interpreting // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2014. Т. 154. с. 534–538.

2. Кулманаква, Е. В. Формирование и развитие коммуникативно-речевой компетенции студентов, изучающих китайский язык // Проблемы и перспективы развития образования в России. 2010. № 1. с. 178–181.
3. Кулманаква, Е. В. Психология студентов и развитие их мотивации к изучению китайского языка // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. 2010. № 12–2. с. 105–110.
4. Тихонова, Е. В. Обучение будущих лингвистов устному последовательному переводу на основе анализа дискурса аудио- и видеоматериалов (китайский язык; профиль «Перевод и переводоведение»): автореферат дис... кандидата педагогических наук: 13.00.02 / Московский государственный гуманитарный университет им. М. А. Шолохова. Томск, 2014.
5. Осипов, Г. В., Коваленко Ю. П. «Социология», М., 2005.
6. Ожегов, С. И. «Словарь русского языка» / Москва, 1990.
7. Ушаков, Д. Н. «Толковый словарь русского языка» / Москва, 1935–1940. (4 т.).
8. Материалы III Общероссийской студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» 15–20 февраля 2011 года [Электронный ресурс] URL: <http://www.rae.ru/forum2011/113/510> (дата обращения 10.09.2015).
9. Андрей Шляхов «Китай и китайцы. Привычки. Загадки. Нюансы» / Москва, 2015.
10. Плескачевская, И. Послания вышивкой / Дальний Восток, 2008.
11. Пашенко, Г. Инь Фен Оу Сян Отношение родителей и детей в Китае [Электронный ресурс] Электронный архив Сумского государственного университета URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/18062/1/15.pdf> (дата обращения 11.09.2015).
12. Ян Фан Концепт «семья» в русской и китайской языковых картинах мира // Известия Томского политехнического университета Выпуск № 6 / том 323 / 2013 [Электронный ресурс] Электрон. версия печат. публ. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/kontsept-semya-v-russkoy-i-kitayskoy-yazykovyh-kartinah-mira> (дата обращения 03.09.2015).

Искусство китайкой и русской вышивки

Набока Дарья Дмитриевна, студент;

Терешкова Надежда Сергеевна, аспирант, преподаватель
Национальный исследовательский Томский государственный университет

Одним из самых древнейших видов рукоделия всех времен и народов является вышивание. Каждый народ имел свой, уникальный вид шитья, внося в него свои национальные элементы. Проникая в разные стороны духовной и материальной жизни народа, вышивка ярко и многогранно выразила художественную культуру страны изучаемого и родного языка. Все особенности и специфические черты народного творчества, свойственные искусству шитья, были выработаны многими поколениями мастеров. Постепенно вышивка каждой народности достигла той удивительной гармонии, которая и сейчас восхищает нас в любом произведении национальной вышивки.

Актуальность данной темы состоит в том, что нам необходимо познакомиться с культурой Китая для того, чтобы не только учить китайский язык, но и знать особенности цивилизации страны изучаемого языка [1–3]. Мы познакомимся с таким исконно китайским видом искусства, как вышивка, и сравним её с русской. Благодаря полученным знаниям мы сможем приблизиться к раскрытию секрета китайской вышивки и попытаемся понять её тайну, которая содержит в себе дух Востока и наследия предков.

Также, сравнив русскую и китайскую вышивку, мы найдём сходства и различия в истоках зарождения данного вида рукоделия в России и Китае.

Восток издревле славился виртуозным мастерством своих ремесленников. Перечень уникальных изделий может быть очень долгим, однако уникальной жемужиной является искусство вышивки шелковой нитью по шелковому полотну. Этот вид прикладного искусства занимает важное место в культурном наследии Китая и насчитывает не одну тысячу лет.

Китай — первая страна в мире, которая начала использовать шелк. Производство шелковой нити и ткани привело к развитию китайской вышивки.

Вышивание — одно из древнейших прикладных искусств Поднебесной, зародившееся более 3000 лет назад.

С древних пор в Китае вышивали шелком, шерстью и хлопковыми нитями на самых разных материалах — шелке, атласе, грубой мешковине и т. д. Вышивка шелком по шелку — самая дорогостоящая и изысканная, требующая кропотливой работы и виртуозного мастерства исполнителя. Картины, вытканые шелком, являются настоящим произведением искусства. Меняющие цвет

в зависимости от освещения, прозрачные и воздушные вышивки с акварельными переходами света всегда высоко ценились при императорском дворе и в аристократических семьях [4].

Четыре главных стиля китайской вышивки шёлком сформировались на основе четырех различных культур, господствующих в областях на месте расположения современного Китая: 1) Ксианская вышивка появилась в местности Чанши провинции Хунань. Сяньсюй — 湘绣 (провинция Хунань); 2) гуандунская вышивка известна в местности Чаоджу провинции Гуандун. Юэсюй — 粤绣 (провинция Гуандун); 3) сычуаньская вышивка родилась в местности Чэнду провинции Сычуань. Это — самый старый стиль вышивки в китайской истории: образцы шелка с фрагментами сычуаньской вышивки были обнаружены более 3000 лет назад в саркофаге мумии в Египте. Шусюй — 蜀绣 (провинция Сычуань). Сычуаньская вышивка — шусюй была широко известна уже 1000 лет назад. Рукодельницы при вышивании используют 100 видов стежков и швов, благодаря которым получают необычайно реалистичные изображения; 4) сучжоуская вышивка. Это наиболее известный и знаменитый стиль, получивший также (впоследствии) название «Свободный стежок», сформировался в местности Сучжоу провинции Цзянсу. Сусюй — 苏绣 (провинция Цзянсу, г. Сучжоу). Сучжоуская вышивка зародилась в городе Сучжоу свыше 2000 лет назад, в эпоху Троецарствия. В Древнем Китае секреты этого искусства передавали от мужчины к мужчине, или в крайнем случае, жене сына, но не дочерям. Сучжоуская вышивка сочетает в себе графику, живопись и рукоделие. Вышиваются изделия тонкими иглами и шелковыми нитями. Созданные изделия кажутся живыми [4].

Бурное развитие вышивки приходится на время правления династии Хань. Именно в этот период происходит формирование четырех основных направлений данного типа декоративно-прикладного искусства — Сян, Юэ, Шу и Су.

Вышивка Су — коротко от Сучжоу — типичный южный город, в котором она зародилась и получила свое название. Сучжоу отражает спокойствие, утонченность, живостью и элегантность. Вышивка Су преобладала в королевских гардеробах и на стенах. Даже сегодня она занимает большую долю рынка в Китае и в мире.

Вышивка Шу была создана в провинции Сычуань. Китайская вышивка Шу характеризуется изысканностью и живостью. Самая ранняя запись о вышивке Шу была сделана во времена династии Западная Хань.

Во время династии Цин вышивка Шу вышла на рынок. Стиль стал более элегантным и охватывал более широкий диапазон. На вышивке стали изображаться, репродукции картин, шаблоны дизайнеров, пейзажи, цветы и птицы, драконы и феникс, древние монеты.

Вышивка Сян — искусство из провинции Хунань, свое название она получила благодаря реке, протекающей на этой территории. В вышивке Сян насчитывается картины как будто двигаются и дышат.

Вышивка Юэ — кантонский стиль вышивки. Считают, что история этого стиля началась с династии Тан, так как LuMeiniang, вышившая семь глав буддийских сутр, была родом из провинции Гуандун. Раньше эту территорию называли Кантоном. Портреты, цветы и птицы являются наиболее популярными темами китайской вышивки Юэ. Кроме того, в ней используются насыщенные цвета для сильного контраста, что дает великолепный эффект. Часто изображаются сотни птиц, рыбы, омары, бергамот.

Основой для создаваемого шедевра служит полупрозрачный шёлк, на котором, с помощью тонкой иглы и ярких шелковых нитей, воспроизводят определенный сюжет. Обычно, это изображения почитаемых в стране животных и птиц, красочные композиции из цветов, завораживающие пейзажи. Главный секрет заключается в том, что мастера скрывают узелки нитей так, что каждая из сторон выглядит лицевой.

Вышивка и в настоящее время также важна для Китая. Китайский президент, посещая другие страны, часто преподносит первым лицам этих стран подарок — картина, вышитая шелком — на день рождения или по другому поводу. Все это мы нередко видим по телевизору или читаем в газетах [5, с. 14–41].

Для того, чтобы понять характерные черты и особенности китайской вышивки стоит провести сравнение двух народных видов декоративно-прикладного искусства. Для этого возьмём второй вид национальной вышивки — русскую вышивку.

Для того, чтобы разобраться в художественных особенностях русской народной вышивки, нужно обратить внимание на условия его распространения. Научкой приняты различные типы орнамента, которые и можно рассматривать в качестве принципа классификации.

Русская традиционная вышивка один из древнейших видов декоративно-прикладного искусства, широко распространенный по всей территории России. Находки, относящиеся к IX — XII векам, подтверждают, что ручная вышивка существовала и развивалась уже в эпоху Древней Руси. Вышивка применялась для украшения скатертей, полотенец и т. д., праздничного и повседневного костюма, церковного облачения и утвари и т. п. Традиционная русская вышивка отличается разнообразием орнаментальных мотивов и технически х приёмов исполнения, поэтому можно выделить две основные группы.

К первой относятся вышивки, выполняемые по счету нитей ткани и поэтому тесно связанные с ее структурой: обычно красный, узор ложится на поверхность белого холста тончайшим кружевом, причем рисунок одинаков с обеих сторон ткани. Этот тип вышивки, имеющий несколько разновидностей («роспись», «клетка», «шашка» и т. д.), был широко распространен в Олонецкой, Архангельской, Вологодской, Тверской и Новгородской губерниях.

Вторую группу традиционных русских вышивок составляют те их виды, швы которых не зависят от структуры

ткани — тамбур, «гладь по рисовке» (свободная гладь), владимирская гладь и швы, используемые в золотом шитье. Владимирская гладь выполняется по лицевой стороне ткани толстой красной нитью с добавлением синих, желтых и зеленых ниток. С изнанки мелкие стежки образуют контур рисунка [6, с. 5–10].

Свободная гладь — основной тип мастерской вышивки. Она выполняется белой нитью по тонким белым тканям типа батиста. В результате получается выпуклый, разнообразный по фактуре узор. Белая гладь всегда сочетается с вышивкой стягами, которые придают растительным узорам ажурность и особую легкость [7].

Россия огромная страна, поэтому русская народная вышивка имела свои особенности в каждой области и даже районе. Например в Чувашии к вышивке относились очень трепетно. Здесь для вышивки использовались нити трех основных цветов: черного, красного и белого. Каждый из них имел свое значение. Красный обозначал стремление к новому, хорошему, белый символизировал чистоту, а черный служил чем-то вроде рамки.

Исследовав истории зарождения и техники китайской и русской вышивки, можно прийти к такому выводу: между данными видами рукоделия в России и Китае существуют как сходства, так и различия. Сначала обозначим сходства: во-первых, и в России, и в Китае существует разнообразие техник прикладного искусства, которые различаются по месту возникновения и имеют уникальные черты. Во-вторых, в обеих странах мастера вкладывали душу и сакральный смысл, который нес определённую энергетику и способствовал развитию определённых сторон жизни человека. В-третьих, драгоценные знания рукодельниц передавались из поколения

в поколение. Также китайская и русская вышивки имеют существенные отличия: во-первых, данный китайский вид рукоделия зародился гораздо раньше русской. Во-вторых, Русская вышивка отличается от вышивки Китая, т. к. большую роль в ней играют геометрический орнамент и геометризованные формы растений и животных, а в Китае все вышитые картины как будто живые благодаря переливающимся на свету шёлковым нитям. И в-третьих, в процессе развития рассматриваемого прикладного искусства сразу можно выделить различие материалов для работы над картинами или орнаментами (ткань, нити).

Таким образом, традиционная вышивка благодаря своей наглядности может помочь нам воссоздать традиционную картину мира и понять характерные черты в общей картине культуры страны. Художественная культура представляет собой комплексную систему. Искусство вышивки возвращает нас к истории предков и активизирует созидательные силы народа. Сопоставив китайскую и русскую вышивку друг с другом, мы выявили определённые сходства и различия между различными типами декоративно-прикладного искусства. Развитие Поднебесной насчитывает уже более 4 тысяч лет. Китай долгое время формировал свою культуру изолированно от других стран и народностей, поэтому мы моментально видим важные различия в культурном наследии китайской цивилизации. Сразу можно сказать о том, что Китае самое важное значение в жизни людей имеет мораль и духовное развитие, китайская культура поможет нам достичь гармонии с собой и с миром, поэтому китайская вышивка настолько завораживает и покоряет сердца людей.

Литература:

1. Тихонова, Е. В., Белов Д. Н. Профессиональная компетентность военного переводчика (на материале китайского языка) // Молодой ученый. 2015. № 14. с. 525–528.
2. Тагина, Е. К., Тихонова Е. В. Обучение экономическому переводу студентов-лингвистов китайского отделения посредством виртуальной обучающей среды Moodle // Язык и культура. 2015. № 2. с. 141–145.
3. Tikhonova, E. V., Tereshkova N. S. Information and Communication Technologies in the Teaching of Interpreting // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2014. Т. 154. с. 534–538.
4. Шнуровозова, Т.В Вышиваем гладью цветы и картины [Электронный ресурс] URL: <https://books.google.ru/books?id=1pYUAgAAQBAJ&pg> (дата обращения 10.09.2015)
5. Бертин_Гест, Ж. Традиционная китайская вышивка. История, техника, мотивы // Кристина — новый век, 2007. — 128 стр.
6. Богуславская, И. Я. Русская народная вышивка. М.: Искусство, 1972. — 164 стр.
7. Н. В. Гаевская А. Л. Иорданский Русская традиционная вышивка [Электронный ресурс] URL: <http://www.laurakim.ru/etnologiya/russkaya-traditsionnaya-vyshivka.-n.-v.-gaevskaya-a.-l.-iordanskiy.html> (дата обращения 10.09.2015).

Великая Китайская стена: история и легенды

Оборовская Инна Евгеньевна, студент;

Пак Диана Аркадьевна, студент;

Терешкова Надежда Сергеевна, аспирант, преподаватель

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Великая Китайская стена — один из крупнейших и древнейших памятников архитектуры в мире, является одним из новых семи чудес света, частью объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. Как известно, язык и культура страны, ее история тесно связаны между собой. В результате знакомства с культурой страны изучаемого языка мы приобретаем знания, умения, навыки, обеспечивающие возможность межкультурной коммуникации [2—3]. Именно поэтому для нашей статьи мы выбрали тему 万里长城 (упр. 万里长城, пиньинь: *WànlǐChángchéng*).

Для начала немного углубимся в историю великого сооружения. «Стена берет начало в городе Шанхай-гуань и оттуда тянется змееподобными изгибами через половину страны в Центральный Китай. Конец стены находится около города Цзяюйгуан. Колоссальное количество времени и человеческих ресурсов требуется, чтобы построить сооружение такого масштаба. Найдется ли в мире еще одно сооружение с такой долгой, великой и в то же время трагической историей? Строительство Великой Китайской стены началось еще в III веке до нашей эры во времена правления императора Цинь Ши-хуанди из династии Цинь, в период Воюющих царств. В те времена государство крайне нуждалось в защите от набегов врагов, в частности кочевого народа хунну. Стена должна была четко зафиксировать границы китайской цивилизации, способствовать консолидации единой империи, только что составленной из ряда завоёванных царств» [4, с. 15].

Строительство длилось 10 лет и сталкивалось с многочисленными трудностями. Главной проблемой было отсутствие соответствующей инфраструктуры для строительства: не было дорог, отсутствовала в надлежащих количествах вода и пропитание для участвующих в работах, тогда как их количество достигало 300 тысяч человек, а общее количество задействованных при Цинь строителей достигло, по некоторым оценкам, 2 миллионов. К строительству привлекались рабы, солдаты, крестьяне. В результате эпидемий и непосильного труда погибли, как минимум, десятки тысяч человек. Возмущение мобилизацией на строительство стены вызывало народные восстания и послужило одной из причин падения династии Цинь [5, с. 130].

Вплоть до циньского времени значительная доля стены строилась из самых примитивных материалов, в основном — с помощью трамбовки земли. Между щитами из прутьев или тростника прессовали слои глины, гальки и других местных материалов. Большую часть материалов для таких стен можно было взять на месте. Иногда ис-

пользовали кирпичи, но не обожжённые, а высушенные на солнце [6, с. 424].

Размеры стены различались по участкам, средние параметры составляли: высота — 7,5 м, высота с зубцами — 9 м, ширина по гребню — 5,5 м, ширина основания — 6,5 м. Зубцы стены, располагающиеся с внешней стороны, имеют простую прямоугольную форму. Составной частью стены являются башни. Некоторые башни, возведённые ещё до строительства стены, были встроены в неё. Такие башни часто имеют ширину меньшую, чем ширина самой стены, и места их расположения случайны. Башни, возводившиеся вместе со стеной, располагались друг от друга на расстоянии до 200 метров (дальность полёта стрелы). Есть несколько видов башен, различающихся по архитектурному решению. Наиболее распространён тип башни в два этажа, прямоугольные в плане. Такие башни имели верхнюю площадку с бойницами. Также в пределах видимости костра (примерно 10 км) на стене располагались сигнальные вышки, с которых велось наблюдение за подступами врага и передавались сигналы. Для проезда в стене было сделано двенадцать ворот, которые со временем укрепились в мощные заставы [6, с. 427].

Те участки Великой Стены, которые сохранились до нашего времени, были построены, в основном, при династии Мин (1368—1644). В эту эпоху основными строительными материалами были кирпич и каменные блоки, делавшие конструкцию более надёжной. За время правления Мин Стена протянулась с востока на запад от заставы Шанхайгуань на берегу Бохайского залива Жёлтого моря до заставы Юймэньгуань на стыке современных провинций Ганьсу и Синьцзян-Уйгурского автономного района [6, с. 459].

Проделав ряд исследований, мы пришли к выводу, что именно со строительными материалами связано народное китайское название стены — «земляной дракон». Ведь уже период Цинь на некоторых участках начинают применяться каменные плиты, которые укладывались вплотную друг к другу по слоям уплотнённой земли.

Стена проходит по северной границе древнего Китая, протянувшись от морского побережья до глубин монгольских пустынь. Протяженность стены называют до 6 тысяч км. Утверждают, что стена включала 25 тысяч башен. Несмотря на многолетние усилия, стена систематически разрушалась и приходила в упадок. За три века правления Цинь Великая стена почти разрушилась под воздействием времени. Лишь небольшой её участок около Пекина — Бадалин — поддерживался в порядке — он служил своего рода «воротами в столицу».

В 1899 году американские газеты пустили слух о том, что стена будет и вовсе снесена, а на её месте построено шоссе [7, с. 115].

Вокруг такого масштабного сооружения бродит множество мифов и легенд. Например то, что это цельная, непрерывная стена, построенная за один подход — самый настоящий миф. В действительности стена — прерывистая сеть отдельных сегментов, построенных различными династиями, чтобы защитить северную границу Китая.

Одна из наиболее ранних отсылок к мифу о видимости стены с Луны содержится в письме от 1754 года английского антиквара Уильяма Стьюкли. Стьюкли писал: «Эту огромную стену длиной восемьдесят миль (речь идёт о вале Адриана) превосходит только Китайская Стена, которая и на глобусе вон сколько места занимает, да в придачу её с Луны видно» [8, с. 142].

Об этом упоминает и Генри Норман, английский журналист и политик. В 1895 году он сообщает: «... помимо своего возраста эта стена единственное творение человека, которое видно с Луны». В конце девятнадцатого века муссировалась тема Марсианских каналов, которая, возможно, и привела к представлению, что длинные тонкие объекты на поверхности планет различимы далеко из космоса [9, с. 215].

Видимость Великой Китайской стены с Луны прозвучала также в 1932 году в популярных американских комиксах «Верьте не верьте от Рипли» (англ. Ripley's Believe It or Not!) и в книге 1938 года «Вторая книга чудес» (Second Book of Marvels) американского путешественника Ричарда Холлибертона [10].

Во время строительства Великую Китайскую стену прозвали самым длинным кладбищем на планете, так как большое количество людей погибло на стройке. По примерным расчетам возведение стены стоило жизней более чем одному миллиону человек [11].

Работая с выбранной темой, мы обнаружили несколько интересных фактов. Первым нужно отметить то, что при укладке каменных блоков стены употреблялась клейкая рисовая каша с примесью гашёной извести. Помимо этого, в Китае ежегодно проводится популярный легкоатлетический марафон «Великая Стена», в котором часть дистанции спортсмены бегут по гребню Стены. И хотя на спутниковых снимках Великую Китайскую стену видно, ее все же нельзя увидеть невооружённым глазом с орбитальной станции. В Шанхайгуане есть место, где Великая Китайская стена соприкасается с морем [12, с. 314].

В современной китайской культуре стена приобрела новое значение. Независимо от неудач, связанных с её военным применением, она превратилась в символ стойкости и созидательной мощи народа. У входа на отреставрированную часть стены нанесена фраза Мао Цзэдуна: «Если ты не побывал на Великой Китайской Стене, ты не настоящий китаец» [13, с. 534]. Каждый гость Китая считает необходимым посетить Великую стену. Миллионы посетителей проходят по ее камням каждый год. Стена состоит из нескольких частей — других, меньших по размеру частей (стен), которые также имеют свое название и историю. Самый посещаемый участок Великой стены находится в окрестностях горы Бадалин (Bādǎlǐng) в 60 километрах от Пекина, который был реконструирован в 1957 году. Именно в честь этих гор была названа первая меньшая стена Бадалин. Протяженность стены в этом месте составляет около 50 километров [14, с. 167].

Великая стена была включена в список Всемирного Наследия ЮНЕСКО в 1987 году, как одна из величайших китайских исторических достопримечательностей. Ко всему прочему, это одна из самых посещаемых достопримечательностей в мире — ежегодно здесь бывает около 40 миллионов туристов.

Великая стена была включена в список Всемирного Наследия ЮНЕСКО в 1987 году, как одна из величайших китайских исторических достопримечательностей. Ко всему прочему, это одна из самых посещаемых достопримечательностей в мире — ежегодно здесь бывает около 40 миллионов туристов.

Китайская стена — символ национальной гордости, многовековой борьбы, и величия. Правительство страны тратит колоссальные деньги на сохранение этого памятника архитектуры, исчисляемые миллиардами долларов США в год, надеясь сохранить стену для будущих поколений. Прикоснувшись хоть раз к истории Великой стены, вы уже не сможете не вернуться к ней вновь. Именно поэтому в своих следующих работах мы хотели бы рассмотреть связь китайской иероглифики с таким грандиозным сооружением как 萬里長城. Вновь обратившись к истории, тайнам, загадкам этого одного из крупнейших и древнейших памятников архитектуры в мире [15].

Литература:

1. Сунь Цзы «Искусство войны» (кит. trad. 孫子兵法, упр. 孙子兵法, пиньинь: SūnZībīngfǎ), гл.8, с. 19.
2. Кулманакова, Е. В. Психология студентов и развитие их мотивации к изучению китайского языка// Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. 2010. № 12—2. с. 105—110.
3. Кулманакова, Е. В. Формирование и развитие коммуникативно-речевой компетенции студентов, изучающих китайский язык// Проблемы и перспективы развития образования в России. 2010. № 1. с. 178—181.
4. Пашутин Виталий. Интересные факты китайской истории и культуры. — Южно-Сахалинск, 1991. — с. 93.
5. Грицак, Е. Н. Пекин и Великая Китайская стена. — М.: Вече, 2005. — 272 с.
6. Всеобщая история архитектуры в 12 томах. Том 1 «Архитектура древнего мира». 1970 — с. 612
7. Жани Саме. «Высокая мода = Chere Haute Couture»/ пер. с фр.. — СПб.: «Азбука-классика», 2010. — 320 с.
8. The Family Memoirs of the Rev. William Stukeley (1887) Vol. 3, p. 142. (1754).
9. Norman, Henry, The Peoples and Politics of the Far East, p. 215. (1895).
10. «The Great Wall of China, Ripley's Believe It or Not, 1932.

11. Cecil Adams, «Is the Great wall of China the only manmade object bayou can see from space?», The Straight Dope. Accessed May 12, 2010.
12. Ловелл Дж. «Великая Китайская стена» Julia Lovell. «TheGreatWall» / Джулия Ловелл; Пер. с англ. А. Юрьева. — М.: АСТ; АСТ Москва, 2008. — 448, [12] с. — (Историческая библиотека)
13. Tikhonova, E. V., Tereshkova N. S. Information and Communication Technologies in the Teaching of Interpreting // Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2014. Т. 154. с. 534–538.
14. Тань Сытун Цюань Цзи (Полн. собр. соч.), т. 1–2. Пекин, 1981 — 167 с.
15. Тихонова, Е. В. Обучение будущих лингвистов устному последовательному переводу на основе анализа дискурса аудио- и видеоматериалов (китайский язык; профиль «Перевод и переводоведение»): автореферат дис.... кандидата педагогических наук: 13.00.02 / Московский государственный гуманитарный университет им. М. А. Шолохова. Томск, 2014.
16. «Популярная художественная энциклопедия». Под ред. Полевого В. М.; М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1986. — 345–361 с.

Молодой ученый

Научный журнал
Выходит два раза в месяц

№ 19 (99) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г.Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Куташов В. А.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Жураев Х. О.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матроскина Т. В.
Матусевич М. С.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенцов А. Э.
Сенюшкин Н. С.
Титова Е. И.
Ткаченко И. Г.
Фозилов С. Ф.
Яхина А. С.
Ячинова С. Н.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Агаев З. В. (Россия)
Бидова Б. Б. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Демидов А. А. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)
Игиснинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Куташов В. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

http://www.moluch.ru/

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26