

# ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

С. ТОРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

Адрес редакции:  
140008, г. Павлодар,  
ул. Ломова, 64.  
Тел.: (7182) 67-36-69  
E-mail: publish@psu.kz

## МАЗМҰНЫ

АБИРОВ А.А., МОЛЧАНОВ В.С., ЖАРКЕНОВ Е.Б., ОМАРОВ Ж.М., СУЛЕЙМЕНОВ К.Б. Суды тазалау үрдісінде гидрожетек лифттың тиімділігі.....7	
АБИРОВ А.А., МОЛЧАНОВ В.С., ЖАРКЕНОВ Е.Б., ЕГИЗБАЕВ Д.А., ЕСЕНОВ Б., ОМАРОВ Ж.М., СУЛЕЙМЕНОВ К.Б. Қазақстанның Астана қаласында аса төмен температура жағдайында құбырдың төсемесі арқылы орысиз технологияны қолдану тәжірибесі.....15	
АБДРАХМАНОВ Б.Т. Информатикадағы компьютерлік модельдеу.....21	
АБДРАХМАНОВ Б.Т. Экономика-математикалық әдістері мен моделдеріне экономикалық процестерінің имитациялық моделдеуін енгізу .....25	
БАХТИЯРОВА Д.С., ОМАРОВА Б.К., ХАСЕНОВ Е.Т., КАРАКАЕВ А.К. Дизельдегі дәстүрлі емес отынды қолдану мәселесі.....29	
БЕГАЛИЕВ Р.А., СУҮҢДИКОВ М.М., БЫКОВ П.О. Микроқосындыланған бор процесін зерттеу үшін құрыштың құбыр маркасын таңдау.....37	
БОГОМОЛОВ А.В., БЫКОВ П.О., КУЛУМБАЕВ Н.К., БАТТАЛОВ Ж.Т. Төменқосындыланған құрыштың технологиялық сипаттамасы.....40	

Утегулов Б.Б., д.т.н., профессор (главный редактор)  
Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доцент (отв. секретарь);  
Иксан Ж.М., к.т.н., доцент (ответственный секретарь)

**Члены редакционной коллегии:**  
Биякаева В.А., д.т.н., профессор;  
Бороденко В.А., д.т.н., доцент;  
Глазырин С.А., к.т.н., профессор;  
Даукеев Г.Ж., к.т.н., доцент;  
Ельмуратов С.К., д.т.н., профессор;  
Захаров И.В., д.т.н., доцент;  
Ибраев И.К., д.т.н., профессор;  
Каракаев А.К., д.т.н., профессор;  
Кислов А.П. к.т.н., доцент;  
Клецель М.Я. д.т.н., профессор;  
Кудерин М.К. д.т.н., доцент;  
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор;  
Нуржауов А.Н., д.т.н., профессор;  
Сулеев Д.К., д.т.н., профессор;  
Украинец В.Н., д.т.н., доцент;  
Альжанова М.Ж. (тех. редактор).

ДРОБОТУН Б.Н., МУХАМЕДЗЯНОВА Н.И., ОРАЛОВ Е.Ш. Алгебралық жүйелердің (I) изоморфизм қатынасы және абстракты қасиеттері.....	44
ЕЛЬМУРАТОВ С.К., ЕЛЬМУРАТОВА А.Ф., ОРАЗОВА Д.К. Айнымалы қалыңдықты пластиналардың тұрақтылығы.....	54
ЖАНАБАЕВА Г.М., СЕРЖАНОВ Р.И., БОГОМОЛОВ А.В. Суды суыту сырмалыны түзетудің эксперименталды зерттеу.....	58
ИГИБАЕВ А.Ж., БАЙМАГАМБЕТОВ Т.Ш. Берілген тетіктің сапасына жетуде ЖПД технологиясының мүмкіндіктері.....	63
КАКИМОВ М.М., КАСЕНОВ А.Л, ОРЫНБЕКОВ Д.Р., ТОХТАРОВ Ж.Х. Тығыздау процессінде ет-сүйек шыжығын қозғалтуға жіберген күшті өлшеу.....	69
КАМЗИН Ж.Ж., БАТРАЧЕНКО А.А., СКВОРЦОВ А.П. «КЭЗ» АҚ Алюминь электролизерлерінің, электролит ликвидусының температурасын есептеу формуласы.....	73
КАНАЕВ А.Т., БОГОМОЛОВ А.В., ЫҚСАН Ж.М. Аустениттің көміртекті Ст5 маркасының ыстықта өзгеруінің ерекшелігі.....	81
КОВАЛЬ Ю.А., АЙТПАЕВА А.Е., ЫҚСАН Ж.М. Сапалы өнімді бақылаудың қазіргі әдісін талдау.....	85
УКРАИНЕЦ В.Н., ГИРНИС С.Р., КУНАНБАЕВА Д.М. , МАЖИМОВА М.Б. Қозғалмалы синусоидалды қуаттың ықпалы барысындағы түкпірдегі туннельдің резонансты жағдайын анықтау.....	91
ШҰҒЛА А., ИБАТОВА С.С. Цемент бетондарында шлакты тиімді қолдану .....	95
Біздің авторлар.....	99
Авторлар үшін ереже.....	102

КОРРЕКТОРЫ:  
Б.Б. Аубакирова (каз. яз.)  
А. Омарова (ин.яз)  
А. Елемескызы (рус. яз.)

ВЕРСТКА:  
М.А. Абжанова

© ПГУ им. С. Торайгырова

## СОДЕРЖАНИЕ

АБИРОВ А.А., МОЛЧАНОВ В.С., ЖАРКЕНОВ Е.Б., ОМАРОВ Ж.М., СУЛЕЙМЕНОВ К.Б. Эффективность гидроприводного лифта в процессе очистки воды .....	7
АБИРОВ А.А., МОЛЧАНОВ В.С., ЖАРКЕНОВ Е.Б., ЕГИЗБАЕВ Д.А., ЕСЕНОВ Б., ОМАРОВ Ж.М., СУЛЕЙМЕНОВ К.Б. Практическое использование бестраншейных технологий при прокладке трубопроводов в условиях предельно низких температур в г. Астана, Казахстан .....	15
АБДРАХМАНОВ Б.Т. Компьютерное моделирование в информатике .....	21
АБДРАХМАНОВ Б.Т. Внедрение имитационного моделирования экономических процессов в экономико- математические методы и модели.....	25
БАХТИЯРОВА Д.С., ОМАРОВА Б.К., ХАСЕНОВ Е.Т., КАРАКАЕВ А.К. Проблемы использования нетрадиционного топлива в дизелях .....	29
БЕГАЛИЕВ Р.А., СУЮНДИКОВ М.М., БЫКОВ П.О. Выбор трубных марок сталей для исследования процесса микрولةгирования бором.....	37
БОГОМОЛОВ А.В., БЫКОВ П.О, КУЛУМБАЕВ Н.К., БАТТАЛОВ Ж.Т. Определение технологических свойств низколегированных сталей.....	40
ДРОБОТУН Б.Н., МУХАМЕДЗЯНОВА Н.И., ОРАЛОВ Е.Ш. Отношение изоморфизма и абстрактные свойства алгебраических систем (I).....	44
ЕЛЬМУРАТОВ С.К., ЕЛЬМУРАТОВА А.Ф., ОРАЗОВА Д.К. Устойчивость пластин переменной толщины .....	54
ЖАНАБАЕВА Г.М., СЕРЖАНОВ Р.И., БОГОМОЛОВ А.В. Экспериментальное исследование водоохлаждаемых прошивных оправок.....	58
ИГИБАЕВ А.Ж., БАЙМАГАМБЕТОВ Т.Ш. Технологические возможности ППД в достижении заданного качества детали.....	63

КАКИМОВ М.М., КАСЕНОВ А.Л., ОРЫНБЕКОВ Д.Р., ТОХТАРОВ Ж.Х. Изменение предельного напряжения сдвига мясокостной шквары в процессе прессования.....	69
КАМЗИН Ж.Ж., БАТРАЧЕНКО А.А., СКВОРЦОВ А.П. Формула расчета температуры ликвидуса электролита алюминиевых электролизеров АО «КЭЗ».....	73
КАНАЕВ А.Т., БОГОМОЛОВ А.В., ЫКСАН Ж.М. Особенности горячей деформации аустенита углеродистой стали марки Ст. 5.....	81
КОВАЛЬ Ю.А., АЙТПАЕВА А.Е., ЫКСАН Ж.М. Анализ современных методов контроля качества продукции.....	85
УКРАИНЕЦ В.Н., ГИРНИС С.Р., КУНАНБАЕВА Д.М., МАЖИМОВА М.Б. Определение резонансных состояний заглубленного тоннеля при воздействии подвижной синусоидальной нагрузки.....	91
ШУГЛА А., ИБАТОВА С.С. Эффективное применение шлаков цементного бетона.....	95
Наши авторы.....	99
Правила для авторов.....	102

## **ҚҰРМЕТТІ ОҚЫРМАНДАР!**

Бүгінгі жаңашылдық пен өрлеу заманында қазақ ұлтының даналығы мен зерделілігін танытуда, іскерлік әлеуетін көрсету мақсатында көшбасшылық, интеллектуалды жағдай қажет. Ғылыми-инновациялық экономиканың негізі болу керек. Бұл мүмкіндік дәлелі соңғы бес жылдың ішінде қазақ ғылымын қаржыландыру 4 есеге артты. Қазақстан 13-бағытта «Инновациялық даму» көрсеткіші бойынша жаһандық бәсекеге қабілетті рейтингісінде өз орнын жақсартты. 2012 жылға дейін Мемлекеттік ғылымның даму бағдарламасы жүзеге асу кезеңінде тұр.

Аталмыш ғылыми журналдың жарыққа шығуы – зерделік әлеуетімізді күшейту бағытындағы маңызды да мәнді шаралардың бірі. Журнал ғылыми-білімдік қызметті насихаттауда, ғылыми біліммен алмасу, ғылымның өзекті мәселелерін талқылауда, ғылыми-теориялық тұжырымдар мен көзқарастарды танытумен бірге қоғамның ғылыми-білімдік мәселелерін де шешеді.

Кезінде ұлы математик Д. Пойа ғылыми әрекет пен ғылыми қызметтің принциптерін төмендегідей тұжырымдаған екен:

Бірінші принцип – «Біз өзіміздің кез келген көзқарасымызды қайта қарауға дайынбыз» – ол үшін «ақыл ерлігін» талап етеді. Екінші – «Шұғыл жағдайлар болған кезде және оны жасауға – біздің көзқарасымыз өзгеруі қажет» – ол үшін «ақыл адалдығын» талап етеді. Үшінші принцип – «Біз өз бетімізбен, жеткілікті негіздемесіз көзқарасымыз бен тұжырымдарымызды өзгертуіміз керек» – ол үшін «ақыл ұстамдылығын» талап етеді.

Бұл принциптер біздің журналымыздың ұстанатын басты қағидалары. Журналымыздың жаңа шығарылымының тек бет мұқабасы ғана өзгеріп қана қойған жоқ, оның мазмұндық мәні де арта түсті.

Журналдың безендірілу мәнімен бірге ғалымдардың ұсынатын ғылыми мәселелері жан-жақты талқыланып, аймақтың аспектісі кеңейді. Мәтін мазмұнына қойылатын талап күшейтіліп, дұрыс, сауатты ғылым талабына сай болатындай жарыққа шығару мәселесі қойылып отыр.

Бірақ әрқашанда біздің журналымыз ғылым ғаламатын таныту мен тануда адалдық пен ақыл ерлігін және ақыл ұстанымдылығы қала берді.

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Казахстану сегодня необходима интеллектуальная революция, которая позволит пробудить и реализовать потенциал нашей нации. Наука должна стать основой инновационной экономики. Этому есть все предпосылки – за последние пять лет финансирование казахстанской науки увеличилось почти в 4 раза. Казахстан на 13 позиций улучшил свое место в рейтинге глобальной конкурентоспособности по индексу «Инновационное развитие». В стадии реализации – Государственная программа развития науки до 2012 года.

Выпуск этого научного журнала – одна из значимых мер, направленных на усиление интеллектуального потенциала. Пропаганда научно-образовательной деятельности, обмен научными знаниями, обсуждение актуальных проблем науки, концепций, теорий, взглядов – журнал решает эти и другие, не менее важные, задачи научно-образовательного сообщества.

В свое время великий математик Д. Пойа сформулировал принципы научной деятельности:

Первый принцип – «Мы готовы пересмотреть любое из наших представлений» – требует «мужества ума». Второй – «Наши представления должны быть изменены, когда имеются веские обстоятельства, вынуждающие это сделать» – требует «честности ума».

Третий принцип великого математика – «Мы не должны изменять представления произвольно, без достаточных оснований» – требует «мудрой сдержанности».

Эти принципы созвучны с духом нашего научного издания. Более того, модернизация журнала, которую Вы наблюдаете, держась в руках нового номера, сказалась не только на внешнем его облике. Новое оформление – лишь отражение тех перемен, которые привнесены редакцией в его содержание. Усилен региональный аспект, предусмотрено обсуждение той или иной актуальной проблемы рядом ученых, предлагающих различные варианты ее решения, требовательнее мы стали и к редакции текста. Но неизменными в нашем издании останутся три составляющих – честность и мужество ума и сдержанность по отношению к научным оппонентам.

**Ректор ПГУ им. С. Торайгырова  
д.э.н., профессор, академик**

**С. Омирбаев**

**A.A. Abirov, V.S. Molchanov, E.B. Zharkenov,  
J.M. Omarov, K.B. Suleymenov**

## **EFFICIENCY OF HYDRAULIC ELEVATORS IN THE PROCESS OF WATER TREATMENT**

*The article presents the results of an experimental research of examining three types of design for hydraulic elevators: co-current, with tangential inlet of passive current and with tangential inlet of both passive and active currents (with twisted active and passive currents). As can be concluded from the results turbulent hydraulic elevator can possess much higher ejection coefficient than two other types.*

During a mechanical treatment stage on a sewer water treatment facility, nearly 75% of insoluble impurities such as minor mineral impurities, sand, petroleum, oil, etc., can be removed successfully. Sand and various minor mineral impurities are trapped while passing through the sand trap. The main task then is to displace the forming sediment into the sand pad or bunker. This task is accomplished mainly by using hydraulic elevators.

The main parameters characterizing the work of the hydraulic elevator is an ejection coefficient “q” defined as a ratio of passive and active flow rates.

$$q = \frac{Q_{pas}}{Q_{act}} \quad (1)$$

It is known that ejection coefficient depends on the intensity of transfer of energy from active stream to passive stream. In other words, the more efficiently the surface of the active stream is utilized, the more energy is transferred from the active stream to the passive one, thus increasing the ejection coefficient.

In order to compare functional possibilities, three types of hydraulic elevators were constructed in the laboratory. Distinctive feature of those sets was the way of input of active and passive currents into the mixing chamber.

In the first design set [1,2] active and passive streams are supplied into the receiving chamber co-currently (fig 1). Such co-current scheme of stream supply is used nowadays in various industrial spheres.

In the second design set active stream is supplied into the receiving chamber by means of a direct current flow, while the passive one is supplied with a twist, by means of a tangential inlet (fig. 2) [3].

In the third construction design (fig 3.) both active and passive streams are supplied into the mixing chamber with twisting [4].

In the first design geometrical parameters of an elevator are used according to the recommendations made [2].

In the 2<sup>nd</sup> design geometrical configuration is similar to the first, however it has several distinctive structural features. Passive medium flowing through the suction tube  $d=50\text{mm}$ , goes into the receiving chamber through tangential hole with dimensions  $a_m \times b_m = 100 \times 19,6\text{mm}$  that equals the area of a suction nozzle of a first construction. This is achieved with the help of an adapter used to blend the suction pipe and a tangential opening.

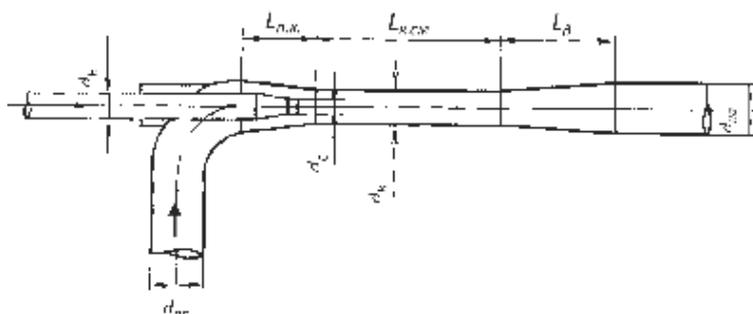


Figure 1 - Co-current hydraulic elevator scheme

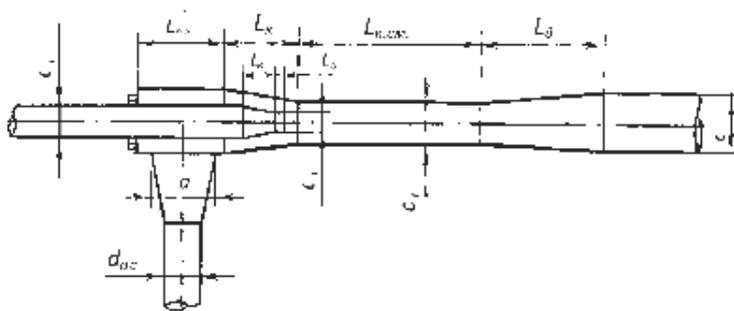


Figure 2 - Hydraulic elevator with the tangential inlet of a passive medium

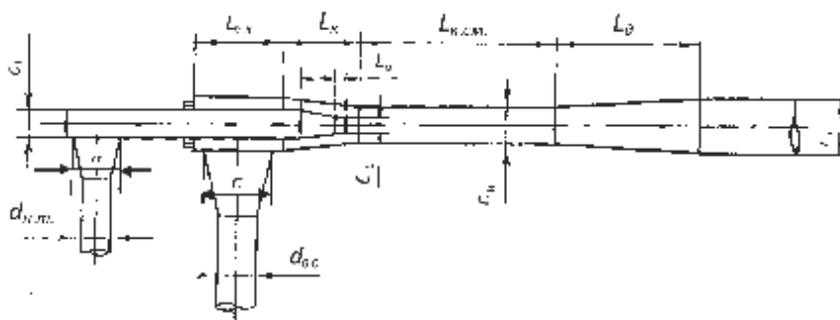


Figure 3 - Turbulent hydraulic elevator scheme

The third design is different from the previous two designs by the way of supply of an active stream into the mixing chamber. Liquid medium is supplied into the discharge pipe of an elevator through the tangential hole. Dimensions of the hole are 15\*18mm, and the square of the hole is equal to the cross-sectional area of a pump pressure line.

Coaxiality of elements in the construction of hydraulic elevators is strictly controlled. Thus elements are constructed in the way, that you are able to change the distance between the nozzle and the mixing chamber. Discharge tube with the nozzle has a thread and can easily move axially.

Experimental construction of unit can be seen on a figure 4. It consists of 1 - electric motor; 2 - centrifugal pump 3K-6; 3 – pump discharge pipe, made of flexible hose; 4 – hydraulic elevator; 5 – discharge line of elevator; 6 - tank with outlet 7, which is the feeding tank for the suction lines of hydraulic elevator 8 and a pump 9; 10 – damper; 11 – level indicator for water level determination in a water outlet 7 and a free space in a tank 6; 12, 13, 14 – valves; 15 – supply line; 16, 17, 21 - manometers; 18 – support rods with cross-beams; 19 – stand with piezometers.

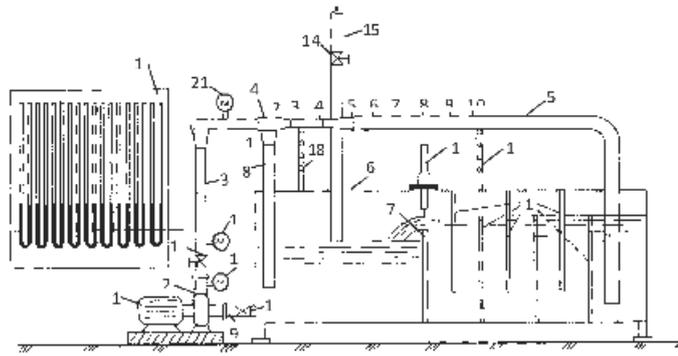


Figure 4 - Experimental construction unit

The main goal of an experiment was determination of ejection coefficient  $q$  of medium while different distances between the nozzle and the mouth of mixing chamber and the various flow rates. Results of an experiment showed that maximum achievable positive effect of the design with turbulent inlet of active and passive mediums is much higher while comparing with the other two designs. Twisting both passive and active streams has a significant influence on the entry mechanism of suction fluid into the mixing chamber of a hydraulic elevator. The intensity of twisting is characterized by the spin parameter  $S$ , which is a dimensionless ratio of an axial movement momentum to the multiplication of an axial component of momentum and the equivalent radius of nozzle. Twisting parameter for the hydraulic elevator is determined using formulas below [5].

$$S_{act} = \frac{\Phi_{act} / 2}{1 - (\Phi_{act} / 2)^2} \quad (2)$$

$$S_{pas} = \frac{\Phi_{pas} / 2}{1 - (\Phi_{pas} / 2)^2} \quad (3)$$

where,  $\Phi_{act} = \frac{v_w^a}{v_o^a}$  and  $\Phi_{pas} = \frac{v_w^p}{v_o^p}$  - ratio of tangential and axial velocities of the active and passive streams.

Diagrams that depict the dependence of  $q_g$  on the distance between the nozzle and the mouth of the mixing chamber are shown below.  $q_B = f(S_{pas})$ ,  $q_B = f(S_{act})$ ,  $q_B = a \left( \frac{S_{act}}{S_{pas}} \right)$ . By analyzing curves depicted, it can be noted that the highest value for ejection coefficient of a turbulent hydraulic elevator ( $q=1,32$ ) is achieved when  $S_{kr}^{act} = 0.1$ ,  $S_{kr}^{pas} = 0.22$ , and  $S_{kr}^{act} / S_{kr}^{pas} = 0.48$

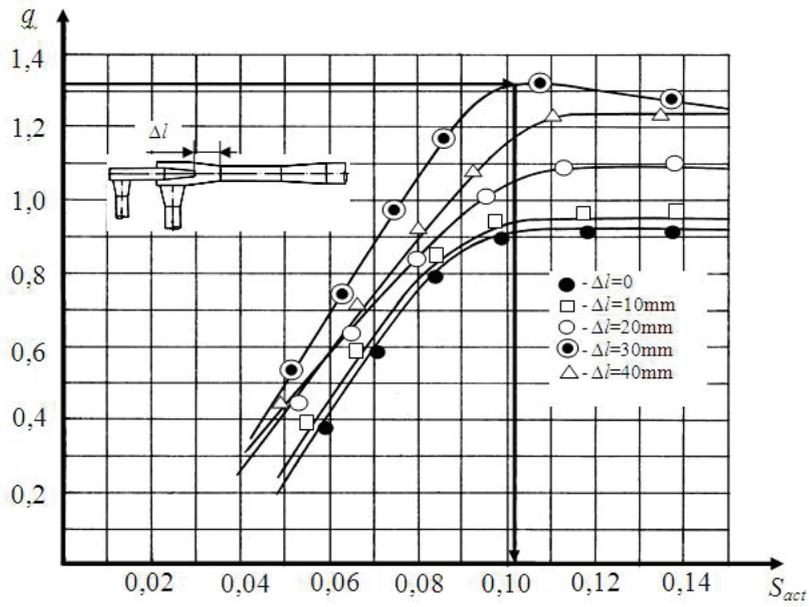


Figure 5 - Dependence of efficiency coefficient on the twisting parameter for the active stream

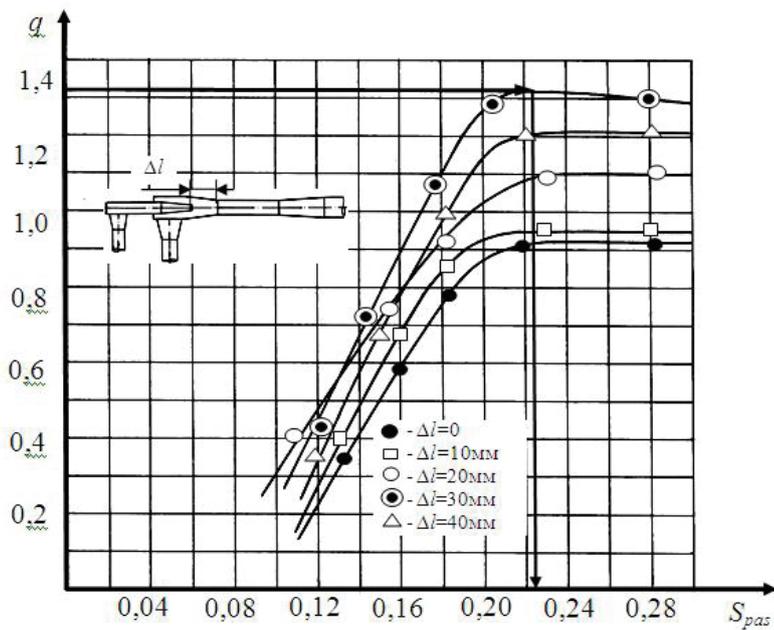


Figure 6 - Dependence of efficiency coefficient on the twisting parameter for the passive stream

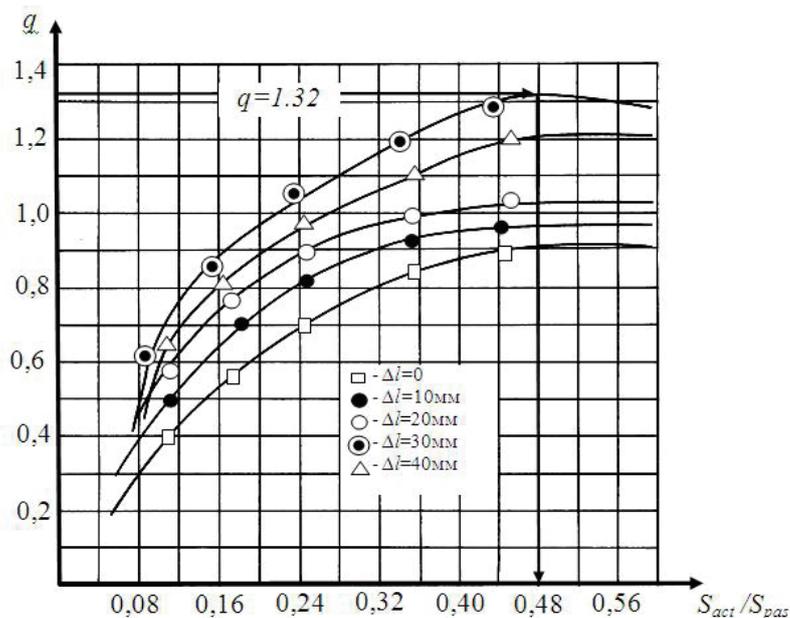


Figure 7 - Dependence of efficiency coefficient on the twisting parameter  $S_{act}/S_{pas}$

The optimal distance between the nozzle and the mouth of the mixing chamber  $\Delta l$  is 30 mm. Figures 8, 9, 10 depict the dependence of the ejection coefficient on the flow rate which is dictated by the Reynolds number  $R_e$ .

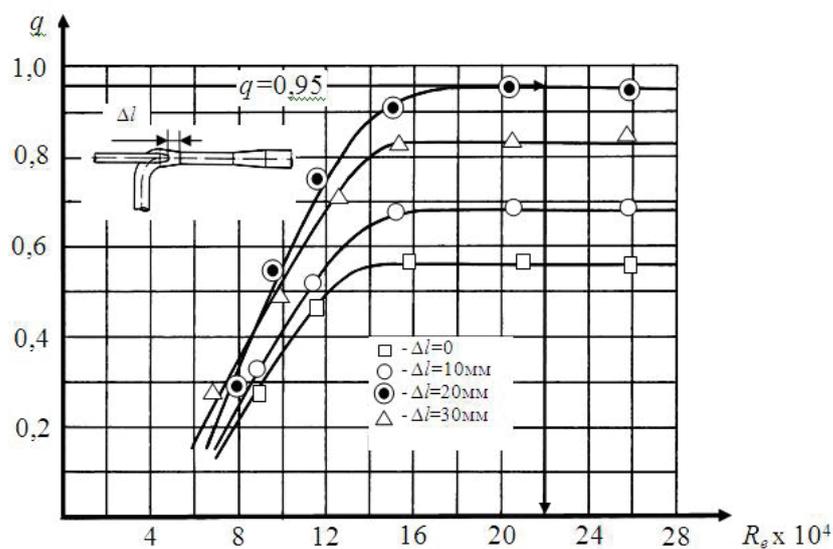


Figure 8 - Dependence of ejection coefficient on Reynolds number  $R_e$  of an active stream

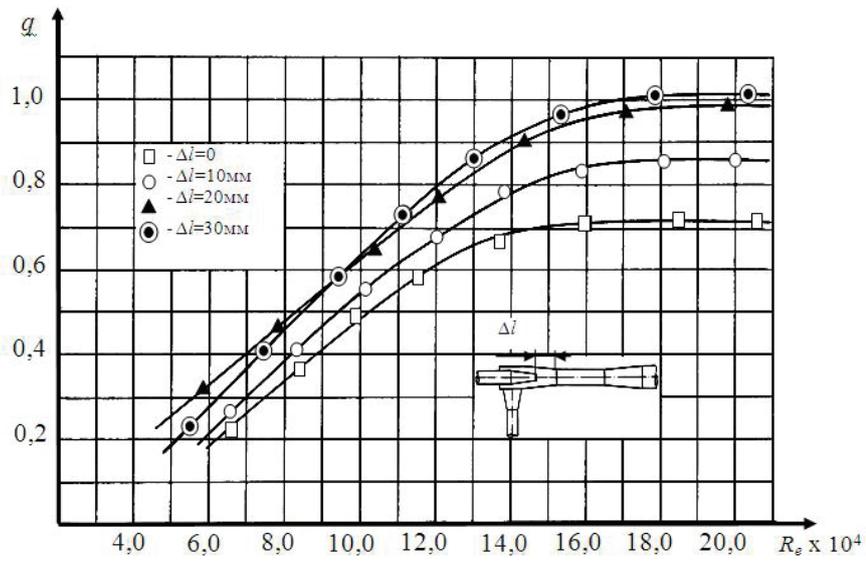


Figure 9 - Dependence of ejection coefficient on Reynolds number  $R_e$  of active stream

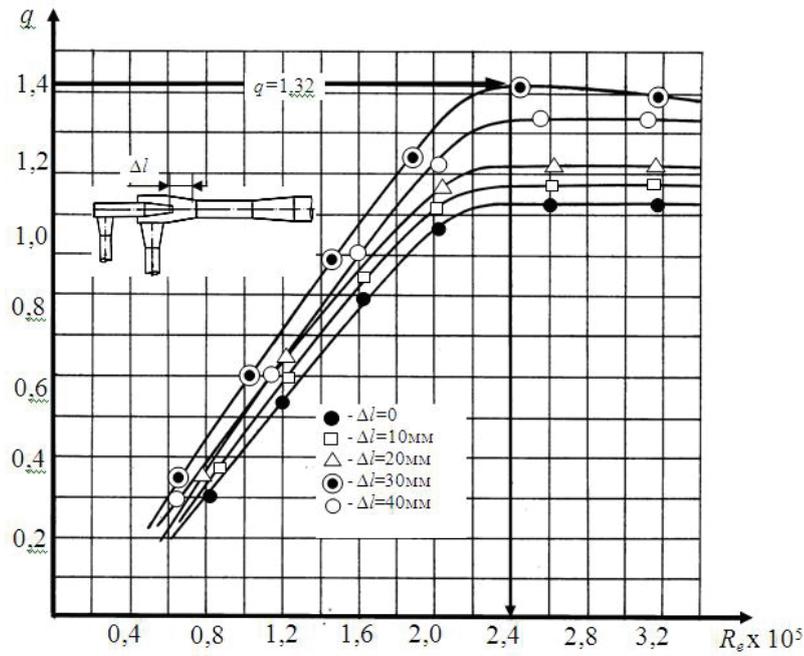


Figure 10 - Dependence of ejection coefficient on Reynolds number  $R_e$  of active stream

Diagrams above are obtained for different values of  $\Delta l$  – the distance between the nozzle and the mixing chamber inlet.

As can be seen from the diagrams, ejection coefficient  $q_{max} = 1,32$  of a turbulent hydraulic elevator is much higher than  $q_{max} = 1,01$  and  $q_{max} = 0,95$  for elevators with tangential inlet of passive medium and elevators with co-current medium inlet respectively. It is clearly seen that for the turbulent hydraulic elevator optimal value for  $\Delta l$  is 30 mm.

Figure 11 shows a plot how ejection coefficient depends on a relative discharge rate  $Q_{total}/Q_p$ . The diagram clearly shows that ejection coefficient of a turbulent hydraulic elevator exceeds coefficient for elevators with tangential inlet of passive stream and co-current inlet.

Thus, the results of experiments show that due to the liquid particles being absorbed by the boundary layer, the spreading in the mixing chamber will be observed in a co-current suction layer.

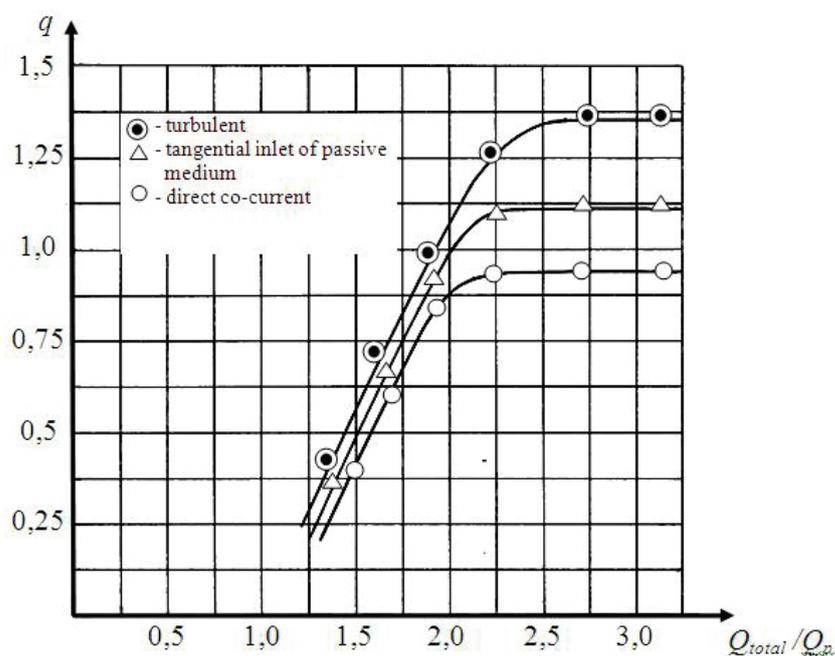


Figure 11 - Dependence of ejection coefficient on relative flowrate

In a turbulent hydraulic elevator, mutual penetration of spiral-shaped active and passive streams is observed. This takes place between the nozzle and the mixing chamber.

#### LIST OF REFERENCES

1 **Лямаев, Б. Ф.** Гидроструйные насосы и установки. – М. : Машиностроение. 1988, 277 с.

2 **Соколов, Е. Я.,** Зингер, Н. М. Струйные аппараты. 2-ое изд. – М. : Энергия, 1970. – 288 с.

3 Струйный насос. Предварительный патент РК №8699, заявка №981073.1 от 23.11.98 / А. А. Абдураманов, И. С. Сейтасанов.

4 Струйный насос. Предварительный патент РК №9752, заявка №990875.1 от 03.08.99 /А. А. Абдураманов, А.А. Абиров

5 **Гупта А., Лилли, Д., Сайред, Н.** Закрученные потоки. Пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – 589 с.

LLP “Kazakhstan Scientific and technical center for HCS development”,  
STE “Ertis”. The material received on 21.09.12.

*А.А. Абиров, Д.А. Молчанов, Е.Б. Жаркенов, Б.У. Есенов,  
Ж.М. Омаров, К.Б. Сулейменов*

#### **Суды тазалау үрдісінде гидрожетек лифтінің тиімділігі**

*А.А. Абиров, В.С. Молчанов, Е.Б. Жаркенов, Б.У. Есенов,  
Ж.М. Омаров, К.Б. Сулейменов*

#### **Эффективность гидроприводного лифта в процессе очистки воды**

*Берілген мақалада шөгудің: тұрақты пассивті потоктің тангенциалды келтіруімен және құйын тәрізді (активті және пассивті потоктың жабылуымен) тасымалдауы кезінде су тазалаудың технологиялық процесінде қадағаланатын гидроэлеватордың үш конструкциясының эксперименталдық нәтижесі келтірілген. Құйын тәрізді гидроэлеватор екеуіне қарағанда эжекциясының жоғарғы коэффициентіне не екені көрсетілген.*

*В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований трех конструкций гидроэлеваторов, применяемых в технологических процессах водоочистки при транспортировании осадков: прямоточного, с тангенциальным подводом пассивного потока и вихревого (с закруткой активного и пассивного потоков). Показано, что вихревой гидроэлеватор обладает более высоким коэффициентом эжекции, чем две другие.*

UDC 622.755

**A.A. Abirov, V.S. Molchanov, E.B. Zharkenov,  
D.A. Yegizbaev, B. Esenov, J.M. Omarov, K.B. Suleymenov**

## **THE PRACTICE OF USING TRENCHLESS TECHNOLOGIES FOR PIPELINE LAYING IN EXTREME COLD CONDITIONS OF ASTANA CITY IN KAZAKHSTAN**

*The modern temp of civilization growth require implementation of innovative techniques and methods in all spheres of construction process. Using trenchless technologies for pipeline and other communication lines laying proved to be the best replacement for an old "open trench" technique. Though trenchless methods have many advantages, they also have limitations connected with risk. Experience of using such methods in a cold climate of Astana city shows that, only by careful assessment of all possible risks and proper planning of a work process, it becomes possible to achieve positive results even in a harsh weather conditions.*

Being the capital of the Republic of Kazakhstan, fast growing Astana city faced a need in new pipeline and communication lines laying alongside with renewal of ageing infrastructure. In many cases, "open trench" methods are problematic or not even acceptable for social, economical or ecological reasons. Construction of water supply and sewer water disposal systems is an integral part of the urban and industrial construction process. The rate of the population growth is nearly 45000 people a year that provokes the high speed of the city growth. This forces to conduct construction even in hash weather conditions.

The city is situated in the center of Eurasian continent, what leads to high fluctuations of temperature, humidity and other meteorological elements both during a day and a year. Average air temperature of cold months is -13 -18°C, while for warm months it is +18 +21°C. During hash winters temperature falls down to -49-52°C (absolute minimum). Warm period length is about 200 days. Depth of frost penetration is within 2-2,5 meter range.

Great achievements and developments have been done in trenchless technology for the last 30 years mainly in European countries and North America. While research being conducted mainly in countries with moderate climate conditions, the vector of developments is aimed at pipeline laying during warm periods of year. Only recently our industry has forced research groups and equipment constructors and engineers to adapt trenchless technologies to cold climate conditions. Experience of Russian colleagues in trenchless

technology was firstly shown in “No-Dig” annual conference in 2008 which showed the wide specter of equipment and techniques [1].

Below is an overview of trenchless experience gained in Astana which was based on the foreign, mainly Russian experience. Extremely low temperatures down to  $-30^{\circ}\text{C}$  make engineers think of possible and negative consequences of conducting a work in such severe conditions. Moreover, it is interesting to mention that trenchless pipeline laying can even be advantageous for cold climate regions [3].

### Microtunneling

Several microtunneling projects have been implemented in Astana during winter time. Such technique was used to install a water supply pipeline under the road. High traffic load of one of the main roads didn't allow to use “open trench” technique thus forcing to use trenchless method. Microtunneling technology was firstly put into practice. Laser guided boring machine was used allowing to control the boring process accurately achieving desirable grade and alignment. At the beginning stage, in order to build starting and receiving shafts in the frozen ground more force were applied comparing to the warm period, thus pick hammers and heavy excavators were used.

Two types of spoil removal systems were tested in microtunneling projects in Astana: slurry and auger removal systems.

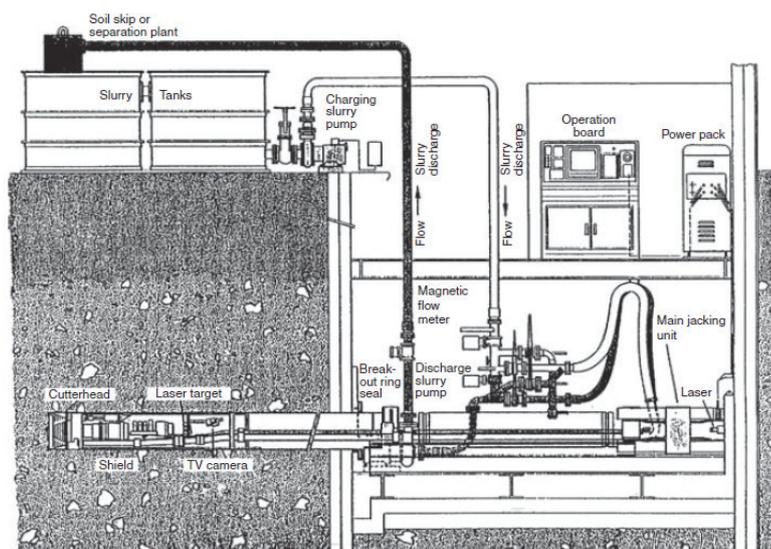


Figure 1 - Used scheme of microtunneling (slurry removal system)

The work site with all surface equipment was tented; several heaters were installed under the tent to make the working environment less cruel

both for the crew and equipment. The main problem that could have been met by the workers was the possibility of slurry freezing down. While the outside temperature being around  $-30^{\circ}\text{C}$ , climate under the tent and in the shafts was around  $0^{\circ}\text{C}$ .

Though such conditions were fairly enough for the circulating bentonite mixture not to freeze down, there were always a possibility for climate to become worse. Thus to prevent the possibility of some parts of the system become over frozen especially during night cold, Ditch Witch drillmud heaters were installed to keep the bentonite mud warm and liquid (Fig. 2).

Implementing drillmud heating equipment in the circulating system gave several benefits:

- increasing uptime, eliminating downtime due to some operations for unfreezing of some parts;
- full utilization of the drilling mud;
- preventing over freezing of parts of equipment;
- temperature control helps to achieve high quality of bentonite mud, increasing its soil removal capability.



Figure 2 - “YUKON” drill mud heating unit

In another case auger soil removing system were used in microtunneling process of water pipeline construction. As while using the slurry soil removing system, the work site was tented and heated. Comparing to the “slurry” method, this method proved to be less capricious. There was no need to install additional heaters and control temperature of a slurry mixture, which led to an increase in a rate of penetration.

## HDD

HDD is a method of trenchless pipeline laying which consists of drilling a pilot hole, followed by reaming and pipeline pulling (Fig.3). Usually drilling using HDD can be done in cold climates with temperatures down to  $-25^{\circ}\text{C}$ .

A construction of a 180 mm diameter HDPE pipeline 150 m long was undertaken under the river which divides the city apart. As while microtunneling operations, work place was tented and the heaters were installed. The upper layer of the ground composed of clay and silt was frozen to the depth of 2,3 meters. In spite of the upper layer of the ground being frozen, there was no need to use special hard face drill bits. Using aforementioned drill mud heaters, the temperature of the mixture was increased allowing to minimize the load on bit while drilling through frozen soil. Tenting preserved crew and equipment from negative temperature effects.

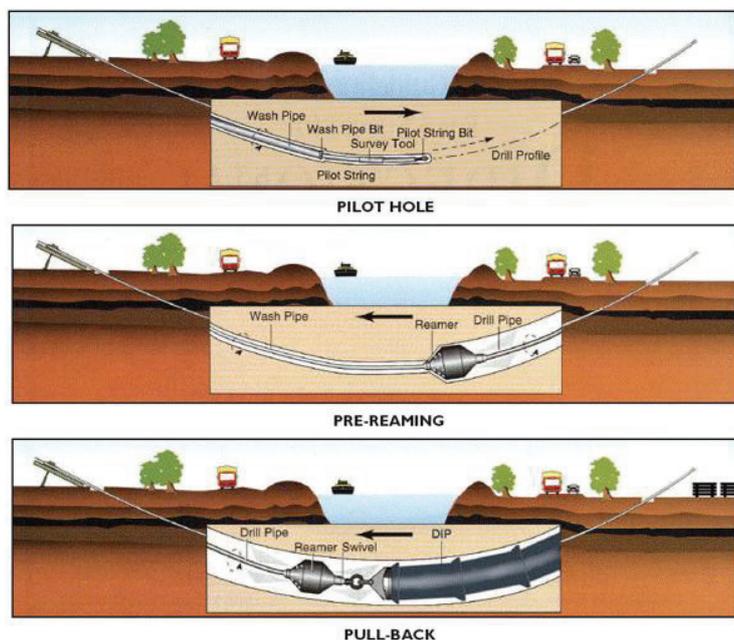


Figure 3 - Principal scheme of HDD

Several aspects of HDD in winter were noticed:

- low temperature made the upper layer of a swampy terrain frozen, thus assisting in delivering heavy machines and equipment on site;
- level of subsoil water is much deeper in winter;
- less interruption to everyday life is caused while HDD in winter;
- absence of heavy rains do not disturb working process;
- work site was remained much cleaner and less disturbed;

HDD in winter, without proper selection of tools and preliminary work, can lead to severe accidents, crash of expensive equipment, or even abandoning the work /3/. Thus several precautions were taken into account:

- Warm water was used to prepare bentonite mud;
- Constant temperature control of the drill mud was done;
- Auxiliary mud heating equipment was used;
- Work site tented.

HDD unit was operating nonstop and decreasing the mud flow rate and ROP if needed.

Great attention was paid to improving working conditions for the crew, and limit workers exposure to negative temperatures. Worth mentioning is that only healthy crew can achieve a success.

Regardless the way you construct an underground pipeline in extreme cold. It should be remembered that material properties change in extreme cold. Thus PE pipe becomes stiffer in cold temperature which affects the tensile force and allowable bending radius, however the pressure rating stays the same.

#### LIST OF REFERENCES

1 **Najafi, M.** Trenchless Technology Piping. Installation and inspection. – McGraw Hill. 2010, 56566 p.

2 American Society of Civil Engineers (ASCE). *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice (JPS)*. <http://www.editorialmanager.com/jrnpseng/>.

3 American Society of Civil Engineers (2005). “Pipeline Design for Installation by Horizontal Directional Drilling,” ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 108, Reston, Va.

LLP “Kazakhstan Scientific and technical center for HCS development”, STE “Ertis”. The material received on 21.09.12.

*А.А. Абиров, Д.А. Егизбаев, В.С. Молчанов, Е.Б. Жаркенов, Б.У. Есенов, Ж.М. Омаров, К.Б. Сулейменов*

**Қазақстанның Астана қаласында аса төмен температура жағдайында құбырдың төсемесі арқылы орыс технологияны қолдану тәжірибесі**

*А.А. Абиров, Д.А. Егизбаев, В.С. Молчанов, Е.Б. Жаркенов, Б.У. Есенов, Ж.М. Омаров, К.Б. Сулейменов*

**Практическое использование бестраншейных технологий при прокладке трубопроводов в условиях предельно низких температур в г. Астана, Казахстан**

*Өркениеттің өркендеу жағдайында құрылыстың барлық бағыттарында инновациялық әдістер мен технологияны ендіру қажеттігі туындайды. Орыс технологиялар құрылыстың «асық» тәсіліне және инженерлік жүйелер мен коммуникацияның қайта жаңғаруына тиімді альтернатива болып табылады.*

*Бірақ бұл технологиялар үлкен жетістіктерге ие болғандықтан, олардың қолданылуы жоғары дәрежелі қауіп қатердің жағдайында мүмкін емес.*

*Астана қаласындағы суық экстремалды жағдайында орыс технологиялардың қолдану тәжірибесі көрсеткендей, мүмкін болатын қатерді сараптаудан және жұмыс процессін жоспарлаудан кейін мұндай жұмыстарды қатал климат жағдайында да жүргізуге болады.*

*В условиях стремительного развития цивилизации, особо остро встает вопрос о необходимости внедрения инновационных методов и технологий во всех направлениях строительства. Бестрашнейные технологии представляют собой выгодную альтернативу традиционному «открытому» способу строительства и восстановления инженерных сетей и коммуникаций. Хотя данные технологии имеют многие преимущества, их использование может быть нецелесообразным в ситуациях с высокой степенью риска.*

*Опыт использования бестрашнейных технологий в условиях экстремального холода г. Астаны показывает, что только после тщательного анализа возможных рисков и надлежащего планирования рабочего процесса становится возможным вести работы даже в таких суровых условиях.*

УДК 004.94

**Б.Т. Абдрахманов**

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНФОРМАТИКЕ**

*В этой статье автор дает справку компьютерному понятию модели на курсе информатики. Применять прикладные программы, говорится о компьютерных способах модели.*

Компьютерное моделирование является, пожалуй, самым важным направлением курса информационных технологий. Процесс пректирования склада данных по сети вселенной постоянно происходит и абсолютно непрерывен. Ведь все существующие в природе явления, в какой - то мере зависимы друг от друга и имеют своё чисто математическое объяснение. Наглядную последовательность любых реальных событий можно проиллюстрировать с помощью каких-либо числовых последовательностей, функций одной или нескольких переменных, дифференциальных уравне-

ний. Эти математически описанные процессы в свою очередь имеют соответствующие компьютерные модели. Математически сформулированную задачу можно смоделировать на языке программирования высокого уровня. К ним относятся, например PASCAL, BASIC, FORTRAN, C и др. Таким образом, создаётся алгоритм решения задачи с реализацией на ЭВМ. Например, в высших учебных заведениях изучаются приближённые вычисления, называемые итерационными методами. Если известен словесный или записанный в виде блок – схемы алгоритм, то этого достаточно, чтобы создать механическим образом программу на языке высокого уровня. Приближённым вычислениям на языке TURBO PASCAL преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета С.А. Немнюгин посвятил целую главу (см [1]). Даются полные теоретические сведения, нет необходимости в знаниях по дисциплинам: «Методы вычислений» или «Численные методы». Но в любом случае вначале строится математическое описание задачи, а затем компьютерная модель на языке программирования. Безусловно, для того чтобы понять искусство программирования надо начинать с языка PASCAL. Здесь помимо основ алгоритмизации решаются некоторые задачи элементов системного программирования, программируется звук, даются основы объектно-ориентированного программирования (см [1]). На основе TURBO PASCAL построена его продвинутая версия OBJECT PASCAL, являющийся главным инструментом визуальной среды программирования DELPHI.

Но базовым алгоритмическим языком является BASIC. При программировании в нём с действительными числами можно работать как с одномерными и двумерными массивами. То есть любые вещественные числа, мы можем записать в виде массивов. Покажем код простой программы для целого числа.

```
PRINT «Введите последнее целое число»
INPUT N
FOR I=1 TO N
  A (I) =I: NEXT I
```

На языке BASIC с числовыми, строковыми переменными, записанными в виде массивов работать очень интересно и намного проще. Творческий подход при создании программ требует больших усилий, так как процесс является очень трудоёмким. QUICK BASIC после набора каждой строки показывает синтаксическую ошибку. Компилятор TURBO PASCAL покажет ошибку в конце решения задачи, но зато в отличие от интерпретатора QUICK BASIC даёт решение ощутимо быстрее. Как и в PASCAL на BASIC можно строить графики. Также изучается компью-

терное моделирование физических процессов в визуальной среде программирования VISUAL BASIC.

В курсе информатики основу обязательного изучения студентами первого курса, составляют следующие программы MS WORD, MS EXCEL, MS ACCESS. Они входят в прикладной пакет MS OFFICE. На основе этого на практических и лабораторных занятиях изучаются моделирование в среде текстового редактора, моделирование в электронных таблицах, моделирование в базах данных.

Прикладное программирование для вычислений в экономике и инженерной деятельности реализуется с помощью программы VISUAL FORTRAN. На сегодня же популярны такие программные средства математических расчётов как MATHCAD, MATLAB, MATHEMATICS. У них мощные графические возможности и они проще и удобнее, чем при использовании алгоритмических языков.

Например, сглаживание данных, полученных генератором случайных чисел в пакете MATHCAD наглядно видно из рисунка.



MATLAB также имеет богатые возможности графического представления информации. Она позволяет строить двухмерные и трёхмерные графики функций, заданных в аналитическом виде, в виде векторов и матриц; даёт возможность построения множества функций на одном графике; позволяет представлять графики разными цветами, типами точек и линий и в различных системах координат. Система способна строить диаграммы, гистограммы и графики специальных функций. Студенты высших учебных заведений ограничиваются моделированием двухмерной и трёхмерной графики универсаль-

ных математических функций. Код программы в MATLAB для построения графика функции  $y = 2^x + 3 * x - 1$  весьма прост:

```
> x = 0 : 0.2 : 4.0;
> y = 2. ^ x + 3 * x - 1;
> plot (x, y)
```

Каждая из математических программ имеет профессиональный уровень и свои неповторимые особенности. Их можно использовать при компьютерном изучении физико-математических дисциплин. Компьютерное моделирование физических процессов в средах MATHCAD, MATLAB, MATHEMATICS подтверждает это. Но замечательным применением MATLAB программы является имитационное моделирование сложных экономических систем. Имитационное моделирование является частью математического моделирования. А любая математическая модель реализуется на ЭВМ с использованием новых информационных технологий.

К одному из важных разделов информатики относится компьютерная графика. Отсюда выходит моделирование в среде графического редактора. В зависимости от способа формирования изображений компьютерную графику принято подразделять на растровую, векторную и фрактальную. Отдельным предметом считается трёхмерная (3D) графика, изучающая приёмы и методы построения объёмных моделей объектов в виртуальном пространстве. Как правило, в ней сочетаются векторный и растровый способы формирования изображений. Чаще всего при введении в компьютерную графику используются такие распространённые программы, как Adobe Photoshop, CorelDraw, AutoCAD. Можно применить и язык программирования, если, к примеру, создать элективный курс под названием «Компьютерная графика на VISUAL BASIC». Компьютерная графика служит всего лишь инструментом. Но её структура и методы основаны на передовых достижениях фундаментальных и прикладных наук: математики, физики, химии, биологии, статистики, программирования и множества других. Это замечание справедливо как для программных, так и для аппаратных средств создания и обработки изображений на компьютере. Поэтому компьютерная графика является одной из наиболее бурно развивающихся отраслей информатики и во многих случаях тянет за собой всю компьютерную индустрию.

На основе вышесказанного следует отметить, что не обязательно компьютерное моделирование выделять в конкретную дисциплину. Компьютерное моделирование – направление в современной науке, которое осваивается студентами компьютерных наук на протяжении всего обучения в вузе.

И достаточно понять, что она описывает на ЭВМ математическую или виртуальную модель какого-то процесса. Это обычный или усложнённый алгоритм, реализованный с применением современных информационных технологий, т.е. различных пакетов прикладных программ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Немнюгин, С. А. TURBO PASCAL. – СПб : Издательство «Питер», 2001. – 496 с.: ил.
- 2 Ашманов, С. А. Линейное программирование. – М. : Наука, 1981.
- 3 Информатика. Базовый курс. 2-е издание / Под. ред. Симоновича. – СПб. : Питер, 2005. – 640 с.: ил.
- 4 Акулич, И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М. : Высш.шк., 1986. – 319 с.
- 5 «V Торайғыров окулары» атты халықаралық ғылыми – теориялық конференция материалдары – Павлодар : С. Торайғыров атындағы ПМУ, 2012. – 360 б.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 04.09.12

*Б.Т. Абдрахманов*

**Информатикадағы компьютерлік модельдеу**

*B.T. Abdrakhmanov*

**Computer modeling in informatics**

*Бұл мақалада автор информатика курсындағы компьютерлік модельдеу ұғымына анықтама береді. Қолданбалы бағдарламалардың қолдануымен салыстырма талдауда компьютерлік модельдеу әдістері туралы айтылады.*

*In this article the author gives wording of notion of computer modeling in course of informatics. In benchmark analysis it is told about methods of computer modeling with use of the different packages of applied programs.*

УДК 004.94

**Б.Т. Абдрахманов****ВНЕДРЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И  
МОДЕЛИ**

*В этой статье модели экономико-математических способов автора экономического процесса имитационной попытки модели указывает состоящие внедрения. Экономика - дополняется новым отделом математическая модель.*

Экономико-математические методы и модели; исследование операций в экономике; экономико-математическое моделирование – одна и та же математическая наука, моделирующая экономические процессы и требующая преобразований и усовершенствования с использованием современных информационных технологий. Ещё при решении задач оптимизационных систем мы сталкивались с некоторыми частными экономическими проблемами, которые подверглись глубокому математическому анализу с реализацией на ЭВМ. Название «Экономико-математическое моделирование» также как и два предыдущих звучит обширно, т.е. даёт возможность полного творческого осмысливания и дополнения новизной.

Целью изучения данной дисциплины является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области линейного и нелинейного программирования, динамического программирования, по применению методов имитационного моделирования в экономике, управлении и бизнесе. В процессе изучения курса студенты знакомятся со средствами имитационного моделирования процессов функционирования экономических систем. Овладевают методами имитационного моделирования, типовыми этапами моделирования процессов, образующих «цепочку»: построение концептуальной модели и ее формализация – алгоритмизация модели и ее компьютерная реализация – имитационный эксперимент и интерпретация результатов моделирования; овладевают практическими навыками реализации моделирующих алгоритмов для исследования характеристик и поведения сложных экономических систем.

В результате освоения содержания дисциплины студент должен:

а) **знать:** основы теории и практики линейного и нелинейного программирования, динамического программирования и имитационного моде-

лирования экономических процессов; основные классы моделей систем предметной области, технологию их моделирования; принципы построения моделей процессов функционирования экономических систем, методы формализации и алгоритмизации, возможности реализации моделей с использованием программно-технических средств современных ЭВМ.

б) **уметь:** решать задачи линейного и нелинейного программирования, динамического программирования, а также некоторые частные экономические задачи с использованием пакетов MS EXCEL, MATHCAD. Использовать метод имитационного моделирования при исследовании, проектировании и эксплуатации экономических систем; разрабатывать схемы моделирующих алгоритмов процессов и систем, реализовывать модели с использованием пакета прикладных программ моделирования Matlab, Simulink.

Для создания рабочей учебной программы дисциплины можно воспользоваться монографией д.п.н., профессора Исина М.Е. (см [8]).

На основе этого труда создана примерная программа экономико-математического моделирования с внедрением в теорию и практику имитационного моделирования экономических систем.

Так как на изучение данной дисциплины выделено малое количество часов, то возможна следующая примерная тематика нового дополнительного элективного курса:

#### **1. Примерные темы лекционных занятий**

Лекция 1. Задачи линейного программирования

Лекция 2. Геометрический метод решения двумерных задач линейного программирования

Лекция 3. Симплексный метод решения задач линейного программирования

Лекция 4. Метод искусственного базиса решений задач линейного программирования

Лекция 5. Двойственные задачи линейного программирования

Лекция 6. Задачи целочисленного программирования

Лекция 7. Транспортная задача

Лекция 8. Матричные игры

Лекция 9. Нелинейное программирование

Лекция 10. Динамическое программирование

Лекция 11. Потoki в сетях

Лекция 12. Сетевое планирование

Лекция 13. Задача коммивояжера

Лекция 14. Задачи теории массового обслуживания

Лекция 15. Имитационное моделирование экономических процессов

**2. Примерные темы практических и лабораторных занятий**

1. Задачи линейного программирования
2. Геометрический метод решения двумерных задач линейного программирования
3. Симплексный метод решения задач линейного программирования
4. Задачи целочисленного программирования
5. Транспортная задача
6. Матричные игры
7. Нелинейное программирование
8. Потоки в сетях
9. Сетевое планирование
10. Задача коммивояжера
11. Задачи теории массового обслуживания
12. Основы работы в MATLAB/SIMULINK (см [7], глава 4)
13. Моделирование случайных событий и величин (см [7], глава 3)
14. Управление модельным временем. Моделирование асинхронных процессов (см [7], глава 5)
15. Имитационная модель циклов роста и падений в экономике (кризисов) (см [7], глава 9)

**3. Примерные темы для самостоятельного изучения**

1. Применение матричных игр в маркетинговых исследованиях
2. Дробно-линейное программирование
3. Задача о распределении потоков в сетях
4. Сетевой график. Критический путь
5. Система массового обслуживания с неограниченным ожиданием
6. Разработка модели потока заявок на обслуживание (см [7], глава 9)
7. Построение имитационной модели для определения оптимальной ставки налогообложения прибыли предприятия (см [7], глава 9)
8. Построение «паутинообразной» модели фирмы (Модель равновесия на конкурентном рынке) (см [7], глава 9)

Приведённая тематика сохраняется и для обязательного компонента, просто намного больше часов нужно для самостоятельного изучения дисциплины с преподавателем.

Сама идея внедрения имитационного моделирования экономических систем в экономико-математическое моделирование была предложена к.ф.м.н., доцентом кафедры математического анализа Семеновым А.М. (Россия, ОмГУ имени Ф.М. Достоевского). Согласно мнению Семенова А.М. имитационное моделирование лучше осуществлять с использованием

пакета прикладных программ Matlab, Simulink. А задачи линейного и нелинейного программирования, динамического программирования, задачи теории массового обслуживания и некоторые частные экономические проблемы удобнее реализовать в программах MS EXCEL и MATHCAD. Причиной разработки тематики приведённых нововведений является нехватка учебно-методических пособий для изучения обязательного компонента, не говоря о дополнительных главах дисциплины.

Поэтому главной целью является изучение экономико-математического моделирования с внедрённым в теорию и практику имитационного моделирования экономических систем с использованием современных информационных технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Немнюгин, С. А.** TURBO PASCAL. – СПб : Издательство «Питер», 2001. – 496 с.: ил.
- 2 **Ашманов, С. А.** Линейное программирование. – М. : Наука, 1981.
- 3 Информатика. Базовый курс. 2-е издание / Под. ред. Симоновича. – СПб. : Питер, 2005. – 640 с. : ил.
- 4 **Акулич, И. Л.** Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высш.шк., 1986. – 319 с.
- 6 «V Торайғыров оқулары» атты халықаралық ғылыми – теориялық конференция материалдары – Павлодар: С. Торайғыров атындағы ПМУ, 2012. – 360 б.
- 7 **Снетков, Н. Н.** Имитационное моделирование экономических процессов: Учебно-практическое пособие. – М. : Изд. центр ЕАОИ, 2008. – 228 с.
- 8 **Исин, М. Е.** Совершенствование обучения математическим дисциплинам студентов экономических вузов: монография. – Павлодар, 2007. – 225 с.: ил.
- 9 **Бусленко, Н. П.** Моделирование сложных систем. – М. : Наука, 1978. – 399 с.
- 10 **Варфоломеев, В. И.** Алгоритмическое моделирование элементов экономических систем. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 208 с.
- 11 **Гультяев, А.** Визуальное моделирование в среде MATLAB. – СПб. : Питер. – 2000.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 04.09.12

*Б.Т. Абдрахманов*

**Экономика-математикалық әдістері мен моделдеріне  
экономикалық процестерінің имитациялық моделдеуін енгізу**

*B.T. Abdrakhmanov*

**Introduction of simulation modeling of economic processes in economic  
and mathematical methods and models**

*Бұл мақалада автор экономика-математикалық әдістері мен  
моделдеріне экономикалық процестердің имитациялық моделдеу амалының  
енгізу жағдайын көрсетеді. Экономика – математикалық моделдеу жаңа  
бөліммен толықтырылады.*

*In this article the author shows the process of introduction of simulation  
modeling in economic and mathematical methods and models. Economic and  
mathematical modeling is complemented in the new section.*

УДК 621.436

**Д.С. Бахтиярова, Б.К. Омарова, Е.Т. Хасенов, А.К. Каракаев**

## **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ**

*В статье представлены результаты анализа основных направлений  
использования природного газа в дизелях современного транспорта.*

Автомобильный транспорт является одним из основных потребителей нефтепродуктов и останется главным потребителем моторных топлив на период до 2040-2050 г.г. В ближайшей перспективе ожидается увеличение потребления нефтепродуктов при примерно постоянных объемах их производства и нарастающий дефицит моторных топлив.

Эти факторы привели к необходимости реконструкции топливно-энергетического комплекса путем более глубокой переработки нефти, применения энергосберегающих технологий, перехода на менее дорогостоящие виды топлив. Поэтому одним из основных путей совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС), остающихся основными потребителями нефтяных топлив, является их адаптация к работе на различных нетрадиционных топливах, к которым относят облегченные и утяжеленные нефтяные.

Важной особенностью перевода дизелей на нетрадиционные топлива является возможность обеспечения требуемых эксплуатационно-технических показателей без изменения конструкции двигателя или при ее незначительных изменениях. Это позволяет организовать работу дизелей не только на традиционных дизельных топливах, но и на нетрадиционных топливах (в том числе и на газообразных), т.е. обеспечить «всеядность» двигателей. Применение таких двигателей значительно облегчает решение вопросов снабжения транспортных средств топливом в реальных условиях эксплуатации и придает им большую автономность. Экономика стран СНГ базировалась на трех основных энергоносителях - нефти, угле и природном газе.

Продолжительное время топливно-энергетический комплекс использовал энергоносители преимущественно нефтяного происхождения. Однако в последние годы наметилась тенденция к снижению роли нефти и нефтепродуктов в экономике стран СНГ. Это объясняется снижением темпов роста добычи нефти, вызванным выработкой крупных месторождений, незначительным вводом в эксплуатацию новых месторождений, заметным сокращением инвестиций в поисково-разведочные работы, отсутствием эффективных технологий добычи, обеспечивающих высокую отдачу нефтяных пластов. Поэтому ожидаемый подъем национальных экономик стран СНГ неизбежно будет сопровождаться дефицитом нефти и нефтепродуктов, что создает предпосылки к более широкому использованию других энергетических ресурсов.

Таким образом, направления дальнейшего развития энергетических установок с ДВС во многом зависят от перспектив использования в них различных энергоносителей. В качестве сырьевой базы для получения существующих и перспективных топлив для ДВС могут использоваться как не возобновляемые источники энергии - полезные ископаемые (нефть, газ, уголь и др.), так и возобновляемые ресурсы - растительные масла, биомассы, древесина, сельскохозяйственные и бытовые отходы и др.

В настоящее время основная часть моторных топлив производится из полезных ископаемых, в основном из нефти. Среди различных видов транспорта (воздушного, морского, речного, железнодорожного и т. д.) ее доля особенно велика в автотранспорте, на потребности которого расходуется более 50% от общего количества добытой нефти [1]. Однако из-за ограниченности природных ресурсов нефти все большее применение находят и другие виды топлива.

Современная структура топливно-энергетического баланса в значительной степени определяется заметным истощением запасов нефти и продолжающимся повышением мировых цен на нефть. Наряду с умень-

шением мировых запасов нефти наблюдается тенденция повсеместного повышения цен на нефть и нефтяные топлива. Начало интенсивного роста цен на нефтепродукты потребления полезных ископаемых и их запасов, на которой энергетические ресурсы сравниваются в единицах теплоты. **Отмеченное повышение цен на нефть и нефтепродукты** обусловлено также удорожанием добычи нефти и увеличением затрат на нефтепереработку, вызванным, главным образом, увеличением ее глубины и использованием при производстве моторных топлив продуктов вторичных (деструктивных) процессов переработки (рисунок 1) конечных фракций и мазута (термического и каталитического крекинга).

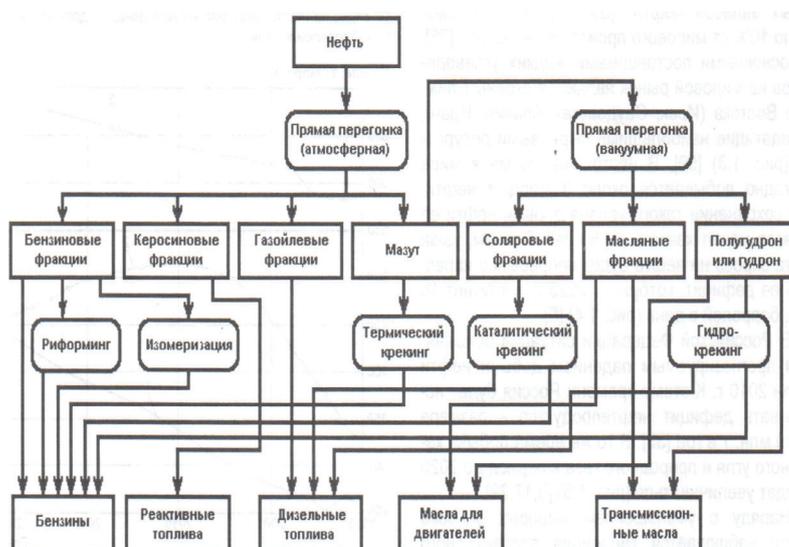


Рисунок 1 – Схема переработки нефти

Таким образом, нефтеперерабатывающая промышленность развивается в направлении увеличения выработки светлых нефтепродуктов (бензинов, керосинов, дизельных и реактивных топлив) при незначительном увеличении общего объема переработки нефти. Такое развитие отрасли возможно за счет углубления переработки нефти, т. е. более полного использования фракций нефти при производстве моторных топлив.

В основе структуры баланса производства жидких топлив лежит естественное содержание топливных фракций в нефти. Относительное содержание топливных фракций – бензиновых, керосиновых, дизельных и остаточных (мазута) в сырой нефти среднего состава составляет соответственно 27, 10, 25 и 38 % [2]. В то же время доля потребления дизельных топлив достаточно высока и в настоящее время составляет около 40 % от общего

ресурса моторных топлив. При этом доля потребления автомобильных бензинов равна примерно 35 % [3]. Поэтому для более полного использования фракций нефти и, следовательно, для увеличения выпуска моторных топлив желательное использование в дизелях не только традиционных нефтяных топлив, но и топлив, содержащих легкие и тяжелые нефтяные фракции, обычно не используемые при производстве дизельных топлив.

Первым этапом обеспечения всеядности дизелей явилась разработка и внедрение так называемых «многотопливных» двигателей, работающих на различных нефтяных топливах (дизельных топливах, бензинах, керосинах, реактивных топливах). Их внедрение позволяет более полно использовать содержащиеся в сырой нефти фракции. Бензиновые и дизельные двигатели потребляют до 54 % нефтяных фракций, а «многотопливные» двигатели - до 71 % добываемого из сырой нефти топлива [4, 5]. При этом сжигание бензиновых фракций в дизеле более экономично, чем в бензиновом двигателе с принудительным воспламенением, у которого степень сжатия ограничивается возможностью возникновения детонационных процессов, а на режимах с частичными нагрузками применяется неэкономичное количественное или смешанное регулирование. В среднем, в зависимости от типа дизеля, эксплуатационный расход бензина в «многотопливных» дизелях понижается на 25-50 % по сравнению с расходом его в бензиновых двигателях [6].

Проблема «всеядности» двигателей тесно связана с задачей расширения и наиболее рационального использования топливных ресурсов. Это обусловлено возможностью более гибкого приспособления двигателей к изменяющемуся топливному балансу, определяемому добычей нефти, потреблением различных ее фракций, затратами на производство и транспортировку различных нефтепродуктов, использованием альтернативных топлив, получаемых из природного газа, каменного угля, горючих сланцев, биомассы и других сырьевых ресурсов. Решение проблемы «всеядности» двигателей позволяет обеспечить их бесперебойную и мобильную работу в условиях дефицита того или иного вида топлива, что особенно важно для двигателей транспортного назначения.

Важнейшим аспектом «всеядности» двигателей является проблема замены нефтяных топлив нефтяными - альтернативными топливами. В связи с вышеизложенным перевод части автомобильного парка на топлива, получаемые из альтернативных сырьевых ресурсов, становится неизбежным.

#### **Виды нетрадиционного топлива**

Среди нетрадиционных топлив, применение которых возможно в дизелях, выделяют нефтяные топлива и топлива, производимые из альтернативных источников энергии. Нефтяные и альтернативные топлива условно разделяют

на три группы [7]. К первой группе можно отнести смесевые топлива, содержащие нефтяные топлива с добавками ненефтяного происхождения (спиртами, эфирами и др.). Смесевые топлива по эксплуатационным свойствам, как правило, близки к традиционным нефтяным топливам. Вторая группа включает синтетические жидкие топлива, приближающиеся по свойствам к традиционным нефтяным топливам. Эти топлива получают при переработке твердых, жидких или газообразных полезных ископаемых (угля, горючих сланцев, природного газа и газовых конденсатов и т.д.). Третью группу составляют ненефтяные топлива (спирты, эфиры, газообразные топлива), существенно отличающиеся по физико-химическим свойствам от традиционных нефтяных топлив. Наиболее перспективными из альтернативных топлив являются топлива, получаемые из газового сырья, угля и сланцев, а также топлива растительного происхождения.

В настоящее время первое место в мире по потреблению на транспорте среди альтернативных топлив занимают сжиженные нефтяные газы (сжиженные углеводородные газы или пропанбутановые смеси), получаемые при переработке нефтяного (попутного) газа. Одним из наиболее перспективных энергоносителей на транспорте является природный газ.

По данным РАО ЕЭС в России из природного газа вырабатывается около 70 % электроэнергии, получаемой из полезных ископаемых (остальные 30% - из угля и мазута). Возможно использование этой электроэнергии в качестве энергоносителя для электромобилей, работающих на электричестве от аккумуляторных батарей, размещенных на борту транспортного средства. Использование электромобилей кардинально решает проблему снижения токсичности ОГ двигателей, появляется возможность использования электроэнергии, получаемой из любого энергоносителя. В качестве наиболее распространенного источника энергии в электромобиле рассматривается свинцово-кислотные батареи, являющиеся наиболее дешевым типом батарей.

Наиболее простым и недорогим путем применения природного газа на транспорте является его использование в сжатом и сжиженном видах. Другим направлением использования природного газа является синтезирование из него жидких топлив, близких по своим свойствам к традиционным моторным топливам. При этом природный газ окисляется в присутствии катализатора в синтез-газ, содержащий монооксид углерода CO и водород  $H_2$ . В качестве перспективных альтернативных топлив, получаемых из природного газа, рассматриваются также метиловый спирт (метанол), этиловый спирт (этанол) и диметиловый эфир [8, 9, 1, 10, 11]. Причем, их синтезирование возможно также из любого другого углеродсодержащего

сырья (угля, сланцев, торфа, древесины), а также отходов промышленного и сельскохозяйственного производств. По своим свойствам названные спиртовые топлива пригодны как для использования в двигателях с принудительным воспламенением, так и для применения в дизелях. Одним из наиболее перспективных спиртовых топлив является метанол, промышленное получение которого освоено во многих странах. В последнее время в качестве одного из наиболее перспективных альтернативных топлив для дизелей рассматривается диметиловый эфир (ДМЭ). Преимуществами этого вида альтернативного топлива являются высокое цетановое число, соизмеримое с цетановым числом штатных дизельных топлив, и хорошие экологические качества двигателей, работающих на ДМЭ.

Наиболее вероятным сырьем для производства моторных топлив для транспорта в ближайшей перспективе является уголь.

В мировых запасах ископаемых энергоресурсов на каменный уголь приходится 80-85 % суммарного энергосодержания [12]. Доказанные мировые запасы угля составляют 16 трлн. т, из них 4 трлн.т доступные рентабельные запасы. При современном уровне добычи угля этих запасов хватит на 200-250 лет. Использование угля в качестве энергоносителя на транспорте возможно путем его сжигания на теплоэлектростанциях с последующим использованием полученной электроэнергии в электромобилях. Другой способ заключается в использовании в качестве топлива для дизелей смесей (суспензий) угольной пыли с дизельным топливом, альтернативными топливами или водой. Однако наиболее перспективным представляется производство синтетических моторных топлив из угля. Такие топлива можно получить либо прямым синтезом из продукта газификации угля - синтез-газа (процесс Фишера-Тропша), либо через промежуточное получение метанола. Из 1 м<sup>3</sup> синтез-газа получают около 200 г жидких углеводородов, которые могут быть использованы в качестве компонентов моторных топлив. Таким же образом возможно получение синтетических моторных топлив из бурых углей и торфа.

Кроме рассмотренных первичных топливно-энергетических ресурсов для производства моторных топлив могут быть использованы так называемые вторичные ресурсы - газы, получаемые при переработке нефти, природного и попутного нефтяного газов, коксовый, доменный и генераторный газы, биомасса (древесина, водоросли, отходы сельскохозяйственного производства и др.). Наиболее значимыми из них являются биомасса и продукты ее переработки. При этом в отличие от других перечисленных выше энергетических ресурсов биомасса является возобновляемым источником энергии.

Перспективны в качестве моторных топлив растительные масла: подсолнечное, рапсовое, хлопковое, соевое, льняное, пальмовое, арахисовое, сурепное и др. Их можно использовать в исходном виде или после специальной химической обработки, а также в смеси с нефтяными или альтернативными топливами. Среди альтернативных энергоносителей для транспорта следует особенно отметить водород, а также водородсодержащие топлива (синтез-газ -  $H_2+CO$ ). Водород обладает чрезвычайно высокой энергоемкостью (теплотворной способностью почти в три раза большей, чем у традиционных нефтяных топлив) и уникальными экологическими качествами [13, 14]. Основной проблемой применения чистого водорода является отсутствие инфраструктуры его производства в необходимых для транспорта количествах, сложности хранения, транспортировки и заправки автомобилей. Водород (синтез-газ) может быть получен в конверторе непосредственно на борту автомобиля из метанола или другого энергоносителя.

Проведенный анализ тенденций развития топливного баланса показывает, что проблема обеспечения «всеядности» ДВС (дизелей) становится в настоящее время все более актуальной. В то же время при переводе дизелей на нетрадиционные топлива возникает ряд проблем, обусловленных различиями физико-химических свойств дизельных и нетрадиционных топлив.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кириллов, Н. Г. Альтернативные моторные топлива XXI века // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2003. – №3. – С. 58-63.
- 2 Гершман, И. И., Лебединский А. Л. Многотопливные дизели. – М. : Машиностроение, 1971. – 224 с.
- 3 Бушуев, В. В. Прогнозный баланс использования на транспорте различных видов энергоносителей // Газ в моторах: тезисы докладов международной конференции; 22-23 мая 1996 г. – М. : РАО «Газпром», 1996. – С. 16-19.
- 4 Демьянов, Л. А, Сарафанов, С. К. Многотопливные двигатели. – М. : Всениздат, 1968. – 104 с.
- 5 Свиридов, Ю. Б., Малявинский, Л. В., Вихерт, М. М. Топливо и топливоподача автотракторных дизелей. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.
- 6 Марков, В. А, Козлов С. И. Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с.
- 7 Лапидус, А. Л., Крылов И. Ф., Тонконогов, Б. Л. Природный газ как моторное топливо // Химия и технология топлив и масел – 2005. - №3. – С. 3-8.
- 8 Антифеев, В. Н., Ровнер, Г. М., Мкртычан, Я. С. О новой московской программе использования альтернативных видов моторного топлива

на автотранспорте // Авто-газозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2002. № 4. – С. 8-17.

9 Грехов, Л. В., Иващенко, Н. А., Марков, В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. – М. : Изд-во «Легион-Автодата», 2004. – 344 с.

10 Лютко, В., Луканин, В. Н., Хачиян, А. С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М. : Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

11 Розовский, А. Я. Диметилвый эфир и бензин из природного газа // Российский химический журнал. – 2003. – Т. XLVII. – № 6. – С. 53-61.

12 Смаль Ф. В., Арсенов Е. Е. Перспективные топлива для автомобилей. – М. : Транспорт, 1979. – 151 с.

13 Каменев, В., Фомин, В., Хрипач, Н. Водород - альтернативный энергоноситель для автотранспорта: проблемы и решения // Автогазозаправочный комплекс альтернативное топливо. – 2004. – № 1. – С. 43-48.

14 Хрипач Н. Синтез-газ - новое альтернативное топливо для транспортных двигателей // Автогазозаправочный комплекс альтернативное топливо. – 2003. – № 5. – С.54-56.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*Д.С. Бахтиярова, Б.К. Омарова, Е.Т. Хасенов, А. К. Каракаев*

**Дизельдегі дәстүрлі емес отынды қолдану мәселесі**

*D.S. Bakhtiarova, B.K. Omarova, E.T. Hasenov, A.K. Karakaev*

**The issues of using unconventional fuel in diesel engines**

*Мақалада қазіргі кәсіпкерге дизельдің орнына табиғи газды қолдану нәтижесін талдау бағыты берілген.*

*The article presents the results of analysis of the main directions for usage of the natural gas in the contemporary transport diesel engines.*

**Р.А. Бегалиев, М.М. Суюндиков, П.О. Быков**

## **ВЫБОР ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ БОРОМ**

*В статье представлен анализ освоения технологии выплавки и прокатки цельнотянутой (бесшовной) трубной продукции для полной загрузки и реализации трубного стана.*

Отраслевой Программой развития горно-металлургической отрасли Республики Казахстан на 2010-2014 годы в ПФ ТОО «KSP Steel» предполагается освоение технологии выплавки и прокатки цельнотянутой (бесшовной) трубной продукции из ванадий и ниобий содержащих марок стали для обеспечения полной загрузки трубного стана мощностью 270 тысяч тонн [1].

Микролегирующие стали химически активными элементами, оказывающими эффективное влияние на формирование в сталях структурного состояния, улучшающего комплекс потребительских свойств является одним из перспективных направлений современного металлургического производства, не требующих значительных сырьевых и энергетических затрат [2].

Наряду с такими дорогостоящими элементами, как ниобий, ванадий, цирконий, титан и другие, в практике микролегирующей стали применяется бор [2 – 5]. Можно отметить следующие преимущества применения борсодержащих сталей:

- более низкая стоимость (борсодержащие ферросплавы дешевле сплавов с ванадием и ниобием более чем в два раза);

- меньшее содержание бора в стали при тех же прочностных свойствах (около  $10^{-4}$  –  $10^{-3}$  %, т.е. меньше ванадия и ниобия примерно в 10 раз).

Кроме этого влияние бора в сталях может проявляться в следующем [2 – 5]:

- повышении пластичности стали;

- уменьшении отрицательного оstarивающего влияния свободного азота за счет связывания его в боронитридные и карбоборонитридные соединения, что увеличивает пластичность и деформируемость проката при холодном формоизменении;

- улучшении деформируемости неметаллических включений;

- нейтрализации негативного воздействия Cr, Ni, Cu на скорость распада аустенита при процессах патентирования;

- улучшении управляемости технологическим процессом термической

обработки в потоке производства проката и формировании оптимальной структуры за счет увеличения прокаливаемости стали;

– измельчении столбчатых кристаллов в сечении непрерывнолитых заготовок, что обуславливает уменьшение осевой ликвации (особенно углерода для высокоуглеродистых сталей) и, соответственно, увеличении предельной деформируемости.

Исследованиями влияния бора на свойства стали широко занимаются ученые Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (научный руководитель д.т.н., профессор Акбердин А.А.) [3 – 5].

Анализ работ [2 – 5], показал, что в практике металлургического производства нашли применение различные способы ввода бора в сталь. Бор вводится в виде кускового ферробора (ГОСТ 14848), в виде борсодержащей порошковой проволоки, в виде комплексных ферросплавов с пониженным содержанием бора.

По данным работ ученых ХМИ им. Ж. Абишева [4, 5] использование комплексных борсодержащих ферросплавов (силикомарганец с бором, ферросиликобор и т.д.) обеспечивает более лучшее усвоение бора (в 1,6 раза до 77 %) и более высокие качественные показатели стали по сравнению с ферробором (увеличение однородности зерна, уменьшение количества и размеров неметаллических включений).

Анализ использования бора для улучшения свойств стальных металлоизделий показал, что его использование эффективно при использовании термообработки для улучшения свойств стали.

Поэтому для исследования процессов структурообразования литой стали микролегированной бором (с использованием различных видов ферросплавов) с целью улучшения свойств трубных марок стали, нами выбраны стали подвергаемые термической обработке (13ХФА, 25ХМФА, 09Г2С и т.п.).

При этом стремились в сталях, выбранных в качестве материала исследования обеспечить значительное различие между плавками по содержанию углерода и серы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Отраслевая Программа по развитию горно-металлургической отрасли Республики Казахстан на 2010 - 2014 годы // Министерством индустрии и новых технологий Республики Казахстан, 2010.

2 Производство стали. – Т.1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки /Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. – М. : Теплотехник, 2008. – 528 с.

3 Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Состояние, проблемы, решения. В 10 томах, 2-е изд., доп. –Т.3 – Подготовка и металлургическая переработка железных и марганцевых руд. – Алматы, 2008. – 496 с.

4 **Жучков, В. И., Акбердин, А. А., Леонтьев, Л. И., Ватолин, Н. А. Ким, А. С., Заякин, О. В.** Производство и использование новых борсодержащих ферросплавов в черной металлургии. – Труды научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 198 – 201.

5 **Акбердин, А. А., Ким, А. С., Жучков, В. И., Заякин, О. В.** Новые технологии получения борсодержащих ферросплавов. – Материалы международной научно-практической конференции «Абишевские чтения – 2011. Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии». – Караганда; Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, 2011. – С. 15 – 17.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 04.09.12

*Р.А. Бегалиев, М.М. Суюндиков, П.О. Быков*

**Микроқосындыланған бор процесін зерттеу үшін құбырдың құбыр маркасын таңдау**

*R.A. Begaliev, M.M. Suyundikov, P.O. Bykov*

**The choice of pipe steels for research of the boron microalloying process**

*Мақалада құбыр станын толық салу және іске асыру үшін құбыр өнімінің қатты қысылған прокаттары мен қорытын шығару технологиясын меңгеру анализі берілген.*

*The article analyzes development of the technology of smelting and rolling of the solid-drawn (seamless) pipe production for a full load and implementation of a pipe mill.*

**А.В. Богомолов, П.О. Быков, Н.К. Кулумбаев, Ж.Т. Батталов**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

*В статье рассматриваются методика проведения и сравнительные результаты технологических испытаний по пробе на осадку низколегированных конструкционных сталей.*

Целью технологических проб является определение способности металла к деформациям, которым он подвергается при работе, а также при обработке в холодном и горячем состоянии [1]. Качество металла определяется по внешнему виду образца после испытания. Поскольку заготовки подвергаются технологической операции штамповки, определяющим типом технологической пробы для них является испытание на осадку [2].

Испытание на осадку проводили по ГОСТ 8817-82 в холодном и в горячем состоянии для определения способности металла к деформации сжатия. Сущность метода заключается в осадке образца под действием сжимающего усилия вдоль его оси при нормальной или повышенной температуре и служит для определения способности металла выдерживать заданную относительную степень деформации, а также для выявления поверхностных дефектов металла. Были изготовлены двукратные цилиндрические образцы диаметром 30 мм длиной 60 мм для испытания в холодном состоянии и диаметром 35 мм длиной 70 мм для испытания в горячем состоянии [3]. Испытания проводили при динамической нагрузке. Для технологической пробы использовали пневматический ковочный молот М125. Испытания проводили до достижения образцом конечной высоты  $h_1$ , вычисляемой по формуле:

$$h_1 = h(1 - X/100)$$

где  $h$  - высота образца до осадки, мм,

$X$  - относительная деформация, %.

Величина относительной деформации назначается для черных металлов 50, 65 или 75%, что можно рассматривать как качественный показатель удовлетворительной, хорошей и высокой пластичности.

Для испытания на осадку в горячем состоянии нагрев образцов производили в муфельной печи, нагретой до температуры  $1010 \pm 5^\circ\text{C}$ . Время выдержки нагретых образцов составило 20 минут. С учетом потерь тепла

при транспортировке образцов от печи к деформирующему оборудованию можно считать температуру начала испытания 1000 °С.

Результаты технологических проб на осадку приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Результаты технологической пробы на пригодность металла к пластической деформации

Сталь	Температура деформирования, °С	Высота образца до осадки, мм	Конечная высота, мм	Относительная деформация,	Пластичность	Состояние поверхности образца
20ГР	20	60	21	65	хорошая	Механически обработанная
	1000	70	17,5	75	высокая	необработанная
65Г	1000	60	21	65	хорошая	Механически обработанная
	20	70	35	50	удовлетворительная	необработанная

Образцы до деформирования представлены на рисунке 1.1.



а)

б)

Рисунок 1.1 – Образцы для испытания на осадку: а) – с необработанной поверхностью, б) с механически обработанной (точеной) поверхностью

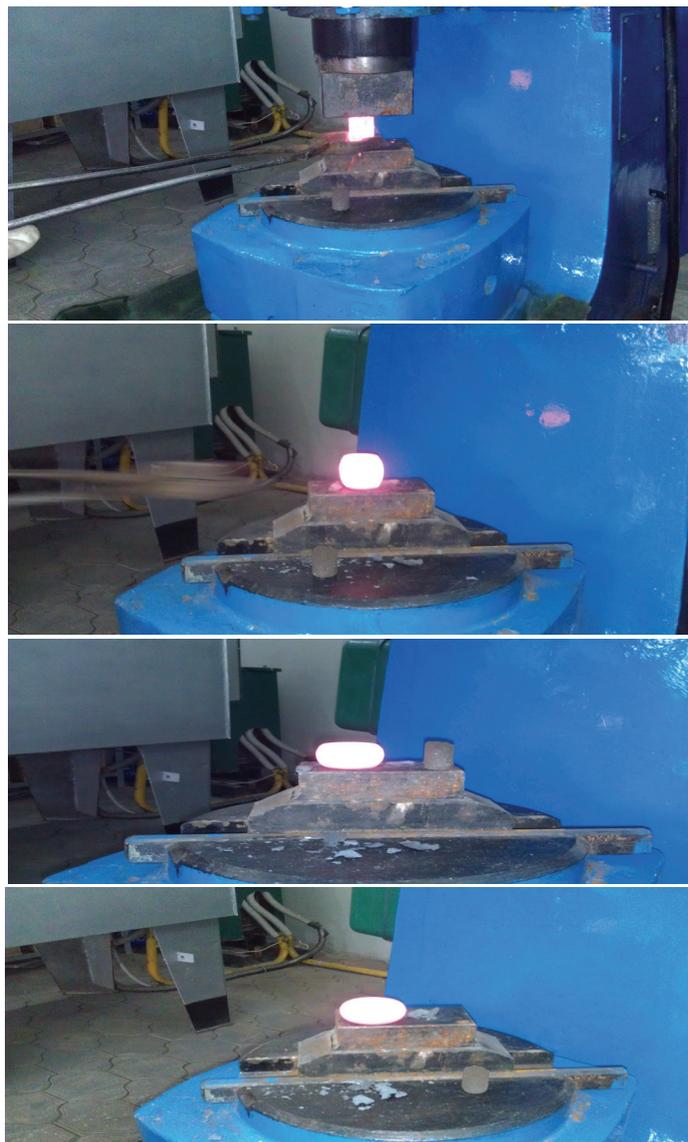


Рисунок 1.2 - Этапы проведения технологической пробы на осадку в горячем состоянии

Этапы проведения технологической пробы представлены на рисунке 1.2. Технологическую пробу проводили осаживая образцы в долях от первоначальной высоты последовательными ударами плоских бойков молота. При этом обеспечивали параллельность торцов образца в ходе деформации и перпендикулярность торцов оси образца.

Результаты испытаний на осадку показали, что образцы после достижения заданной относительной степени деформации не имеют на боковой поверхности возникших трещин, закатов, надрывов. (рисунок 1.3)

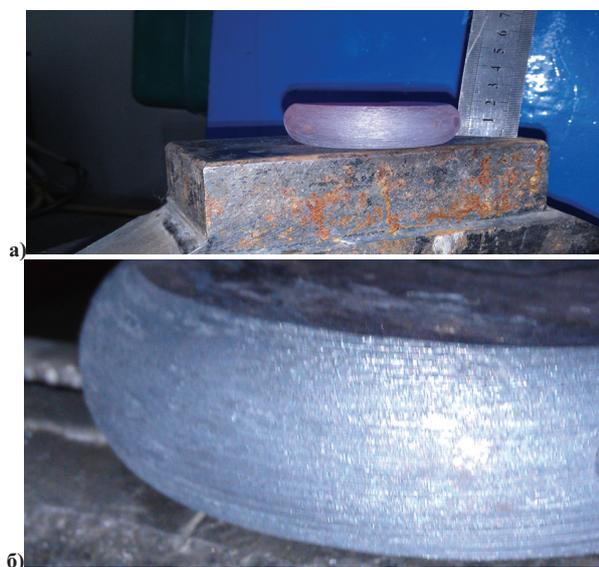


Рисунок 1.3 – Образцы после испытаний на осадку

Таким образом, образцы следует признать выдержавшими испытания на осадку. Это подтверждает хорошую пластичность боросодержащих сталей в холодном и высокую пластичность в горячем состоянии. Образцы из стали 65Г показали меньшую пластичность, что связано с более высоким содержанием углерода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Жуковец, И. И.** Механические испытания металлов – М. : Высшая школа, 1986. - 199 с., ил.
- 2 Конструкционные материалы. Справочник под ред. Б.Н. Арзамасова – М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.
- 3 **Плинер, Ю. Л., Степин, В. В., Устинова, В. И.** Стандартные образцы металлургических материалов – М.: Металлургия, 1976. - 296 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*А.В. Богомолов, П.О. Быков, Н.К. Кулумбаев, Ж.Т. Батталов*

**Төменқосындыланған құрыштың технологиялық сипаттамасы**

*A.V. Bogomolov, P.O. Bykov, N.K. Kulumbayev, Zh.T. Battalov*

**Identification of technological properties of the low-alloyed steels**

*Мақалада аз қоспалы құрылымдық болаттардың тұңбалық байқау технологиясын сынау нәтижесін салыстыру және өткізу әдістемесі қарастырылған.*

*The article deals with the method and comparative results of the technological tests on a sample of the low-alloy structural steels yielding.*

УДК 512.774.3

**Б.Н. Дроботун, Н.И. Мухамедзянова, Е.Ш. Оралов**

## **ОТНОШЕНИЕ ИЗОМОРФИЗМА И АБСТРАКТНЫЕ СВОЙСТВА АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СИСТЕМ (I)**

*В данной работе: определяются алгебраические системы бинарных отношений, заданных на конечном  $n$  - элементном множестве, и характеристических матриц размерности  $n \times n$ ; доказывается, что эти системы являются изоморфными; на основе этого изоморфизма приводится характеристика первичных свойств бинарных отношений в понятийно – терминологической базе теории матриц и рассматриваются возможности использования этой характеристики в прикладном аспекте.*

1. Бинарные отношения являются одним из наиболее распространенных в математике видов отношений. К важнейшим типам бинарных отношений принадлежат отношения эквивалентности и порядковые отношения, что определяется их основополагающей ролью в выявлении наиболее общих, не только для математики, но и для всей науки в целом, методов определения от абстракции, классификационных методов и методов построения фактор - структур.

В данной работе: определяются алгебраические системы бинарных отношений, заданных на конечном  $n$  - элементном множестве, и характеристических матриц размерности  $n \times n$ ; доказывается, что эти системы являются изоморфными; на основе этого изоморфизма приводится характеристика первичных свойств бинарных отношений в понятийно – терминологической базе теории матриц и рассматриваются возможности использования этой характеристики в прикладном аспекте.

Говоря о первичных свойствах, мы имеем в виду свойства рефлексивности, симметричности, связности, транзитивности, антисимметричности и т.п. бинарных отношений. Эти свойства подобны атомам, различные комбинации которых определяют алгебраические, порядковые и многие другие структурные свойства алгебраических систем. Приведем определения этих свойств на языке прикладного исчисления предикатов. Бинарное отношение  $P$ , заданное на абстрактном множестве  $M$  называется:

- 1) Рефлексивным, если  $(\forall x \in M)(x \in P)$ ;
- 2) Иррефлексивным, если  $(\forall x \in M)(x \notin P)$ ;
- 3) Симметричным, если  $(\forall x \in M)(\forall y \in M)((x \in P) \Rightarrow (y \in P))$ ;
- 4) Антисимметричными, если  $(\forall x \in M)(\forall y \in M)(x \in P \wedge y \in P \Rightarrow (x = y))$ ;
- 5) Транзитивным, если  $(\forall x \in M)(\forall y \in M)(\forall z \in M)((x \in P \wedge (x, y) \in P) \Rightarrow (y, z) \in P)$ ;
- 6) Связным, если  $(\forall x \in M)(\forall y \in M)((x \neq y) \Rightarrow ((x, y) \in P \vee (y, x) \in P))$

2. Переходя к построению алгебраической системы бинарных отношений, заданных на непустом множестве  $M$ , напомним ряд базовых понятий и конструкций, связанных с понятием бинарного отношения [1;2].

Пусть  $M = \{a_1; a_2; \dots; a_n\}$  – конечное  $n$ -элементное множество и  $M^2 = M \times M$  декартов квадрат этого множества. Подмножества множества  $M^2$  называются бинарными отношениями, заданными на множестве  $M$ . Таким образом, булеан  $B(M^2)$  множества  $M^2$  является множеством всех бинарных отношений, определенных на множестве  $M$ . Простейшим примером бинарного отношения, заданного на множестве  $M$  является отношение

$$\Phi_M = \left\{ \langle x, x \rangle / x \in M \right\},$$

которое называется «диагональю» множества  $M$ .

На булеане  $B(M^2)$  обычным образом определяются теоретико – множественные операции: " $\cup$ " – объединения; " $\cap$ " – пересечения; " $\setminus$ " – разности множеств и унарная алгебраическая операция " $\bar{\phantom{x}}$ " – дополнения бинарного отношения в множестве  $M^2$ , а также двухместный предикат " $\subseteq$ " – теоретико – множественного включения.

Специфика определения бинарных отношений на множестве  $M$ , как множества упорядоченных пар, позволяет ввести на  $B(M^2)$ : бинарную

алгебраическую операцию " \* " – композиции (или произведения) бинарных отношений и унарную алгебраическую операцию "  $^{-1}$  " – взятия обратного отношения (или операцию обращения отношений).

А именно, пусть  $P, Q \in B(M^2)$ . Тогда:

а) композицией (произведением) бинарных отношений  $P$  и  $Q$  называется бинарное отношение  $P * Q$ , определяемое на множестве  $M$  по правилу:

$$(\forall x, y \in M)((\langle x, y \rangle \in P * Q) \Leftrightarrow (\exists z \in M)((\langle x, z \rangle \in P) \& \& (\langle z, y \rangle \in Q)));$$

б) обращением бинарного отношения  $P$  называется бинарное отношение  $P^{-1}$ , задаваемое на множестве  $M$  следующим образом:

$$(\forall x, y \in M)((\langle x, y \rangle \in P^{-1}) \Leftrightarrow (\langle y, x \rangle \in P))$$

Отметим, что если рассматривать бинарные отношения, как соответствия из множества  $M$  в это же множество  $M$ , то операция композиции бинарных отношений, определенных на множестве  $M$ , и операция взятия обратного отношения будут представлять собой операции над этими соответствиями.

Нетрудно видеть, что для любого  $P \in M^2$  имеют место равенства:

$P \cup \emptyset = P$ ;  $P \cap M^2 = P$  и  $P * \Phi_M = \Phi_M * P = P$ , т.е. бинарные отношения  $\emptyset, M^2$  и  $\Phi_M$  являются нейтральными элементами относительно операций  $\cup, \cap$  и  $*$ , соответственно. Очевидно также, что

$$(\forall P, Q \in B(M^2))(P \setminus Q = P \cap \bar{Q}),$$

т.е. операция " $\setminus$ " – разности отношений, как элементов из  $B(M^2)$ , может быть определена через операции  $\cap$  и  $\bar{\quad}$ .

Отмеченная выше, универсальная роль бинарных отношений  $\emptyset, M^2$  и  $\Phi_M$ , как нейтральных элементов относительно соответствующих операций, позволяет считать их выделенными элементами множества  $B(M^2)$ .

Исходя из вышеизложенного получаем, что множество  $B(M^2)$  вместе с определенными на нем: алгебраическими операциями  $\cap, \cup, ^{-1}$  и  $\bar{\quad}$ ; отношением  $\subseteq$  и выделенными элементами  $\emptyset, M^2$  и  $\Phi_M$ , является алгебраической системой

$$B(M^2) = \langle B(M^2); \cup; \cap; *; \bar{\quad}; ^{-1}; \subseteq; \emptyset; M^2; \Phi_M \rangle$$

сигнатуры

$$\sigma = \langle F_1^2; F_2^2; F_3^2; F_4^1; F_5^1; P_1^2; c_1; c_2; c_3 \rangle.$$

При этом, интерпретация сигнатурных символов на множестве  $B(M^2)$  осуществляется следующим образом: двухместным функциональным символам  $F_1^2; F_2^2; F_3^2$  ставятся в соответствие операции  $\cup, \cap$  и  $*$ ; одно-

местному предикатному символу  $P_1^2$  – предикат  $\subseteq$ ; символам  $c_1; c_2; c_3$  – выделенных элементов – бинарные отношения  $\emptyset; M^2; \Phi_M$ , соответственно. Для дальнейшего эту интерпретацию обозначим через  $\mu_1$ .

3. Характеристической матрицей  $n$  – го порядка будем называть квадратную матрицу

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{pmatrix}$$

размерности  $n \times n$ , для которой  $\alpha_{ij} \in E = \{0,1\}$ ,  $i, j \in \{1; 2; \dots; n\}$ .

Для краткости, такие матрицы будут записываются, далее следующим образом:  $A = \|\alpha_{ij}\|_n$ .

Множество всех характеристических матриц  $n$  –го порядка обозначим через  $M(n; E)$ .

Пусть " $\vee$ "; " $\&$ "; " $\rightarrow$ "; " $\neg$ " – логические операции дизъюнкции, конъюнкции, импликации и отрицания, соответственно, традиционным образом определенные на множестве  $E$ .

На множестве  $M(n; E)$  зададим: бинарные алгебраические операции  $\vee; \&; \bullet$ ; унарные алгебраические операции  $\neg; {}^{-1}$  и бинарный предикат  $\preceq$  по следующим правилам.

Пусть  $T; S \in M(n; E)$  и  $T = \|\tau_{ij}\|_n$ ,  $S = \|s_{ij}\|_n$ . Положим:

$$(i) \quad T \vee S = \|\tau_{ij} \vee s_{ij}\|_n$$

$$(ii) \quad T \& S = \|\tau_{ij} \& s_{ij}\|_n$$

$$(iii) \quad T \bullet S = \|\gamma_{ij}\|_n,$$

где  $\gamma_{ij} = \bigvee_{k=1}^n (\tau_{ik} \& s_{kj})$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$$(iv) \quad T \preceq S \Leftrightarrow (\&_{i=1}^n \&_{j=1}^n (\tau_{ij} \rightarrow s_{ij}) = 1), \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\};$$

$$(v) \quad \neg T = \|\neg \tau_{ij}\|_n;$$

$$(vi) \quad T^{-1} = \|\delta_{ij}\|_n,$$

где  $\delta_{ij} = \tau_{ji}$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Эти определения показывают, что:

– операции  $\vee, \&, \neg$  над характеристическими матрицами определяются поэлементно, посредством применения к соответствующим элементам матриц логических операций  $\vee, \&$  и  $\neg$ ;

– для нахождения матрицы  $T \bullet S$  матрицы  $T$  и  $S$  умножаются по обычному правилу умножения матриц, но, при этом, арифметические

операции сложения и умножения заменяются на их логические аналоги – дизъюнкцию и конъюнкцию, соответственно;

- высказывание " $T \leq S$ " является истинным  $\Leftrightarrow (\| \tau_{ij} \rightarrow s_{ij} \|_n = \| 1 \|_n)$ ;
- матрица  $T^{-1}$  получается из матрицы  $T$  посредством применения к ней операции транспонирования.

Пусть, к примеру,  $n = 4$  и

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Тогда:

$$a) T \vee S = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad б) T \& S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\tau_{ij} \rightarrow s_{ij} = 0101101111111111,$$

т.е. высказывание  $T \leq S$  является ложным;

$$в) T \bullet S = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \quad г) \neg T = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$е) T^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Заметим, что матрицы:

$$0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} = \| 0 \|_n; \quad 1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} = \| 1 \|_n \text{ и}$$

$$e = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} = \| e_{ij} \|_n,$$

где  $(e_{ij} = 1) \Leftrightarrow (i = j)$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ , т.е. нулевая матрица, матрица – единица и единичная матрица являются нейтральными элементами относительно операций  $\vee$ ;  $\&$  и  $\bullet$ , соответственно.

Замкнутость множества  $M(n; E)$  относительно вышеопределенных операций  $\vee$ ;  $\&$ ;  $\bullet$ ;  $\neg$  и  $^{-1}$  обуславливает возможность определения алгебраической системы

$M(n; E) = \langle M(n; E); \vee; \&; \bullet; \neg; \bar{\phantom{x}}; \preceq; \mathbf{0}; \mathbf{1}; \varepsilon \rangle$  сигнатуры  $\sigma$ , в которой матрицы  $\mathbf{0}; \mathbf{1}; \varepsilon$  играют роль выделенных элементов. При этом интерпретация сигнатурных символов на множестве  $M(n; E)$  осуществляется тем же порядком, что и при построении алгебраической системе  $B(M^2)$ . Для дальнейшего эту интерпретацию обозначим через  $\mu_2$ .

4. Связи между алгебраическими системами  $B(M^2)$  и  $M(n; E)$  приводятся в следующей теореме.

**Теорема 1.**  $B(M^2) \cong M(n; E)$ , т.е. алгебраические системы  $B(M^2)$  и  $M(n; E)$  являются изоморфными.

Доказательство. В соответствии с общей концепцией изоморфизма алгебраических систем, для доказательства необходимо определить такое биективное отображение  $\varphi: B(M^2) \rightarrow M(n; E)$  основного множества первой из этих систем на основное множество второй, что:

1.  $(\forall P, Q \in B(M^2)) \varphi(P \cup Q) = \varphi(P) \vee \varphi(Q)$ ;
2.  $(\forall P, Q \in B(M^2)) \varphi(P \cap Q) = \varphi(P) \& \varphi(Q)$ ;
3.  $(\forall P, Q \in B(M^2)) (\varphi(P * Q) = \varphi(P) \bullet \varphi(Q))$ ;
4.  $(\forall P; Q \in B(M^2)) (\varphi(\bar{P}) = \neg \varphi(P))$ ;
5.  $(\forall P; Q \in B(M^2)) (\varphi(P^{-1}) = (\varphi(P))^{-1})$ ;
6.  $(\forall P; Q \in B(M^2)) (P \preceq Q \Leftrightarrow \varphi(P) \preceq \varphi(Q))$ ;
7.  $\varphi(\emptyset) = \mathbf{0}; \quad \varphi(M^2) = \mathbf{1}; \quad \varphi(\Phi_M) = \varepsilon$ .

Считая, что  $M = \{a_1; a_2; \dots; a_n\}$ , соответствие  $\varphi$  из  $B(M^2)$  в  $M(n; E)$  определим по следующему правилу:

$$(\forall P \in B(M^2)) (\varphi(P) = \|\tau_{ij}\|_n),$$

$$\text{где } \tau_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i P a_j; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\}.$$

Здесь уместно заметить, что на языке теории графов матрица  $\|\tau_{ij}\|_n$  представляет собой матрицу смежности бинарного отношения  $P$ , рассматриваемого в качестве простого ориентированного графа. Нетрудно проверить, что соответствие  $\varphi$  является биективным отображением из  $B(M^2)$  на  $M(n; E)$ .

Заметим далее, что «сохранность» операций, отношений и выделенных элементов при отображении  $\varphi$  обеспечивается спецификой их определения.

Проверим, к примеру, равенство  $\varphi(P \cup Q) = \varphi(P) \vee \varphi(Q)$  условия 2.

Предположим, что  $\varphi(P \cap Q) = \|\gamma_{ij}\|_n$ ;  $\varphi(P) = \|p_{ij}\|_n$ ;  
 $\varphi(Q) = \|q_{ij}\|_n$ .

Покажем, что  $\gamma_{ij} = p_{ij} \& q_{ij}$  для любых  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Для  $\gamma_{ij}$  могут иметь место две возможности: а)  $\gamma_{ij} = 1$  и б)  $\gamma_{ij} = 0$ .

Рассмотрим каждую из них:

а) Если  $\gamma_{ij} = 1$ , то  $\langle a_i; a_j \rangle \in P \cap Q$ , т.е.  $\langle a_i; a_j \rangle \in P$  и  $\langle a_i; a_j \rangle \in Q$ . Отсюда следует, что  $p_{ij} = 1$  и  $q_{ij} = 1$ . Следовательно,  $p_{ij} \& q_{ij} = 1 \& 1 = 1$ . Таким образом, в этом случае,  $\gamma_{ij} = p_{ij} \& q_{ij}$ , для любых  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

б) Если  $\gamma_{ij} = 0$ , то  $\langle a_i; a_j \rangle \notin P \cap Q$ . В соответствии с определением теоретико-множественной операции  $\cap$ , в этом случае могут иметь место три подслучая:

б.1)  $\langle a_i; a_j \rangle \in P$  и  $\langle a_i; a_j \rangle \notin Q$ ;

б.2)  $\langle a_i; a_j \rangle \notin P$  и  $\langle a_i; a_j \rangle \in Q$ ;

б.3)  $\langle a_i; a_j \rangle \notin P$  и  $\langle a_i; a_j \rangle \notin Q$ .

Нетрудно видеть, что в каждом из этих подслучаев будем иметь  $p_{ij} \& q_{ij} = 0$ . Таким образом, и в случае б) получаем, что  $p_{ij} \& q_{ij} = 0$ , для любых  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Остальные условия, обеспечивающие «сохранность» операций, отношения и выделенных элементов рассматриваются аналогично.

5. Наличие изоморфизма  $\varphi$  между алгебраическими системами  $B(M^2)$  и  $M(n; E)$  позволяет вместо оперирования с бинарными отношениями  $P \in B(M^2)$  оперировать с характеристическими матрицами  $\varphi(P) \in M(n; E)$ . Изоморфным алгебраическим системам данной сигнатуры присущи одни и те же структурные свойства, выразимые на формальном языке этой сигнатуры. Такие свойства, в связи с их инвариантностью относительно изоморфных отображений, называются абстрактными [3;4].

Приведем для полноты изложения формальный аналог этого утверждения.

**Теорема 2.** Пусть  $M_1 = \langle M_1; \mu_1 \sigma \rangle$  и  $M_2 = \langle M_2; \mu_2 \sigma \rangle$  – две алгебраические системы сигнатуры  $\sigma$ . Если системы  $M_1$  и  $M_2$  изоморфны ( $M_1 \cong M_2$ ),  $\Phi: M_1 \rightarrow M_2$  – отображение осуществляющее этот изоморфизм и  $A = A(x_1; x_2; \dots; x_t)$  – произвольная формула сигнатуры  $\sigma$ , то

$$(\forall a_1; a_2; \dots; a_t \in M_1)(M_1 \models \mu_1 A(a_1; a_2; \dots; a_t) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow M_2 \models \mu_2 A(\Phi(a_1); \Phi(a_2); \dots; \Phi(a_t))$$

Доказательство этого утверждения можно найти, например, в [4].

Применительно к алгебраическим системам  $B(M^2)$ ,  $M(n; E)$  и изоморфному отображению  $\varphi$  первой из них на вторую это означает, что если некоторое конкретное свойство  $S$  (которым могут обладать бинарные отношения  $P$ , определенные на множестве  $M$ ) допускает запись в виде формулы  $A(x)$  (с одной свободной переменной  $x$ ) сигнатуры  $\sigma$ , то эта формула при интерпретациях  $\mu_1$  и  $\mu_2$  сигнатуры  $\sigma$  на множествах  $B(M^2)$  и  $M(n; E)$ , соответственно, будет истинной на системе  $B(M)$  при  $x = P$  тогда и только тогда, когда она будет истинной на системе  $M(n; R)$  при  $x = \varphi(P)$ .

Другими словами, бинарное отношение  $P \in B(M^2)$  будет обладать содержательным аналогом свойства  $S$ , представленном на «языке» операций, отношений и выделенных элементов системы  $B(M^2)$  тогда и только тогда, когда характеристическая матрица  $\varphi(P) \in M(n; E)$  будет обладать содержательным аналогом этого свойства, представленном в терминах соответствующих операций, отношения и выделенных элементов системы  $M(n; E)$ .

Следует подчеркнуть, что содержательное истолкование вышеописанных свойств  $S$  значительно проще получить в терминах теоретико – множественных операций и отношений. Но подобные истолкования носят характер более теоретический, чем прикладной, так как практическая проверка теоретико – множественных аналогов этих свойств, даже при сравнительно небольших значениях  $n$ , сопряжена с определенными затруднениями.

В то же время алгебраическая система  $M(n; R)$  представляет собой «наиболее чистую» (т.е. не зависящую от природы элементов множества  $M$ ) и наиболее удобную в прикладном аспекте реализацию системы бинарных отношений, заданных на множестве  $M$ , и алгоритмов оперирования с ними.

В первую очередь это связано с тем, что строение характеристической матрицы, соответствующей данному бинарному отношению (т.е. особенности расстановки нулей и единиц в ее столбцах и строках), наглядно отражают специфику тех или иных свойств, присущих этому отношению и аккумулируют в себе возможности их эффективного распознавания.

Кроме того, характеристические матрицы и технологии оперирования с ними, полученные в результате матричной реализации бинарных отношений и алгоритмов выполнения операций над этими отношениями, являются наиболее удобными при введении их в память компьютера и компьютерной обработки..

Таким образом, алгебраическая система  $V(M^2)$  более приемлема в теоретических рассмотрениях, а система  $M(n; E)$  – в прикладных.

Первичные свойства 1) – 6) бинарных отношений могут быть выражены на «языке» операций, предикатов и выделенных элементов системы  $V(M^2)$  следующим образом.

Бинарное отношение  $P \in V(M^2)$  является:

- 1) Рефлексивным  $\Leftrightarrow (\Phi_M \subseteq P)$ ;
- 2) Иррефлексивным  $\Leftrightarrow (\Phi_M \cap P = \emptyset)$ ;
- 3) Симметричным  $\Leftrightarrow (P^{-1} = P)$ ;
- 4) Антисимметричным  $\Leftrightarrow (P \cap P^{-1} \in \Phi_M)$ ;
- 5) Транзитивным  $\Leftrightarrow (P * P \in P)$ ;
- 6) Связным  $\Leftrightarrow (M^2 \cap \bar{\Phi}_M \subseteq P \cup P^{-1})$ .

Доказательства утверждений 1) – 6) достаточно просты. Приведем к примеру доказательство утверждение 6):

Пусть бинарное отношение  $P \in V(M^2)$  является связным и  $\langle x; y \rangle \in M^2 \cap \bar{\Phi}_M$ . Тогда

$$\begin{aligned} \langle x; y \rangle \in M^2 \cap \bar{\Phi}_M &\Rightarrow (\langle x; y \rangle \in M^2) \& (\langle x; y \rangle \in \bar{\Phi}_M) \Rightarrow \\ &\Rightarrow (\langle x; y \rangle \in M^2) \& (\langle x; y \rangle \notin \Phi_M). \end{aligned}$$

Т.е.  $x; y \in M$  и  $x \neq y$ . Так как  $P$  – связно, то отсюда следует  $\langle x; y \rangle \in P$  или  $\langle y; x \rangle \in P$ , т.е.  $\langle x; y \rangle \in P$  или  $\langle x; y \rangle \in P^{-1}$ , что и означает:  $\langle x; y \rangle \in P \cup P^{-1}$ .

Таким образом, включение  $M^2 \cap \bar{\Phi}_M \subseteq P \cup P^{-1}$  доказано.

Пусть теперь включение  $M^2 \cap \bar{\Phi}_M \subseteq P \cup P^{-1}$  имеет место. Докажем, что отношение  $P$  связно. Предполагая, что  $x; y$  – различные элементы множества  $M$ , покажем, что

$$\langle x; y \rangle \in P \cup P^{-1}.$$

Так как  $x \neq y$ , то  $\langle x; y \rangle \in M^2 \cap \bar{\Phi}_M$ .

С учетом вышеприведенного включения, отсюда следует, что  $\langle x; y \rangle \in P \cup P^{-1}$ .

Посредством формул (с одной свободной переменной  $x$ ) сигнатуры  $\sigma$  полученные характеристики 1) – 6) первичных свойств бинарных отношений могут быть выражены следующим образом:

$$S_1(x) = P_1^2(c_3; x);$$

$$S_2(x) = (F_2^2(c_3; x) = c_1);$$

$$S_3(x) = (F_5^1(x) = x); S_4(x) = P_1^2(F_2^2(x; F_5^1(x)); c_3); S_5(x) = P_1^2(F_3^2(x; x); x)$$

$$S_6(x) = P_1^2(F_2^2(c_2; F_4^1(c_3)); F_1^2(x; F_5^1(x))).$$

Содержательными аналогами формул  $S_1(x) - S_6(x)$  «в терминах» операций, предикатов и выделенных элементов системы  $\mathbf{M}(n; E)$  будут следующие одноместные предикаты:

$$\begin{aligned} S_1(x) &= (\varepsilon \leq x); \\ S_2(x) &= (\varepsilon \& x = \mathbf{0}); \\ S_3(x) &= (x^T = x); \\ S_4(x) &= (x \& x^T \leq \varepsilon); \\ S_5(x) &= (x \bullet x \leq x); \\ S_6(x) &= (1 \& (\neg \varepsilon) \leq x \vee x^T). \end{aligned}$$

Исходя из этого, с учетом утверждений 1) – 6) получаем:

- 1)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_1(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{рефлексивно});$
- 2)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_2(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{иррефлексивно});$
- 3)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_3(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{симметрично});$
- 4)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_4(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{антисимметрично});$
- 5)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_5(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{транзитивно});$
- 6)  $(\forall P \in B(M^2))(\mathbf{M}(n; E) \models S_6(\varphi(P)) \Leftrightarrow P - \text{связно}).$

В соответствии с утверждениями 1') – 6'), получаем следующую характеристику первичных свойств бинарных отношений  $P$  «в терминах» операций, предикатов и выделенных элементов системы  $\mathbf{M}(n; E)$ :

1")  $P - \text{рефлексивно} \Leftrightarrow$  все элементы главной диагонали матрицы  $\varphi(P)$  равны 1;

2")  $P - \text{иррефлексивно} \Leftrightarrow$  все элементы главной диагонали матрицы  $\varphi(P)$  равны 0;

3")  $P - \text{симметрично} \Leftrightarrow$  матрица  $\varphi(P)$  является симметричной;

4")  $P - \text{антисимметрично} \Leftrightarrow$  все элементы матрицы  $\varphi(P) \& (\varphi(P))^{-1}$ , стоящие вне главной диагонали равны 0;

5")  $P - \text{транзитивно} \Leftrightarrow \varphi(P) \& P \bullet \varphi P = \varphi P \bullet \varphi P \Leftrightarrow$  если для всех  $i, j, k \in \{1, 2, \dots, n\}$  элементы матрицы  $\varphi(P)$ , стоящие на местах с номерами  $(i, j)$  и  $(j, k)$  равны 1, то и элемент этой матрицы, стоящий на месте с номером  $(i, k)$ , также равен 1.

6")  $P - \text{связно} \Leftrightarrow$  все элементы матрицы  $\varphi(P) \vee (\varphi(P))^{-1}$ , стоящие вне главной диагонали равны 1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мальцев, А. И. Алгебраические системы. М.: Наука, 1970, 392с.
- 2 Гончаров, С. С., Дроботун, Б. Н., Никитин, А. А. Методические аспекты изучения алгебраических систем в высшем учебном заведении: Моногр. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2007, 250 с.

3 **Шенфилд, Дж.** Математическая логика. Перевод с англ. – М.: Наука, 1973, 528 с.

4 **Гончаров, С. С., Дроботун, Б. Н., Никитин, А. А.** Алгебраические и алгоритмические свойства логических исчислений: монография. – Новосибирск: Изд – во НГУ, 2008. – 2 часть – 376 стр.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 26.09.12.

*Б.Н. Дроботун, Н.И. Мухамедзянова, Е.Ш. Оралов*

**Алгебралық жүйелердің (I) изоморфизм қатынасы және абстракты қасиеттері**

*B.N. Drobotun, N.I. Muhamedzyanova, E.Sh. Oralov*

**Isomorphism relation and abstract properties of algebraic systems (i)**

*Берілген жұмыста: ақырғы элементті жиында берілген бинарлы қатынастардың және өлшемді характеристикалық матрицалардың алгебралық жүйелері анықталады; жүйелердің изоморфты болып табылатыны дәлденеді; изоморфизмнің негізінде матрицалар теориясының түсінікті терминологиялық базасында бинарлы қатынастардың алғашқы қасиеттерінің сипаттамасы келтіріледі және осы сипаттаманың қолданбалы аспектіде пайдалану мүмкіндіктері қарастырылады.*

*Algebraic systems of binary relations, specified on the final  $n$  - elemental set, and characteristic matrix with dimension  $n*n$  are determined in this work, as well as it is asserted that these systems are isomorphic; on the basis of this isomorphism reduces the characterization of primary qualities of binary relations in conceptual and terminological base of matrix theory and the possibilities of using this characterization in applied aspect are considered.*

ӘОЖ 539.3:534:1

**С.К. Елмұратов, А.Ф. Елмұратова, Д.К. Оразова**

**АЙНЫМАЛЫ ҚАЛЫҢДЫҚТЫ ПЛАСТИНАЛАРДЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ**

*Сығушы күштің әрқелкі қатынасы кезінде айнымалы тікбұрышты пластиналардың тұрақтылығы зерттеледі.*

Айнымалы қалыңдықты тікбұрышты пластина барлық контур бойынша сығылатын күштің әсеріне түседі (1 сурет). Жүктемелердің қатынасы

X және У осінің бағытында өзгереді. Пластинаның қалыңдығы У осінің бағытында сызықтық заң бойынша өзгереді.

Леви әдісін қолдану кезінде ақырғы айырымдардағы тұрақтылық теңдеуі мына түрде болады [1]:

$$\varphi_1 W_i + \varphi_2 W_m + \varphi_3 W_n + \varphi_4 W_u + \varphi_5 W_v = 0 \quad (1)$$

мұндағы

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \alpha_i (6 + 4r + r^2) - B_i (2 + \nu) + (2\varphi + \beta r) K \\ \varphi_2 &= -\alpha_i (4 + 2r) + A_i (2 + r) + B_i - \varphi k \\ \varphi_3 &= -\alpha_i (4 + 2r) - A_i (2 + r) + B_i - \varphi k \\ \varphi_4 &= \alpha_i - A_i \\ \varphi_5 &= \alpha_i + A_i \end{aligned} \quad (2)$$

2 өрнектің мәндері келесідей формулалар бойынша анықталады

$$r = \frac{m^2 \pi^2}{S^2 \gamma^2}; \quad K = \frac{N t_{cp} h^2}{D S^2} \quad (3)$$

$$\alpha_i = (1 + m x \beta_i)^2; \quad A_i = 3 m x (1 + m x \beta_i)^2 \quad (4)$$

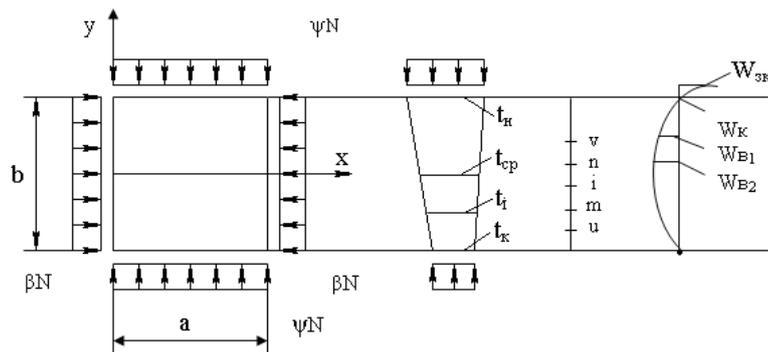
$$B_i = 6 m^2 x^2 (1 + m x \beta_i)^2$$

мұндағы

$$x = \frac{h}{t_{cp}}; \quad y_i = \beta_i h; \quad (5)$$

$$m = \frac{2(Z-1)}{S(Z+1) \cdot x}; \quad K_{кр} = K \frac{S^2}{\pi^2} \quad (6)$$

мұндағы  $\gamma = a/b$  – пластина қырларының қатынасы;  $S = b/h$  – тор қадамының саны;  $m$  – иілген беттің жартылай толқындар саны;  $K_{кр}$  – критикалық жүктеменің параметрі;  $h$  – тор қадамының өлшемі;  $Z = t_k/t_n$  – пластинаның ақырғы қалыңдықтарының қатынасы.



1 Сурет – Пластинаның сұлбасы

Контурдан тыс нүктелердегі иілімдер шекті жағдайларға байланысты мына формулаларға сәйкес алынып тасталады [2]

$$W_k = 0; \quad W_{з.к} = \alpha W_{\beta_1} - 0.5 W_{\beta_2}; \quad (7)$$

мұндағы  $\alpha$  – пластинаның бекіту түрін ескеретін коэффициент.

Егер  $\alpha = 3$  болса – пластина бекітілген, егер  $\alpha = 0$  болса, пластина бос тірелген. Пластинаны қадамы  $h = b/10$  болатын тормен аппроксимациялаймыз. Әрбір ішкі нүкте үшін (1) теңдеуді құрастырып, матрицалық формада келтіруге болатын теңдеулер жүйесін аламыз

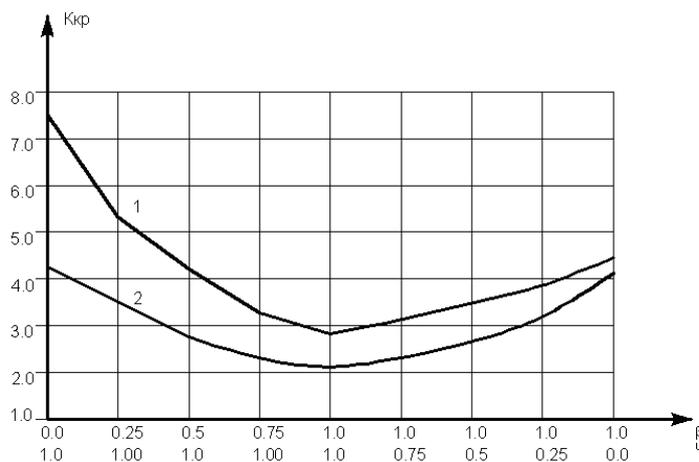
$$(A - \kappa \cdot B) \cdot W = 0, \quad (8)$$

мұндағы  $A$  және  $B$  – 9-ші ретті квадрат матрицалар.

Есепті шешу үшін ЭЕМ –да Turbo Pascal тілінде бағдарлама құрастырылған. Бағдарлама  $\alpha, z, \beta, \psi$  бойынша циклдің ұйымдастыруын қарастырады. Ақырғы қалыңдықтың қатынасы  $z$  еркін берілу мүмкін, бұл жағдайда  $t_{cp}$  - қалыңдығы пластинаның ортасында тұрақты болып қалады. Сонымен, пластинаның көлденең қимасы қалыңдығының өзгеру бағытында  $Z$  кез келген мәнінде тұрақты болып қалады. Бұл пластинаға кететін материал шығыны оның қалыңдығының кез келген өзгеруінде тұрақты болып қалатынын білдіреді, пластинаның ақырғы қалыңдығының әр түрлі шеткі және бас жағдайлармен оның тұрақтылық көзқарасынан қолайлы қатынасын таңдауға мүмкіндік береді.

Есепті шешу кезінде жүктеме  $\beta$  және  $\psi$  коэффициенті 0-ден бастап 1-ге дейін және қадамы 0,25- ке тең 1-ден бастап 0-ге дейін өзгерді. Айнымалы қалыңдықты пластиналардың тұрақтылығына жүктемелер қатынасының әсері зерттелді. 2 суретте  $\beta$  және  $\psi$  мәндеріне байланысты критикалық параметрдің тәуелділік графиктері келтірілген. Есептеулер  $\gamma$

кез келген қатынасы кезінде бір жағы бос тірелген айнымалы қалыңдықты ( $z = 1,2$ ) пластина қырлары үшін келтірілген.



2 Сурет – Сыртқы жүктемелердің критикалық параметр қатынасына байланысты тәуелділік графиктері  
1 қисық  $\gamma = 0,75$  мәніне, ал 2 қисық  $\gamma = 1$  мәніне сәйкес келеді.

Квадратты пластина үшін 2 қисық нүктесі  $\beta = 1$  арқылы өтетін түзуге қатысты симметриялы,  $\psi = 1$  (екі өсті симметриялық жүктеу) екені айқын. Бірақ толық симметрия жоқ.  $\beta = 0$  жағдайы үшін,  $\psi = 1$  –  $Y$  осі бойынша сығылу, пластина қалыңдығының  $K_{кр} = 4.073$  өзгеру бағытында, ал  $\beta = 1$  жағдайы үшін,  $\psi = 0$  –  $X$  осі бойынша сығылу, пластинаның тұрақты қалыңдығының  $K_{кр} = 4.095$  өзгеру бағытында болады. Айырымы 2,2% құрайды.  $Z$  үлкейткенде бұл айырым өседі. Сонымен, квадрат пластина үшін біркелкі жүктеу кезінде контур бойынша тұрақты қалыңдықты пластина айнымалы қалыңдықты пластинаға қарағанда орнықты жұмыс істейді. Бір өстік сығылу кезінде айнымалы қалыңдықты пластина тұрақтылығы біршама аз, егер бірдей бас және шеткі жағдайлар кезінде жүктеме қалыңдықтың өзгеру бағытында келтірілген болса.

Тікбұрышты пластиналар үшін  $a > b$  кезінде жүктемелер қатынасы  $\psi > \beta$  әлдеқайда қауіпті, ал  $a < b$  кезінде  $\psi < \beta$ , егер тұрақты қосынды  $\beta + \psi$  кезінде қауіпті.  $K_{кр}$  мәндері [3] әдебиеттегі бар мәндерімен салыстырылды. Ауытқу 1.5% шегінде болады, бұл пластиналардың тұрақтылыққа тәжірибелік есептеуде жеткілікті деп айтуға болады.

---

---

ӘДЕБИЕТТЕРДІҢ ТІЗІМІ

1 **Ельмуратов, С. К.** Устойчивость прямоугольных пластин линейно-переменной толщины // Строительная механика: науч.методич.сб. - Караганда, 1978. – с. 67-72

2 **Варвак, П. М.** Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок. – Киев:АН УССР, 1949. –136 с.

3 **Смирнов, А. Ф.** Численный метод расчета на устойчивость пластинок переменной толщины. – М : Труды МИИТ, 1963.

С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. 13.09.12. материал редакцияға түсті.

*С.К. Ельмуратов, А.Ф. Ельмуратова, Д.К. Оразова*

**Устойчивость пластин переменной толщины**

*S.K. Elmuratov, A.F. Elmuratova, D.C. Orazova*

**Stability of plates of variable thickness**

*Исследуется устойчивость прямоугольных пластин переменной толщины при различном соотношении сжимающих сил*

*The article regards the tolerance of rectangular bars with variable thickness under compressive force of different correlation.*

УДК 621.7.01

**Г.М. Жанабаева, Р.И. Сержанов, А.В. Богомолов**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ПРОШИВНЫХ ОПРАВОК**

*В статье представлены материалы экспериментальных исследований конструкции водоохлаждаемых прошивных оправок, теоретически изучено влияние режимов обработки на качество работы оправки, широко применяемой в трубопрокатном производстве.*

Прошивные оправки в процессе эксплуатации разогреваются до высоких температур и испытывают значительные удельные усилия. На стойкость оправок оказывает влияние большое количество факторов: химический состав и режим термообработки металла, калибровка оправок, марка прокатываемой стали, температура металла заготовки

перед прошивкой, машинное время прокатки, настройки прошивного стана, условия охлаждения оправок и др. К особенностям эксплуатации водоохлаждаемых прошивных оправок необходимо отнести цикличность воздействия высоких температур ( $\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и сложный характер их охлаждения: постоянно изнутри, периодически снаружи. При производстве труб из легированных сталей эти условия усугубляются, что приводит к их ускоренному износу.

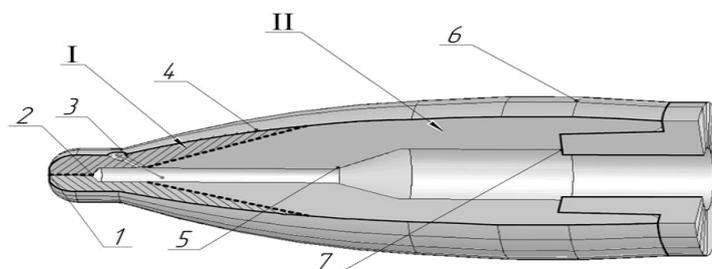


Рисунок 1 – Расположение контрольных точек на поверхности оправки:  
I, II – зоны распределения температуры;  
1...7 – точки, в которых отслеживалось изменение температуры при нагреве и охлаждении.

Рисунок 1 – Расположение контрольных точек на поверхности оправки

I, II – зоны распределения температуры; 1...7 – точки в которых отслеживалось изменение температуры при нагреве и охлаждении

Наиболее распространенным видом износа оправок при прошивке легированных сталей является пластическая деформация носка. При этом основными факторами, влияющими на этот процесс, являются особенности температурного поля и удельных усилий на оправку. Поэтому весьма актуальной задачей является установление механизма износа прошивных оправок.

Материалом для изготовления прошивных оправок являются конструкционные стали содержащие хром, никель, молибден, ванадий, марганец, кремний, иногда вольфрам. Применяются также оправки из марганцовистой стали (типа стали Гатфильда). Для формирования на наружной поверхности оксидированного слоя и высокой твердости готовые оправки подвергают нормализации и отпуску.

На Синарском трубном заводе водоохлаждаемые прошивные оправки изготавливают из стали 12Х2МФСР, относящейся к особо прочной, стойкой к истиранию и работающей при температуре  $450 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Твердость оправки после термической обработки составляет  $\approx 30\text{ HRC}$ . Твердотельная модель оправки с указанием контрольных точек представлена на рисунке 1. Распределение температуры в оправке после прошивки и охлаждения, полученное

путем математического моделирования (рисунок 2), позволяет определить наиболее разогретые при прошивке зоны – это носок и прилегающая к нему сферическая часть. Так, для выбранных условий моделирования: - после 15 с. цикла прошивки (нагрева), температура носка составляет 1100 °С; в начале перехода к сферической поверхности – 850 °С, в середине этого участка 150 °С. Еще более значительные перепады температуры можно отметить внутри – ближе к поверхности полости охлаждения (рис. 2). Характер распределения температуры позволяет весь объем оправки разделить на две зоны, разделенные пунктирной линией (рисунок 1 поз. I, II). Первая в процессе циклического воздействия нагрева и охлаждения подвергается закалке, вторая – нет.

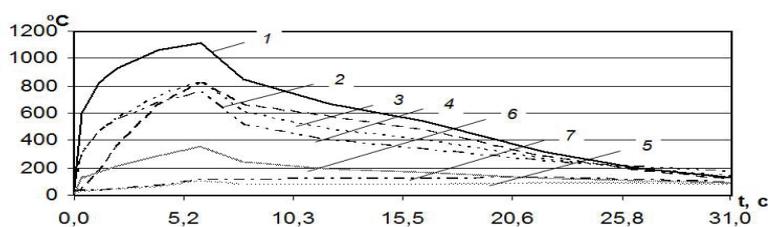


Рисунок 2 – Изменение температуры в контрольных точках по рис. 1

Рисунок 2 – Изменение температуры в контрольных точках по рисунку 1

Наибольшие термические напряжения возникают в начале первого цикла работы при контакте оправки, имеющей обычную температуру, с нагретой заготовкой. Если использовать предварительный “мягкий” подогрев оправки перед первой прошивкой, то эти напряжения оказываются значительно меньше. Это является важным практическим выводом, поскольку на практике возможно внедрение процесса подогрева оправки в технологическую цепочку процесса прошивки заготовки на прошивном стане.

Значения термических напряжений являются большими по величине, чем усилие, действующее от металла на оправку малого диаметра. Поэтому их влияние на срок службы оправки очень велико.

В поверхностных слоях оправки неизбежно преобладают деформации сжатия, что сказывается на сроке службы оправки.

В случае более интенсивного охлаждения оправки между прошивками наблюдается большая амплитуда колебаний термических напряжений. Поэтому более благоприятным с точки зрения напряженного состояния было бы применять охлаждения оправки на воздухе. Однако при таком режиме оправка разогревается до очень высоких температур, что тоже недопустимо. Поэтому охлаждение в воде более целесообразно.

Оправка меньшего диаметра, как и оправка большего диаметра, испытывает в начале первого цикла работы такие же высокие термические напряжения. Для подобной оправки тоже целесообразно применять предварительный нагрев перед прошивкой.

Материал для изготовления оправки должен обладать свойствами жаропрочности, высоким сопротивлением ползучести, как основным фактором жаропрочности, высокой релаксационной стойкостью, высоким значением предела текучести. Материал носика оправки должен обладать высокой термостойкостью и теплопроводностью, чтобы обеспечить быстрое отведение от него тепла.

В результате патентных исследований авторами предложено изменить технологию охлаждения прошивной оправки.

В ходе эксперимента было рассмотрено два вида расположения водоохлаждаемых каналов: диагональное и центральное. Экспериментальные данные показали, что диагональное охлаждение наиболее эффективно, нежели чем центральное, т.к. диагональное водоохлаждение оправки, позволит лучше охладить те участки оправки, которые нагреваются до наибольших температур

Таблица 1

№	Живое сечение при диагональном расположении водоохлаждаемых каналов	Живое сечение при центральном расположении водоохлаждаемых каналов	Глубина погружения оправки
1	56	38	70
2	84	74	50
3	54	36	90
4	81	72	49
5	52	28	75
6	79	70	48
7	58	40	90
8	77	68	51
9	60	42	89
10	75	66	52
11	62	44	85
12	73	69	53
13	65	61	57
14	71	69	54
15	67	63	56
16	69	65	55

### Вывод

1. Целесообразно применять водоохлаждаемые оправки, имеющие каналы для подачи охлаждающей жидкости. Это позволит лучше охладить те участки оправки, которые нагреваются до наибольших температур (носик оправки и область перехода его в сферический участок).

2. Экспериментально установлено, что диагональное расположение каналов обеспечивает лучшие условия охлаждения (выше процент живого сечения).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Жанабаева, Г. М., Сержанов, Р. И., Богомолов, А. В. Стойкость оправок прошивного стана // IV Чокинские чтения. 2010 – Т.2 – С. 127-134.

2 Потапов, И. Н., Полухин, П. И. Технология винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1990 г. – 344 с.

3 Жанабаева, Г. М., Сержанов, Р. И., Богомолов, А. В. Рациональная форма рабочей части прошивной оправки // XI Сатпаевские чтения. 2011 – Т.34 – С. 48-52.

4 Жанабаева, Г. М., Сержанов, Р. И., Богомолов, А. В. Rational form working part piercing mandrel // – 2011 – том 25 – С. 3-5.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*Г.М. Жанабаева, Р.И. Сержанов, А.В. Богомолов*

**Суды суыту сырмалыны түзетудің эксперименталды зерттеу**

*G.M. Zhanabayeva, R.I. Serzhanov, A.V. Bogomolov*

**Experimental study of water-cooled piercing mandrels**

*Мақалада құбырды илемдейтін өндірісі кең қолдануда, сапалы жұмысты өндеу тәртібіне әсерін теоретикалық зерттелді, суды суыту сырмалыны түзету құрылымын эксперименталды зерттеу материалдары берілген.*

*The paper presents experimental research materials on construction of water-cooled piercing mandrels, theoretical study of the effect of treatment conditions on the quality of work of the mandrel, which is widely used in pipe rolling.*

**А.Ж. Игубаев, Т.Ш. Баймагамбетов**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ППД В ДОСТИЖЕНИИ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ДЕТАЛИ**

*В статье исследовано влияние эффективности различных методов поверхностно-пластического деформирования на качество и долговечность современной машиностроительной продукции.*

Актуальной задачей современного машиностроения является обеспечение долговечности деталей машин, которая в существенной мере определяется качественным состоянием поверхностного слоя. Именно от качества обработки во многом зависят важнейшие показатели механизмов - работоспособность, надежность, металлосемкость, себестоимость и другие технические и технико-экономические характеристики. Работоспособность деталей машин зависит от качества обработки входящих деталей и состояния их поверхностного слоя, которое направленно формируется на финишных операциях технологического процесса изготовления.

Поверхность и поверхностный слой детали с точки зрения прочности являются ослабленными. Основной причиной этого является то, что атомы на поверхности имеют устойчивые связи только с соседними и нижележащими атомами, и их состояние является неуравновешенным, неустойчивым.

Разработан ряд методов, позволяющих улучшить состояние поверхностного слоя, в частности, большее распространение, получили методы поверхностного пластического деформирования (ППД). ППД - это обработка деталей давлением (без снятия стружки), при которой пластически деформируется только их поверхностный слой. ППД осуществляется инструментом, деформирующие элементы которого (шарики, ролики или тела иной конфигурации) взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью по схемам качения, скольжения или внедрения. При ППД в результате деформационного упрочнения поверхностного слоя, в нем возникают сжимающие остаточные напряжения, сглаживание неровностей и улучшение их профиля, повышается прочность деталей при переменных нагрузках в 1,5 - 2,5 раза, а долговечность в 5 - 10 раз и более.

В настоящее время проводится большое количество исследований по нахождению оптимальной системы параметров качества поверхностей деталей машин, которая бы наиболее полно отображала их эксплуатационные свойства.

Усилиями многих ученых внесен значительный вклад в развитие

теории поверхностно пластического деформирования. Среди которых Азаревич Г. М., Алексеев П. Г., Браславский В. М., Дрозд М. С., Жасимов М. М., Зайдес А. В., Илюшин А. А., Ишинский А. Ю., Кудрявцев И. В., Маталин А. А., Папшев Д. Д., Рыжов Э. В., Сидякин Ю. И., Смелянский В. М., Суслов А. Г., Шнейдер Ю. С., Ярославцев В. М., Юдин Д. Л. и др.

При изготовлении и эксплуатации деталей машин на их поверхностях образуются неровности и микронеровности, а слой металла, непосредственно прилегающий к поверхности, изменяет структуру, фазовый и химический состав, в нем возникают остаточные напряжения.

Слой металла, имеющий отличные от основной массы детали структуру, фазовый и химический состав, называют поверхностным.

В соответствии с ГОСТ 18296 методы ППД делят на статические и ударные. При статических методах обработки инструмент, рабочие тела или среда воздействуют на обрабатываемую поверхность с определенной постоянной силой  $P$ , происходит плавное перемещение очага воздействия, который последовательно проходит всю поверхность, подлежащую обработке. При этом инерционные силы не оказывают существенного влияния на ППД. К таким видам относят различные виды выглаживания (рисунок 1, а) и накатывания (рисунок 1, б), а также метод однократного обжатия обрабатываемой поверхности (рис. 1, в) без перемещения очагов воздействия.

При ударных методах (рисунок 1, г) инструмент, рабочие тела или среда многократно воздействуют на всю обрабатываемую поверхность или ее часть, при этом сила воздействия  $P$  в каждом цикле изменяется от нуля или от некоторого значения  $P_1$  до максимума, а в случае локального ударного воздействия очаг деформирования может последовательно и равномерно проходить всю обрабатываемую поверхность [1, с. 434 - 441].

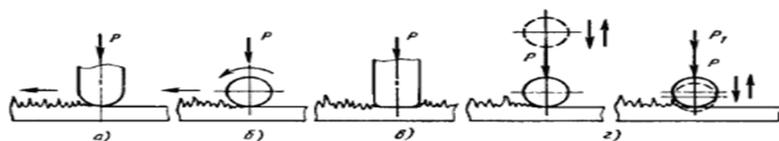


Рисунок 1 – Характер контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью при различных методах ППД

Основные параметры ППД следующие: упругая и пластическая деформация в очаге деформирования, площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, сила воздействия на инструмент, напряжения, возникающие под действием этой силы, и кратность приложения силы.

Как при статическом, так и при ударном воздействии на обрабатываемой

поверхности в первоначальный момент образуется отпечаток от инструмента, который затем превращается в примыкающие друг к другу следы или в серию отпечатков. При нагружения твердого шара статической или ударной силой  $P$  (рисунок 2, а) он вдавливается в обрабатываемый материал: по мере увеличения силы  $P$  вначале происходит упругая деформация поверхности, а затем пластическая (линия  $OAB$ , рисунок 2, б). Вследствие возникших пластических деформаций обратный процесс идет по линии  $BC$ . Остаточная пластическая деформация выражаются в размере отпечатка  $d$ , соответствующего  $OC$ . Пластическое деформирование под отпечатком распространяется равномерно и как бы копирует с некоторым искажением поверхность шара.

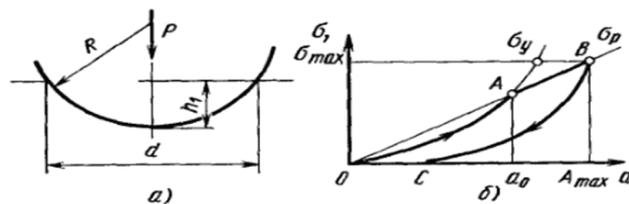


Рисунок 2 – Течение металла при вдавливании сферического индентера: а - отпечаток; б- взаимосвязь упругой и пластической деформаций от напряжения вдавливания

Степень наклепа различных структур, оцененная по относительному приращению твердости и получения при одних и тех же условиях, показана на рис. 3. Сорбит имеет не только минимальную глубину, но и минимальную степень наклепа.

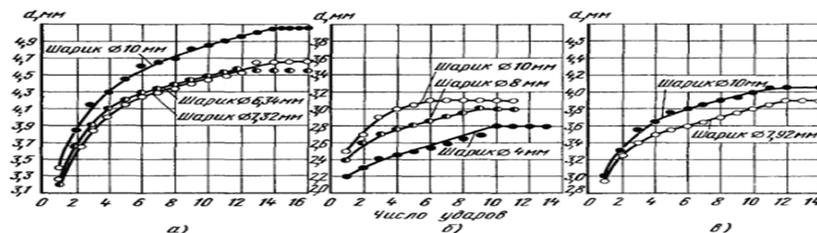


Рисунок 3 – Изменение диаметра отпечатка при увеличении числа ударов: а - Ст3, НВ 112; б - 12ХН4ВА, НВ 340; в - 35ХМ, НВ 207

Многократное приложение одной и той же статической нагрузки при вдавливании шара в одно и то же место не приводит к заметному увеличению размеров пластического отпечатка. В отличие от статического, при ударном вдавливании шара с увеличением числа ударов до 15 - 20

размер отпечатка для различных условий обработки увеличивается в 1,25- 1,55 раза (рисунок 4).

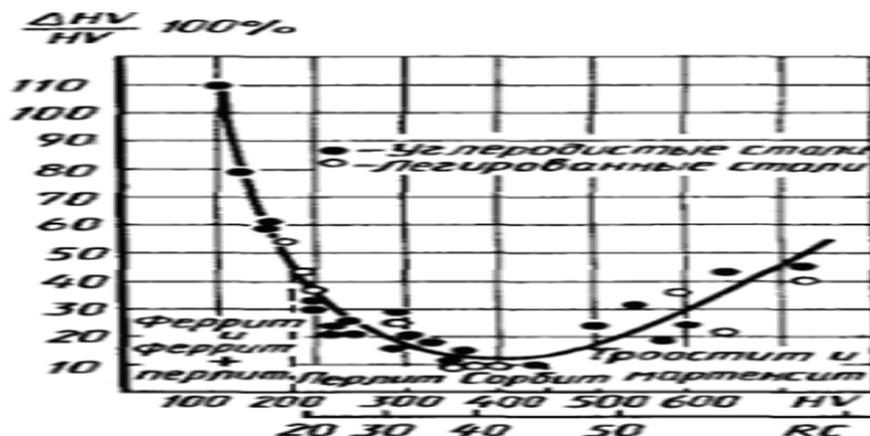


Рисунок 4 – Степень максимального наклепа для структур металла различной твердости

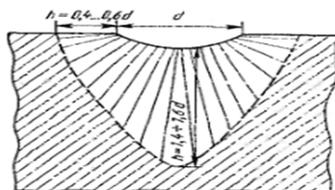


Рисунок 5 - Характер распространения наклепанной зоны под поверхностью отпечатка

Глубина наклепанной зоны, полученной при ударном вдавливании шара, практически равна глубине наклепанной зоны, полученной при статическом однократном вдавливании шара, при условии равенства диаметров отпечатков. Поэтому зависимости параметров от глубины наклепанного слоя для условий статического вдавливания могут быть применены для ударного нагружения.

При обработке ППД в результате деформирования поверхностного слоя металла и работы трения образуется теплота, нагревающая заготовку, инструмент и рабочие тела, а также окружающую среду. Теплота деформирования генерируется в очаге деформирования, теплота трения на поверхности контакта. Источник теплоты - местный, характеризуемый эффективной тепловой мощностью, т.е. количеством теплоты, образующимся в единицу времени и распределением теплоты по объему. Теплота образуется в основном вследствие пластического деформирования, источник теплоты соответствует форме очага

деформирования, а сам процесс характеризуется мгновенным локальным нагревом и быстрым отводом теплоты внутрь заготовки.

Обработка ППД сопровождается сложными структурными и фазовыми превращениями, характерными для формирования поверхностного слоя. В первоначальный момент происходит дробление зерен металла на блоки (полигонизация) и образуется мозаичная структура. Далее вследствие усиления развития сдвигов по плоскостям скольжения образуются новые, значительно измельченные зерна. При этом кристаллиты теряют свою глобоидную форму, сплющиваются, вытягиваются в направлении деформирования. Резко изменяется соотношение их размеров, образуется упорядоченная ориентированная структура волокнистого характера с анизотропными механическими свойствами, когда пластичность вдоль волокон выше, чем в поперечном направлении.

При завышенных силовых параметрах обработки может происходить перенаклеп, в результате, которого в поверхностном слое появляются опасные микротрещины, намечается образование частичек отслаивающегося металла, поверхностные зерна сплющиваются так, что становятся почти неразличимыми. Резко увеличивается шероховатость поверхности. Наклеп металла можно частично или полностью снять путем отжига. Перенаклеп — необратимый процесс, при котором нагрев металла не возвращает его структуру и физико-механические свойства [1, с. 62- 74].

Практический интерес представляет обработка методами ППД поверхности изношенной детали, восстановленных методами порошковой металлургии. В процессе раскатывания гранулы металлического порошка, расположенные беспорядочно по поверхности спечённой детали, подвергаются упруго – пластической деформации. В результате сжатия соприкасающихся тел по граничной площадке сжимающая сила будет распределена в виде нормального давления  $P$ .

Перемещение  $W$  некоторой точки граничной площадки под действием нормального давления можно определить как сумму от действия нормального давления на элементы площадки  $ds$ .

$$W = \hat{E} \cdot \int_0^s \frac{p ds}{\rho}$$

Предполагается, что соприкосновение ролика с деталью под действием нормальной силы представляет собой круговую площадку.

Получена аналитическая зависимость для определения осевой силы при раскатывании спечённых деталей.

$$P_{\sigma} = \frac{\sqrt{2}}{3} f \cdot t \cdot \delta_{\max} \sqrt{\frac{\delta_{\rho}}{E}}$$

Для измерения крутящего момента и осевой силы спроектировано приспособление.

В свете современных представлений, качество детали оценивается следующими показателями: точностью размера, относительного поворота, формы в продольном и поперечном сечениях, волнистостью шероховатости.

Отсутствует общепринятый перечень показателей, по которому оценивалась бы качество поверхностного слоя. Большое разнообразие в выборе показателей качество поверхностного слоя (5,40,80,105,170,175) привело к тому, что в одних случаях измеряют твёрдость, в других – остаточное напряжение или комбинацию из названных и прочих показателей. По степени влияния на эксплуатационные свойства детали показателями качества поверхностного слоя выбраны следующие: напряжённое состояние, структура и другие физико-механические показатели (удельный вес, предел текучести и т.д.), шероховатости поверхностного слоя.

Исследованиями установлено, что раскатывание отверстий спеченных втулок, обеспечивает шероховатость обработанной поверхности Ra 2,5-1,25 мкм

Показатели качества весьма разнообразны, и в связи развитием науки и техники их число соответственно увеличивается. Для оценки же результатов ППД в сопоставлении с результатами других процессов вполне достаточно выше названных [2].

Сущность ППД при обработке спеченных детали, также как и сплошных материалов, создание необходимого эквивалентного напряжения  $\sigma_y$  в точках поверхностного слоя с целью получения заданных показателей качества.

Создаваемое эквивалентное напряжение должно быть достаточным для протекания пластической деформации. Сам же процесс пластической деформации состоит из совокупности двух равновесных, одновременно протекающих процессов. Первый из них характеризуется простым смещением частиц материала и их групп, что приводит к заполнению пор и уплотнению поверхностного слоя. В точках контакта инструмента с деталью, где эквивалентные напряжения достигают значения предела текучести материала, протекает второй процесс, характеризующийся пластическим течением металла, при котором отдельные зёрна деформируются за счет сдвигов. Направления деформаций зёрен, как показано в теории упругости и

пластичности, совпадает с направлением главных напряжений. В результате изменяется структура материала, и зерна у поверхности вытягиваются. Эти процессы приводят к образованию уплотненного поверхностного слоя с пониженной пористостью. Возрастают твердость и микро – твердость поверхности [3]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горюнова, Ю. А. Разработка конструкторского и технологического обеспечения поверхностно-пластической деформации деталей типа тел вращения. – 2010.

2 Жасимов, М. М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 208 с.

3 Перспективы развития машиностроения Казахстана: (научно-технические проблемы) / Баймагамбетов, Т. Ш., Казыханов, Х. Р., Степанов, П. Б и др. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 152 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*А.Ж. Игйбаев, Т.Ш. Баймагамбетов*

**Берілген тетіктің сапасына жетуде ЖПД технологиясының мүмкіндіктері**

*A.Zh. Igibayev, T.Sh. Baimagambetov*

**Technological capabilities of SPD in achieving the specified quality of parts**

*Мақалада қазіргі машина жасайтын өндірістің төзімділігі мен сапасының жеңіл-желпі пластикалық деформация әртүрлі әдістің тиімділігін зерттейді.*

*The authors studied the influence of efficiency of various methods of surface-plastic deformation on the quality and durability of the modern engineering products.*

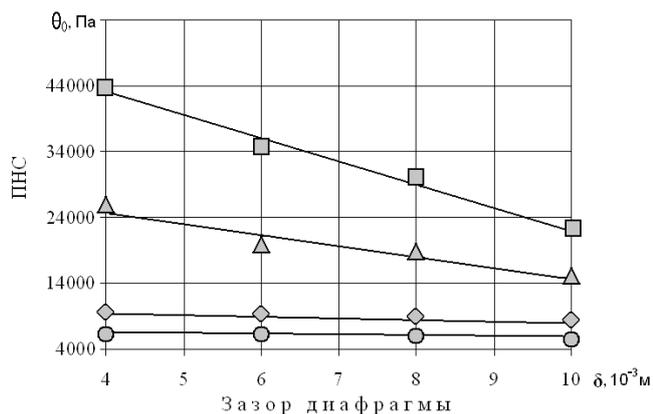
**М.М. Какимов, А.Л. Касенов, Д.Р. Орынбеков, Ж.Х. Тохтаров**

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА МЯСОКОСТНОЙ ШКВАРЫ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ**

*В статье представлены результаты теоретического изучения структурно-механических свойств и изменения предельного напряжения мясокостной шквары от температурных режимов.*

При исследовании структурно-механических свойств мясокостной шквары, предназначенной для производства сухих животных кормов, нет научных работ, посвященных сдвиговым свойствам этого продукта. В процессе прессования изучение структурно-механических свойств шквары связано только с уравнением Френкел-Эйринга, характеризующим содержание жира в шкваре и вязкость плавленого жира. Эти параметры не полностью характеризуют основные сдвиговые свойства (вязкость, ПНС и т.д.) в процессе прессования. При изучении структурно-механических свойств мясокостной шквары в процессе прессования важное место занимает предельное напряжение сдвига (ПНС) [1].

Учитывая мясокостную шквару в исследованиях как коллоидно-дисперсную систему и проведение нестационарного массообменного процесса в процессе прессования, привело нас к некоторым трудностям при определении ПНС шквары. Содержание кости в составе шквары привело к погрешностям при определении ПНС на структуромере с коническим индентором, имеющим угол раствора конуса  $60^{\circ}$ , поэтому для определения ПНС использовали конический индентор, имеющий угол раствора конуса  $45^{\circ}$ . Для определения свойств образца при определенной температуре он был помещен в сосуд, имеющий водяную рубашку.



- -  $\omega = 1,04 \text{ рад/с}$ ,  $i_0 = -39,96 \cdot d^3 + 865,27 \cdot d^2 - 9502,1 \cdot d + 70223$ ,  $R^2 = 1$ ;  
 ▲ -  $\omega = 2,09 \text{ рад/с}$ ,  $i_0 = -2,97 \cdot d^3 + 252,65 \cdot d^2 - 4890,7 \cdot d + 41197$ ,  $R^2 = 1$ ;  
 ◆ -  $\omega = 4,18 \text{ рад/с}$ ,  $i_0 = 5,22 \cdot d^3 - 108,86 \cdot d^2 + 489,6 \cdot d + 8877,6$ ,  $R^2 = 1$ ;  
 ● -  $\omega = 6,28 \text{ рад/с}$ ,  $i_0 = -8,08 \cdot d^3 + 176,94 \cdot d^2 - 1327 \cdot d + 9569,3$ ,  $R^2 = 1$ .

Рисунок 1 – Зависимость ПНС от скоростей и диафрагменных зазоров при прессовании мясокостной шквары

В соответствии с рисунком 1 можно заметить, что ПНС при всех скоростях и диафрагменном зазоре  $d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  достигает своего максимального значения. Кроме того, максимальное значение ПНС определено при скорости  $\omega = 1,04 \text{ рад/с}$ . Это явление в этих точках можно связать с понижением содержания жидкой фракции в мясокостной шкваре. В зависимости от увеличения скоростей значения ПНС приближаются к изменениям диафрагменного зазора, а в этих точках их можно связать с уменьшением числовых значений процентного содержания жирности мясокостной шквары [2].

Необходимо отметить, что наряду с жидкой фракцией на величину ПНС влияет разность температур. В соответствии с рисунком, изображенным выше, несмотря на различные параметры температур при исследованиях, не установлено их влияние на ПНС.

В этих условиях, необходимо учесть, есть ли влияние разности температур на ПНС в процессе прессования? Если есть, то какое? – такие вопросы возникают сами собой.

В этом случае исследование необходимо расширить в соответствии с поставленными вопросами. Для этого охарактеризуем влияние изменения температуры на ПНС при различном процентном содержании жира в мясокостной шкваре.

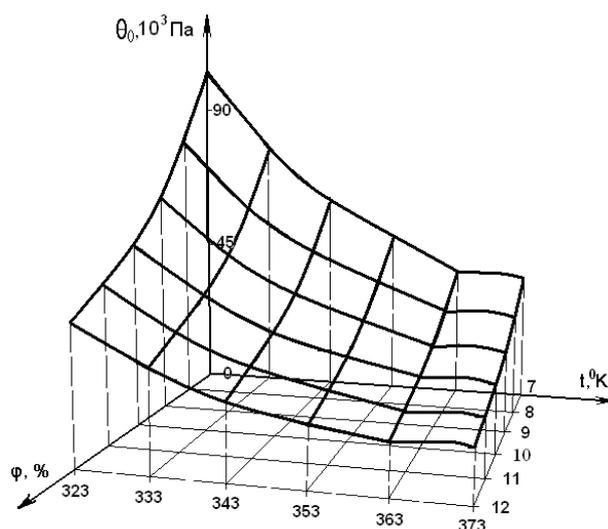


Рисунок 2 – Зависимость ПНС от изменений температуры и жирности

В соответствии с рисунком 73 ПНС уменьшается в зависимости от увеличения температуры, но это изменение происходит медленно при изменении температуры на  $T=1$  °К и жирности  $\varphi=1$  %. Так как увеличение жирности на  $\varphi=1$  % приводит к сложному снижению концентрации сухих веществ в мясокостной шкваре, а увеличение температуры на  $T=1$  °К размягчает и ослабляет структуру сложной коллоидно-дисперсной структуры, состоящей из жира, влаги и белка в мясокостной шкваре. На изображенном выше рисунке, если значения температуры при конструктивных параметрах: диафрагменном зазоре  $d=4 \cdot 10^{-3}$  м и скорости  $\varpi=1,04$  рад/с выше по сравнению с другими точками, то ПНС достигает своего максимального значения, т.е. эти характеристики являются номинальными.

В результате повышение температуры на  $T=1$  °К по сравнению с жирностью  $\varphi=1$  % монотонно уменьшает сдвиговые свойства мясокостной шквары. Кроме того, снижение процентного содержания жира в мясокостной шкваре ослабляет зависимость ПНС от температуры. А понижение температуры влияет на затвердевание жира, а именно на повышение сдвиговых свойств в результате образования кристаллической решетки общей среды в шкваре. В соответствии с рисунком 2 при температуре  $T=373$  °К можно заметить повторное увеличение ПНС, так как происходит ороговение соединительной ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Соколов, А. Я. Прессы пищевых и кормовых производств. – М. : Машиностроение, 1973. – 288 с.

2 Қасенов, Ә. Л., Какимов, М. М., Орынбеков, Д. Р., Зекенов, Т. Ш. Құрғақ мал жемі өндірісінде престау процесін қарқындату // «Қазіргі заманғы биотехнологияның өзекті мәселелері» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары – Семей: Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті. – 2007. – Б. 446-447.

Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, г. Семей. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*М.М. Какимов, А.Л. Касенов, Д.Р. Орынбеков, Ж.Х. Тохтаров*

**Тығыздау процессінде ет-сүйек шыжығын қозғалтуға жіберген күшті өлшеу**

*М.М. Kakimov, A.L. Kasenov, D.R. Orynbekov, Zh.H. Tohtarov*

**Changing the critical stress of the meat and bone tankage shear during processing**

*Мақалада ет-сүйек шыжығын температура режимінен мөлшерлі өзгерту және құрылымды-механикалық ерекшелігін теоретикалық зерттеу нәтижесі берілген.*

*The paper presents the results of the theoretical study of the structural and mechanical properties and changes in critical stress of the meat and bone tankage from temperature regimes.*

УДК 669.713.7

**Ж.Ж. Камзин, А.А. Батраченко, А.П. Скворцов**

**ФОРМУЛА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ  
ЛИКВИДУСА ЭЛЕКТРОЛИТА  
АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ АО «КЭЗ»**

*В статье представлены результаты измерений температуры ликвидуса электролита алюминиевого электролизера АО «Казахстанский электролизный завод». Построена математическая модель расчета температуры ликвидуса, основанная на методе нелинейного регрессионного анализа. По полученному массиву экспериментальных данных получены*

*формулы расчета температуры ликвидуса для определенного состава электролита, для измерений, произведенных приборами Heraeus и Китайским.*

*Ключевые слова: алюминиевый электролизер, модель, электролит, температура ликвидус.*

Электролит алюминиевых электролизеров представляет собой многокомпонентную систему  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-AlF}_3\text{-CaF}_2$ , в которую могут также входить другие добавки:  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{LiF}$ ,  $\text{NaCl}$  и т.д.

Для анализа технологического состояния алюминиевого электролизера обычно используют температуру электролита (электролизера) и температуру ликвидуса электролита.

Температура ликвидуса электролита представляет собой сложный параметр зависящий не только от количественного состава, но и от соотношения компонентов входящих в него. К настоящему времени накоплен достаточно богатый материал по влиянию различных солевых добавок на температуру начала кристаллизации электролита.

Температуру ликвидуса электролита определяют экспериментальным или расчетно-аналитическим методами.

В настоящее время на Казахстанском алюминиевом заводе (АО «КЭЗ») применяют специализированные приборы для измерения температуры ликвидуса электролита производства Heraeus (Бельгия) и SuperHeat Meter (Китай). Прибор Heraeus имеет меньшую погрешность измерений, поэтому результаты, полученные при его использовании можно считать более достоверными.

Были обработаны результаты измерений температуры ликвидуса, выполненные SuperHeat Meter (502 шт.) и Heraeus (639 шт.). Для анализа выбраны данные за те дни, когда производился отбор проб электролита на содержание  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{KO}$ .

Полученные экспериментальные данные позволили рассчитать температуру ликвидуса для электролитов электролизеров КЭЗа.

Расчетная зависимость температуры ликвидуса от содержания солевых добавок обычно выражается в виде эмпирических уравнений.

Для получения формулы расчета была разработана модель расчета.

Подбор функции, наиболее точно описывающей имеющиеся экспериментальные данные, является одной из типичных задач метода регрессионного анализа. В таком случае, функция, например температура ликвидуса, задаются зависимостью, члены уравнения в которой имеют физический смысл, и содержат неизвестные коэффициенты или параметры. Задача регрессионного анализа - подобрать значения этих параметров, обеспечивающих наиболее точное описание имеющихся экспериментальных данных в соответствии с выбранными критериями.

Наиболее распространенным критерием достоверности в математической статистике является метод наименьших квадратов (МНК), в котором минимизируется сумма квадратов отклонений, т.е. разностей между расчетными и измеренными величинами. Данный критерий применен и в нашей модели.

В зависимости от того, входят ли параметры функции линейно или нелинейно, различают линейную и нелинейную регрессию. В случае описания свойств электролита практически все рассматриваемые зависимости нелинейны по своим параметрам.

Наиболее распространенными являются алгоритмы, использующие производные и сводящие задачу минимизации целевой функции  $F(x)$  к поиску стационарной точки, в которой градиент равен нулю.

В разработанной модели расчета температуры ликвидуса был использован метод нелинейного регрессионного анализа с вышеописанными критериями.

В технической литературе известны формулы расчета температуры ликвидуса [1-9]. Проведенный анализ выявил значащие компоненты электролита и их степенные значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1  
Учитываемые компоненты электролита в расчетных формулах

Компонент	С.,Ли	Е.,Дьюинг	А.,Солхейм	Т.,Стерген	Г.,Биллард	А.,Таборо	М.,Ричард	В.,Семенов	А.,Белиев	Китай	Σ уравнений
To	1009,4	1011,7	1011	1011	1010,6	943,2	998,7	100,2	855	1011,6	10
CaF <sub>2</sub>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	9
(CaF <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	2
(CaF <sub>2</sub> *AlF <sub>3</sub> ) <sup>n</sup>	+(n=2)	-	+	+(n=0,7)	-	-	-	-	-	-	3
(CaF <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> *AlF <sub>3</sub>	+	-	+(n=1,5)	-	-	-	-	-	-	-	2
(CaF <sub>2</sub> )*(AlF <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
AlF <sub>3</sub>	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	6
(AlF <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	+	+	+(n=2,2)	+(n=2,5)	+	-	-	-	-	-	5
(AlF <sub>3</sub> ) <sup>4</sup>	+	+	-	+(n=3)	+	-	-	-	-	-	4
(AlF <sub>3</sub> *Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>n</sup>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+(n=2)	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	-	+	+	+(n=1,2)	+	-	-	-	-	-	4
MgF <sub>2</sub>	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	5
(MgF <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	-	-	-	+(n=1,3)	-	-	-	-	-	-	1
LiF	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	4
Li <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
(LiF)*(AlF <sub>3</sub> ) <sup>n</sup>	+	-	-	+(n=1,1)	-	-	-	-	-	-	2

NaF	-		-	-	-	-	-		-	-	1
(NaF) <sup>2</sup>		-	-	-	-	-	-		-	-	1
KF		-	-	-	-	-	-	+	-	-	1
NaCl		+	-	-	-	+	-		-	-	2
KO	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	3
Σ компон.	10	9	10	11	7	6	4	6	2	5	

Примечание: содержание компонентов приведено в % масс, AlF<sub>3</sub> – избыток, %масс. - избыточное количество AlF<sub>3</sub> по отношению к составу криолита Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, Σ компон. – суммарное число учитываемых компонентов.

Большинство учитываемых основных компонент состава электролита входят в состав уравнений в линейной или в квадратичной степени, но встречаются и более сложные математические комплексы, включающие в себя, как правило, AlF<sub>3</sub> в той или иной степени. По количеству учитываемых компонент состава в уравнениях (Σ компон.) наиболее полными являются формулы С. Ли, Е. Дьюинга, А. Солхейма и Т. Стертена, которые учитывают в различных комбинациях 10-11 членов. Следует отметить, что большинство зарубежных компаний применяют в своей работе формулу Т. Стертена, считая ее наиболее достоверной.

Практически во всех приведенных уравнениях (Σ уравнений) присутствуют Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 раз), CaF<sub>2</sub> (9 раз), и AlF<sub>3</sub> (10 раз, в разных комбинациях). Это логично, поскольку эти компоненты состава являются наиболее значимыми для температуры ликвидуса.

Во всех уравнениях присутствует свободный член (T<sub>0</sub>), значение которого, по разным источникам, составляет 998,7-1011,7 °С. Согласно диаграммам плавкости электролита, основным компонентом, выпадающим в твердую фазу при снижении температуры, является криолит, поэтому температуру ликвидуса электролита иногда называют также температурой кристаллизации криолита. По наиболее достоверным данным К.Гротхейма, температура плавления криолита составляет 1010,0 °С, которая и была принята нами в качестве свободного члена уравнения [10]. Все остальные члены учитывают, в той или иной степени, влияние каждой добавки в электролит, а также взаимодействие различных комплексов в процессе и взаимодействии этих веществ в расплаве.

В окончательном варианте модели для получения расчетной формулы была выбрана функция следующего вида:

$$F(K)=1010+K0*(CaF_2)+K1*(CaF_2)^2+K2*(CaF_2*AlF_3)^3+K4*(AlF_3)+K5*(AlF_3)^2+K6*(AlF_3*Al_2O_3)^7+K8*(Al_2O_3)+K9*(Al_2O_3)*(Al_2O_3)+K10*(MgF_2)+K11*(MgF_2)*(MgF_2)+K12*LiF+K13*KF+K14*(AlF_3)^15 \quad (1)$$

где F (K) - функция, K - искомые коэффициенты, K3, K7, K15 – степенные коэффициенты.

В таблице 2 приведены учитываемые компоненты состава электролита для каждого рассчитываемого варианта.

Таблица 2

Компоненты состава электролита для расчетных вариантов

Компонент	Известные формулы					Формулы, полученные регрессионным анализом											
	С.Ли	Е.Дьюинг	Т.Стерген	Г.Биллард	КЭЗ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
То(исходная)	1009	1012	1011	1011	1012	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010
CaF2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(CaF2)^2	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
(CaF2*AlF3)^n	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
(CaF2)^2*AlF3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(CaF2)*(AlF3)^2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AlF3	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
(AlF3)^2	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(AlF3)^4	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
(AlF3)^n	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
(AlF3*Al2O3)^n	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
Al2O3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(Al2O3)^2	-	+	1,2	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+
MgF2	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(MgF2)^2	-	-	1,3	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
LiF	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
Li3AlF6	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(LiF)*(AlF3)^n	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaF	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaCl	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ компон.	10	9	11	7	5	8	11	9	8	10	6	7	6	10	6	6	7

Примечание: Σ компон – количество учитываемых членов.

Для получения формул расчета температуры ликвидуса электролизеров КЭЗа для выбранного вида функции F(K) был применен регрессионный анализ по вышеописанному алгоритму.

Вследствие того что методики измерений и калибровки для приборов SuperHeat Meter и Heraeus были различны, результаты расчетов температуры ликвидуса были разделены.

Сравнительные результаты расчетов по известным и предлагаемым вариантам формул с математической оценкой их достоверности (размах, дисперсия, стандартное отклонение) приведены в таблицах 3 (для измерений SuperHeat Meter) и 4 (для измерений Heraeus).

Анализ полученных результатов расчетов показал следующее:

- применение только линейных членов в уравнениях вносят значительную погрешность на результат и его воспроизводимость;

- степенные члены уравнения, несмотря на малые коэффициенты, приближают расчетные результаты к измеренным. При этом, чем больше степень члена в уравнении, тем точнее был результат расчета;

- при учете менее 7 членов уравнения результаты имеют значительные отклонения от измеренных и не могут считаться достоверными.

По совокупности факторов (минимум дисперсии и стандартного отклонения), температура ликвидуса наиболее достоверно описывается эмпирическими уравнениями, соответствующими типу уравнения № 9 в таблицах 2 и 3:

- По данным измерений прибором Heraeus:

$$\begin{aligned} \text{Тлик} = & 1010 - 140,06247 * \text{CaF}_2 + 13,73727 * (\text{CaF}_2)^2 - 1,00513 * (\text{AlF}_3 * \text{CaF}_2) \\ & + 18,90011 * \text{AlF}_3 - 0,88156 * (\text{AlF}_3)^2 - 0,09102 * (\text{Al}_2\text{O}_3 * \text{AlF}_3) - 24,68225 * \text{Al}_2\text{O}_3 \\ & + 4,91750 * (\text{Al}_2\text{O}_3)^2 + 801,25048 * \text{MgF}_2 - 566,55756 * (\text{MgF}_2)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 3

Сравнительные результаты расчетов с измерениями прибором SuperHeat Meter

SuperHeat Meter		сред	макс	мин	размах	дисперсия	Станд Откл
измерение		9,8	19,5	3,1	16,4	13,7	3,7
Известные формулы	Lee	-10,3	16,7	-32,8	49,5	80,0	8,9
	Дьюинг	-8,5	11,4	-26,4	37,8	45,6	6,8
	Стерген	-12,6	8,0	-30,5	38,5	46,0	6,8
	Billard	-0,7	19,9	-20,4	40,3	51,3	7,2
	Китай	0,4	21,1	-22,2	43,3	47,8	6,9

Формулы, полученные методом регрессионного анализа	1	9,8	29,3	-8,0	37,3	44,0	6,6
	2	9,8	29,3	-8,0	37,3	44,0	6,6
	3	9,8	29,3	-8,0	37,3	44,1	6,6
	4	9,8	28,6	-8,9	37,6	43,9	6,6
	5	30,2	49,7	12,4	37,3	44,1	6,6
	6	9,9	28,8	-7,8	36,7	44,0	6,6
	7	9,9	28,8	-7,8	36,7	44,0	6,6
	8	9,8	28,4	-8,7	37,1	44,4	6,7
	9	9,8	28,6	-6,8	35,4	43,0	6,6
	10	9,8	28,5	-8,1	36,5	43,7	6,6
	11	9,8	28,5	-8,0	36,5	43,5	6,6
	12	9,8	28,8	-7,8	36,7	43,8	6,6

Таблица 4

Сравнительные результаты расчетов с измерениями прибором Heraeus

Х Е Р А У С		сред	макс	мин	размах	дисперсия	Станд Откл
измерение		7,5	20,8	3,0	17,8	17,4	4,2
Известные формулы	Lee	-1,7	18,6	-20,1	38,7	49,4	7,0
	Дьюинг	-3,0	12,8	-13,2	26,0	34,2	5,8
	Стерген	-4,1	11,2	-13,5	24,8	33,3	5,8
	Billard	9,0	26,4	-4,6	31,0	33,8	5,8
	Китай	6,2	20,1	-3,0	23,0	32,9	5,7
Формулы, полученные методом регрессионного анализа	1	7,7	20,8	0,1	20,7	26,3	5,1
	2	6,9	20,0	-1,3	21,3	24,6	5,0
	3	7,4	21,0	-0,5	21,6	26,9	5,2
	4	10,4	24,6	0,1	24,4	30,6	5,5
	5	7,1	20,2	-1,1	21,3	24,6	5,0
	6	7,3	20,5	-0,8	21,4	29,3	5,4
	7	10,3	23,5	2,1	21,4	29,3	5,4
	8	10,2	23,6	1,7	21,9	30,6	5,5
	9	7,2	20,1	-1,3	21,5	24,4	4,9
	10	7,2	20,3	-1,4	21,7	29,8	5,5
	11	7,2	20,2	-1,1	21,3	26,7	5,2
	12	7,1	20,0	-1,0	21,1	26,7	5,2

По данным измерений SuperHeat Meter:

$$\begin{aligned} \text{Тлик} = & 1010 - 42,58091 * \text{CaF}_2 + 5,15131 * (\text{CaF}_2)^2 - 1,78209 * (\text{AlF}_3 * \text{CaF}_2) + \\ & + 22,48303 * \text{AlF}_3 - 0,65083 * (\text{AlF}_3)^2 - 2,20279 * (\text{Al}_2\text{O}_3 * \text{AlF}_3) + 13,42 * \text{Al}_2\text{O}_3 \\ & + 0,13905 * (\text{Al}_2\text{O}_3)^2 - 85,85622 * \text{MgF}_2 + 54,52960 * (\text{MgF}_2)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

По результатам расчетов по вышеприведенным формулам 2 и 3, изменение температуры ликвидуса (Тл) на 1 градус соответствует изменению содержания:

- KO на 0,0136 (Heraeus) / 0,0135 (SuperHeat Meter);
- $AlF_3$  (избыток) на 0,2126 % (Heraeus) / 0,2112 % (SuperHeat Meter);
- $Al_2O_3$  на 0,0175% (Heraeus) / 0,0157 % (SuperHeat Meter);
- $CaF_2$  на 0,0039 % (Heraeus) / 0,0004 % (SuperHeat Meter);
- $MgF_2$  на 0,0005 % (Heraeus) / 0,0047 % (SuperHeat Meter).

Использование данных формул при корректировке температурных характеристик приведет к меньшей ошибке, чем их прямое инструментальное измерение. Погрешности измерений температур обоими методами будут примерно одинаковы, однако использование расчетных формул для определения температур ликвидуса позволяет избавиться от дорогостоящих измерений и управлять процессом при отсутствии экспериментальных данных о температуре ликвидуса.

#### ВЫВОДЫ.

На основании промышленных измерений температуры ликвидуса электролита получены формулы ее расчета для определенного состава электролита, применительно к условиям эксплуатации электролизеров КЭЗа.

Формулы расчета температуры ликвидуса различны при применении различных методик и приборов, в нашем случае при применении приборов SuperHeat Meter (Китай) и Heraeus (Бельгия).

Рекомендуется применение расчетных формул определения температуры ликвидуса, взамен ее измеренной величины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Lee, S. S., Lei, K. S., Xu, P. and Brown, J. J.** Determination of Melting Temperatures and  $Al_2O_3$  Solubilities for Hall Cell Electrolyte Compositions // Light Metals. – 1984. - P. 841-855.
- 2 **Dewing, E. W.** Liquidus curves for aluminium cell electrolyte // Electrochemical society. - 1970, Vol. 117, N° 6. - P. 780-781.
- 3 **Solheim, A., Rolseth, S., Skybakmoen, E.** ets. Liquidus Temperature and Alumina Solubility in the System  $Na_3AlF_6-AlF_3-LiF-CaF_2-MgF_2$  // Light Metals. - 1995. – P. 451-460.
- 4 **Sterten, A., Rustom, A., Solheim, A.** Phase Diagram Data in the System  $Na_3AlF_6-Li_3AlF_6-AlF_3-Al_2O_3$  / Part I: Liquidus Temperatures for Primary Cryolite Crystallisation // Light Metals. – 1990. – P. 311-316.
- 5 **Bullard, G.L., Przybycien, D.D.** DTA Determination of Bath Liquidus Temperatures: Effect of LiF // Light Metals. – 1986. – P. 437-443.
- 6 **Taberoult, A.G.** // Light Metals. – 1982. - P. 571-593.

7 **Richard, M.K.** Use of a mathematical cell model to determinate all parameter design changes for production maximization // Light Metals. – 1975, vol.1. - P. 95-109.

8 **Семенов В.С.** Исследование особенностей теплопередачи в катодном устройстве алюминиевого электролизера. Автореф.дисс.канд.тех.наук, Л., 1976.

9 **Беляев А.И.** Электролит алюминиевых ванн. М.: Metallurgizdat, - 1961. - 199 с.

10 **Grotheim K.** Aluminium electrolysis / K. Grjotheim [and others] // Dusseldorf: Aluminium-Verlag. – 1983. – P.687.

АО «Казахстанский электролизный завод», ООО «Эксперт-ал», г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 27.09.12.

*Ж.Ж. Камзин, А.А. Батраченко, А.П. Скворцов*

**«КЭЗ» АҚ Алюминь электролизерлерінің, электролит ликвидусының температурасын есептеу формуласы.**

*Zh.Zh. Kamzin, A.A. Batrachenko, A.P. Skvortsov*

**«Formula for calculation of jsc KAS aluminium cells electrolyte liquidus temperature»**

*Мақалада, «Қазақстан электролиз зауыты» АҚ алюминь электролизерлерінің, электролит ликвидусының температурасын өлшеу нәтижелері ұсынылған. Линиядағы емес регрессионды анализ әдісіне негізделген, ликвидус температурасы есебінің математикалық моделі құрылған. Эксперименттік мәліметтердің, алынған массиві бойынша, Heraeus және Қытай құралдарымен өндірілген, белгілі электролит құрамын өлшеуге арналған, ликвидус температурасын есептеу формулалары шықты.*

*Өзекті сөздер: алюминь электролизері, моделі, электролит, ликвидус температурасы.*

*The article describes the results of «Kazakhstan Aluminium Smelter» JSC aluminium cell electrolyte liquidus temperature measurements. Mathematical model has been developed to calculate liquidus temperature, which is based on non-linear regression analysis method. Liquidus temperature calculation formulae were obtained as per received experimental data set for a particular electrolyte composition, for measurements made by Heraeus and Chinese instruments.*

*Key words: aluminium cell, model, electrolyte, liquidus temperature.*

**А.Т. Канаев, А.В. Богомолов, Ж.М. Ыксан**

## **ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ АУСТЕНИТА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ Ст. 5**

*В статье представлены материалы исследований структуры стали марки Ст5 при пластической деформации для получения информации о механизмах упрочнения и разупрочнения металлов.*

Для непосредственного изучения структурных изменений, происходящих в процессе пластической деформации при температурах 800-1100°С использовали высокотемпературную установку ИМАШ 20-78, позволяющую получать ценную информацию о механизмах упрочнения и разупрочнения, взаимосвязи между структурой и механическими свойствами исследуемых материалов.

В данной работе в качестве материала для исследований была выбрана углеродистая сталь марки Ст. 5, используемая для производства массовых видов сортового проката.

Методика проведения экспериментов сводилась к следующему.

Образцы с тщательно отполированной поверхностью для растяжения толщиной и шириной по 3 мм и длиной рабочего участка 6 мм нагревали в вакуумной камере установки до температуры 980°С при разряжении  $2 \cdot 10^{-5}$  мм в. ст. Во время эксперимента вели автоматическую запись диаграммы в координатах усилие – время  $p = f(\tau)$ . Температуру образцов на рабочей длине в момент деформации поддерживали постоянной на уровне 980°С с погрешностью не более  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Скорость движения активного захвата установки равнялась 28 мм/мин. Для получения диаграммы горячей деформации  $\sigma_{\text{ист}} = f(\psi_{\text{ист}})$  строили предварительно тарировочную зависимость деформации  $\varepsilon$  от времени деформирования.  $\varepsilon = f(\tau_{\text{деф}})$ .  $\psi_{\text{ист}}$  – истинное значение сужения образца в месте образования шейки. Для построения тарировочной зависимости  $\varepsilon = f(\tau_{\text{деф}})$  образцы деформировали при температуре 980°С в течение заданного времени, по истечении которого произвели мгновенную разгрузку и определяли истинное значение относительного сужения, соответствующее данному отрезку времени. Далее в основном эксперименте пользовались полученной тарировочной кривой, определяя степень деформации во время деформирования. Диаграмму горячей деформации строили путем пересчета записанных в координатах  $p = f(\tau)$  кривых растяжения образцов, для чего на оси времени, в соответствии с

тарировочной зависимостью  $\varepsilon = f(\tau_{\text{деф}})$ , определялись точки, соответствующие деформации, кратно 5%. Истинное напряжение для этих точек определяли по формуле  $\sigma_{\text{ист}} = P / F (1-\psi)$ , где

$\sigma_{\text{ист}}$  - истинное напряжение течения при растяжении;

$P$  – усилие, соответствующее истинной величине относительного сужения в момент времени  $\tau$ ;

$\tau$  – текущее значение времени;

$F$  – исходная площадь поперечного сечения.

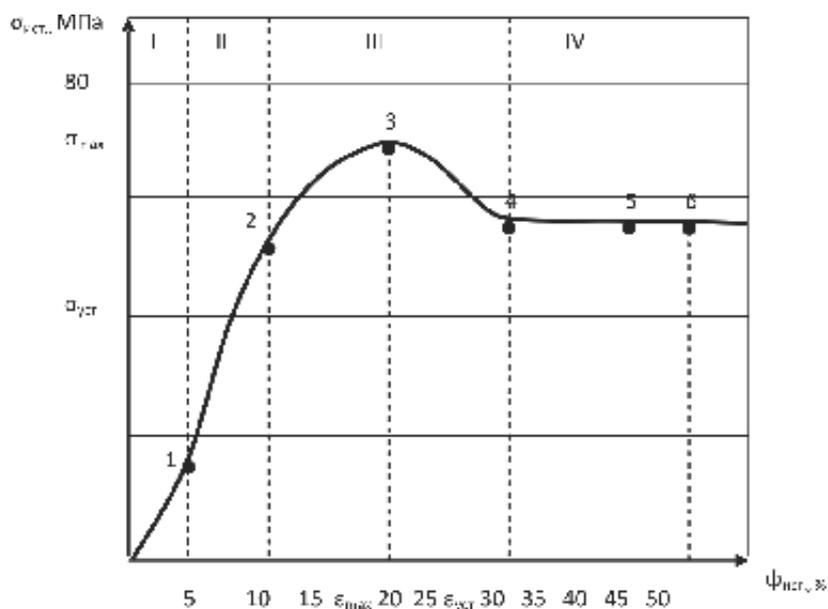


Рисунок 1 - Диаграмма горячей деформации стали марки Ст. 5

Диаграмма горячей деформации аустенита углеродистой стали марки Ст. 5 сп., представленная на рисунок 1, представляет собой зависимость истинного напряжения течения от истинного относительного сужения при растяжении. Видно, что диаграмма горячей деформации имеет 4 характерных стадии изменения напряжения течения в зависимости от уровня деформации.

I стадия аналогична легкому скольжению на кривой деформационного упрочнения, когда действует одна система скольжения.

II стадия соответствует множественному скольжению и максимальной интенсивности роста напряжения течения на начальных этапах горячей пластической деформации, характеризуется напряжением и деформацией, соответствующими на диаграмме от точки 1 до точки 2.

III стадия дальнейшего роста, но с постепенным ослаблением интенсивности роста, отвечает уровню напряжения и деформации от точки 2 до

точки перехода через максимум  $\sigma_{ист} - \psi_{ист}$ ; Эти две стадии соответствует упрочнению-горячему наклепу. Как видно из диаграммы, II стадия сопровождается интенсивным деформационным упрочнением, о чем свидетельствует наклон кривой и линейная зависимость между  $\sigma_{ист}$  и  $\psi_{ист}$ . На III стадии наклон кривой и соответственно интенсивность упрочнения уменьшается, что связано с развитием термически активируемых процессов разупрочнения. Наличие двух участков горячего наклепа свидетельствует о смене механизма структурообразования при деформации [1]. Точка перехода от II стадии ко III является границей, выше которой на процесс горячего наклепа накладывается процесс динамического возврата, в основе которого лежит поперечное скольжение и переползание дислокаций.

IV стадии отвечает участок диаграммы за точкой 4 кривой  $\sigma_{ист} - \psi_{ист}$ , отличается наличием постоянного по величине или малоизменяющегося значения напряжения. При этом непрерывно набирается деформация. Эта стадия характеризуется одновременным протеканием двух конкурирующих процессов: деформационного упрочнения в результате горячего наклепа и разупрочнения по механизму динамического возврата. На этой стадии деформации интенсивно развивается ячеистая субструктура, характеризующаяся тем, что зерно металла дислокационными скоплениями разбивается на ячейки, внутри которых плотность дислокации заметно меньше, чем в стенках. Диаметр ячеек обычно составляет 1-3 мкм, толщина их стенок на порядок меньше. Из-за избытка дислокации одного знака в стенке соседние ячейки разориентированы на углы до 1-2°. Ячеистая структура в конце III стадии и при переходе к стадии IV трансформируется в динамически равноосную полигонизованную структуру с равноосными субзернами. Отличие полигонизованной субструктуры от ячеистой состоит в том, что при полигонизованной субструктуре тело деформированного зерна разделено на мельчайшие субзерна с малоугловыми субграницами, представляющими собой плоские сетки дислокации, а при ячеистой субструктуре малоугловые границы образованы объемными сетками дислокации.

Особенностью динамически полигонизованной субструктуры является то, что кроме упрочняющего эффекта из-за торможения дислокаций субграницами, они (субграницы) могут пропускать через себя дислокации, т. е. способствуют релаксации пиковых микронапряжений. Это, естественно, снижает склонность металла к хрупкому разрушению (повышается вязкость). Таким образом, характер субзеренной структуры – размеры субзерен, структура субграниц и плотность дислокаций в них, играет большую роль для получения высоких механических свойств и снижения склонности к хрупкому разрушению. Важным преимуществом субструк-

туры, образовавшейся на стадии динамической полигонизации, является также ее высокая термическая стабильность. Структура, образовавшаяся механизмом динамической рекристаллизации, менее благоприятна из-за своей неоднородности и большей термической нестабильности.

На IV стадии устанавливается динамическое равновесие между упрочнением, обусловленным горячей деформацией и одновременно протекающим интенсивным разупрочнением. При этом разупрочняющими процессами могут быть динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация, проходящие в условиях одновременного воздействия деформирующих усилий.

Если главным разупрочняющим процессом на стадии установившегося течения является динамическая полигонизация, то в процессе горячей пластической деформации формируется тонкая дислокационная субструктура с относительно невысокой плотностью дислокации внутри субзерен. Такая субструктура динамической полигонизации наиболее предпочтительна при совмещенной деформационно-термической обработке, она легко наследуется мартенситом с достижением в закаленной стали наиболее благоприятного сочетания высокой прочности и пластичности [2].

Если же подавляющим процессом разупрочнения на стадии установившегося течения является динамическая рекристаллизация, то возникает неустойчивая субструктура с повышенной плотностью дислокации внутри субзерен. Это связано с тем, что при динамической рекристаллизации не все избыточные дислокации уничтожаются, поскольку продолжающаяся горячая деформация вносит в тело субзерен новые свежие дислокаций. Поэтому в определенной степени горячий наклеп в процессе динамической рекристаллизации сохраняется.

Важное практическое значение имеет то обстоятельство, что созданная на IV стадии субструктура динамической полигонизации вследствие снижения накопленной энергии обладает способностью тормозить статическую (первичную) рекристаллизацию при последующих, нередко длительных, последеформационных выдержках (до 40 с). Это расширяет технологические возможности при практическом осуществлении деформационно-термического упрочнения с прокатного (деформационного) нагрева [3].

#### Выводы

Диаграмма горячей деформации углеродистой стали марки Ст. 5сп. характеризуется четким выявлением четырех стадии деформации: горячего наклепа, динамического возврата, полигонизации и стадии установившегося течения, что свидетельствует о протекании сложных упрочняющих и разупрочняющих процессов во время горячей пластической деформации.

Упрочняющие процессы вызываются увеличением плотности дислокаций под действием внешних сил, а также взаимодействием дислокаций

между собой. Разупрочняющие процессы могут быть вызваны динамической полигонизацией и (или) динамической рекристаллизацией.

Установлено влияние степени деформации и последеформационной паузы на прочностные характеристики стали марки Ст. 5сп. и показано, что упрочнение достигается на стадии горячего наклепа при степени деформации  $\varepsilon = 10\%$ . Последеформационная пауза до 40 с практически не приводит к интенсивному разупрочнению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Канаев, А. Т. Дислокационная теория упрочнения металлических материалов. Республиканский журнал «Технология производства металлов и вторичных материалов». Темиртау, 2003. №2 - С. 64-73.

2 Материалы Международного семинара по термомеханической обработке металлических материалов. - Москва, МИСиС, 1996.

3 Нечаев, Ю. С., Канаев, А. Т. К вопросу о механизме термомеханического упрочнения низкоуглеродистых и низколегированных сталей. - Металлы, Известия РАН. - Москва, 1995. №2. - С.159-165.

Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*А.Т. Канаев, А.В. Богомолов, Ж.М. Ыксан*

**Аустениттің көміртекті Ст5 маркасының ыстықта өзгеруінің ерекшелігі**

*А.Т. Канаев, А.В. Богомолов, Ж.М. Ыксан*

**Features of hot deformation of carbon steel Art. 5 austenite**

*Мақалада материалдардың мықтылығы мен механизмнің орнығуы туралы ақпарат алу үшін көміртекті Ст5 құрлымының пластикалық деформациясын зерттеу мәлімет ұсынылған.*

*The paper presents the research material on structure of the steel Art.5 under plastic deformation for obtaining information on the mechanisms of hardening and softening of metals.*

**Ю.А. Коваль, А.Е. Айтпаева, Ж.М. Ыксан**

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

*В статье приведен анализ современных методов неразрушающего контроля качества металлических материалов и изделий, недостатки и преимущества, позволяющие судить о степени применения в производственных условиях с учётом основных эксплуатационных свойств металлических изделий.*

Основная задача любой системы контроля – выявление дефектов и определение пределов прочности и надежности. Дефекты могут возникнуть в результате ошибки при конструировании, производстве или эксплуатации: дефекты литья, усталостное разрушение, атмосферная коррозия, изнашивание сопряжённых деталей, дефекты при нанесении покрытий, дефекты неразъёмных соединений металла и так далее.

В каждом конкретном случае применяются специальные методики, позволяющие определить степень влияния дефекта на качество изделия: насколько уменьшится надежность, рабочие характеристики, как изменятся сроки и условия эксплуатации, или дефект является критичным и предмет не может быть допущен к использованию. Различают две основные группы испытаний: разрушающего и неразрушающего контроля.

Магнитный вид контроля относится к одному из первых видов неразрушающего контроля, который стал использоваться для диагностики продукции промышленных предприятий. Его используют для дефектоскопии (с помощью магнитных методов могут быть выявлены закалочные, шлифовочные трещины, закаты, усталостные трещины и другие поверхностные дефекты, определения твердости, структуроскопии, определения марок сталей, измерения физических параметров материалов, магнитной восприимчивости), для измерения толщины покрытий, механических напряжений и химического анализа.

Существует несколько десятков методов, позволяющих реализовать данный вид контроля. Наиболее часто в настоящее время используются магнитопорошковый, индукционный, феррозондовый, магниторезистивный, магнитополупроводниковый, магнитографический, пондеромоторный метод, метод контроля с помощью датчиков Холла [1]. Все они основаны на зависимости физических параметров ферромагнетиков от напряженности магнитного поля (принципе вихревых токов, изменении магнитного потока, изменении силы притяжения магнита и т.п.). Если ранее

магнитные методы применяли, в основном, для неразрушающего контроля изделий из ферромагнитных материалов, находящихся в намагниченном состоянии, то теперь научно технический прогресс расширил границы применимости этих методов и на немагнитные материалы.

Стандартные магнитные методы являются недорогими и не требуют значительного времени для измерений. К магнитным методам испытаний металлов относятся: магнитная дефектоскопия; магнитный анализ; магнитные измерения; испытания готовых магнитов.

В основу магнитных методов дефектоскопии положено измерение параметров магнитных полей и магнитных характеристик ферромагнитных материалов, способных существенно изменять их под действием внешнего магнитного поля [2]. При этом измерения могут проводиться как в приложенных, так и остаточных полях. В зависимости от объектов контроля применяют различные способы намагничивания контролируемых объектов [3,4].

Намагничивают детали постоянным, импульсным, переменным или комбинированным магнитным полем в продольном, поперечном или циркулярном направлении [5]. Выбор направления магнитного поля и способа намагничивания зависит от ориентации дефектов. Магнитное поле должно быть перпендикулярно направлению дефекта. После контроля детали размагничивают нагревом выше точки Кюри или переменным магнитным полем с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторой максимальной величины (равной или несколько большей амплитуды намагничивающего поля) до нуля.

При магнитопорошковом методе на поверхность намагниченной детали наносят ферромагнитный порошок. Под действием магнитных полей частицы порошка скапливаются над дефектами. Возможно выявление тонких и мелких трещин с раскрытием больше 0,0025 мм и глубиной не менее 0,025 мм. В стыковых сварных соединениях с усилением, выполненных автоматической сваркой, выявляются трещины с раскрытием не менее 0,01 мм и глубиной не менее 0,1 мм, в соединениях, выполненных ручной сваркой, - соответственно 0,025 мм и 0,25 мм. Используются порошки разного цвета.

Иногда перед выполнением контрольных операций контролируемые поверхности покрывают тонким просвечивающимся слоем белой краски или белого нитролака, чтобы черный порошок был лучше виден. Преимущества магнитопорошкового метода: высокая чувствительность к тонким и мелким трещинам, простота, оперативность и наглядность, возможность применения для деталей практически любых форм и размеров [4]. При магнитографическом методе магнитные поля рассеяния записывают на магнитную ленту, наложенную на участок контроля.

Преимущества магнитографического метода контроля: высокая разрешающая способность (возможность выявления мелких дефектов), позволяющая регистрировать неоднородные магнитные поля, соизмеримые с размером частиц магнитного слоя ленты (порядка 1 мкм), возможность регистрации дефектов на сложных поверхностях и в узких зазорах [2]. Недостатки: необходимость вторичного преобразования информации, регистрируются только составляющие магнитных полей вдоль поверхности ленты, сложность размагничивания и хранения ленты - необходимо предотвращать воздействие внешних магнитных полей.

При магнитоферрозондовом методе используются датчики - феррозонды [2]. Они имеют катушки, генерирующие магнитное поле, взаимодействующее с остаточным или наведенным полем контролируемой детали. При попадании дефекта в зону взаимодействия этих полей в катушках датчика возникнет электрический сигнал, по его величине судят о дефекте [3, 4]. Этот метод имеет высокую чувствительность, но для обеспечения достоверности результатов поверхность изделия должна иметь хорошую чистоту обработки.

При индукционном методе, основанном на регистрации магнитных полей объекта контроля индукционными преобразователями) для регистрации магнитных полей рассеяния, образующихся около дефектов в намагниченной детали, используют катушку, которую двигают вдоль контролируемого объекта с постоянной скоростью.

Индукционный метод может использоваться для контроля сварных труб, перемещающихся относительно индукционной головки. При этом катушка намотана на сердечнике из металла с высокой магнитной проницаемостью вместе они составляют магнитную индукционную головку (рисунок 1). Метод отличается повышенной надежностью, может работать в сильных магнитных полях, однако требует перемещения магнитной головки с постоянной скоростью вдоль направления магнитного поля, при этом щель рабочего зазора в сердечнике должна быть перпендикулярна к направлению движения. Поэтому его рационально применять в массовом производстве (при большой длине швов).

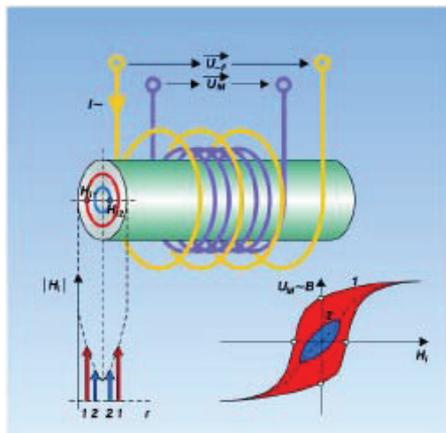


Рисунок 1 - Индукционный метод контроля качества труб

Для контроля качества холоднокатаных и холоднотянутых труб диаметром 20...102 мм предназначен индукционный дефектоскоп ДК, а для контроля холоднокатаных полос – дефектоскоп МД. На основе феррозондовых преобразователей созданы установки УФКТ-1М и МД-10Ф для контроля качества ферромагнитных изделий. С их помощью выявляются трещины, волосовины, раковины в стенках труб. Феррозондовый дефектоскоп типа МД-10Ф предназначен для контроля качества бесшовных труб диаметром 20...146 мм с толщиной стенки менее 12 мм.

В дефектоскопе имеются восемь вращающихся вокруг трубы феррозондовых преобразователей, сигналы которых, пропорциональные изменению магнитного поля дефектов, обрабатываются и регистрируются восьмиканальной аппаратурой с осциллографическим индикатором и блоком автоматики. Дефектоскоп управляет работой устройства сортировки труб.

Магнитный метод применяется также для контроля структуры и механических свойств изделий машиностроения и металлургии.

Контроль механических характеристик (твердости, временного сопротивления при разрыве  $\sigma_b$ , предела прочности  $\sigma_r$ , относительного удлинения  $\delta$ , сужения  $\psi$  и др.) стальных изделий возможен только для материалов, для которых существует взаимосвязь этих характеристик с магнитными свойствами металла. Наибольшее применение в практике неразрушающего контроля структуры и механических свойств получили остаточная намагниченность  $B_r$  и коэрцитивная сила  $H_c$  [4, 5].

Широко применяется метод коэрцитиметрии и для контроля глубины и твердости упрочнённых слоев на поверхности деталей [4].

Возможность контроля глубины слоя основана на различии коэрцитивной силы поверхностного слоя и сердцевины.

Для контроля толщины поверхностно-упрочнённого слоя электромагнит измерительного прибора должен перемагничиваться не только поверхностный слой, но и часть сердцевины изделия. Тогда изменение толщины упрочнённого слоя приводит к изменению общего магнитного потока «электромагнит – контролируемое изделие» как при намагничивании, так и при перемагничивании, и, следовательно, к изменению показаний прибора.

Для контроля твердости поверхностно-упрочнённого слоя магнитный поток должен проникать только в поверхностный слой. Разная глубина проникновения магнитного потока в изделие достигается использованием сердечников электромагнитов разной площади.

Физической основой метода контроля по коэрцитивной силе временного сопротивления при разрыве  $\sigma_b$ , предела прочности  $\sigma_T$ , относительного удлинения  $\delta$  и сужения  $\psi$  является взаимосвязь между прочностью и пластичностью. Дефекты структуры повышают прочностные характеристики материала и его коэрцитивную силу, одновременно снижая пластичность. Для холодно - и горячекатаного проката низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей наблюдается надёжная корреляция между коэрцитивной силой и прочностными характеристиками металла в состоянии поставки.

На рисунке 2 в качестве примера представлены корреляционные связи механических свойств и коэрцитивной силы для горячекатаных труб общего назначения из сталей марок 10, 20, 35 и 45 [4]. Авторами [4] установлены аналогичные закономерности и для других марок сталей.

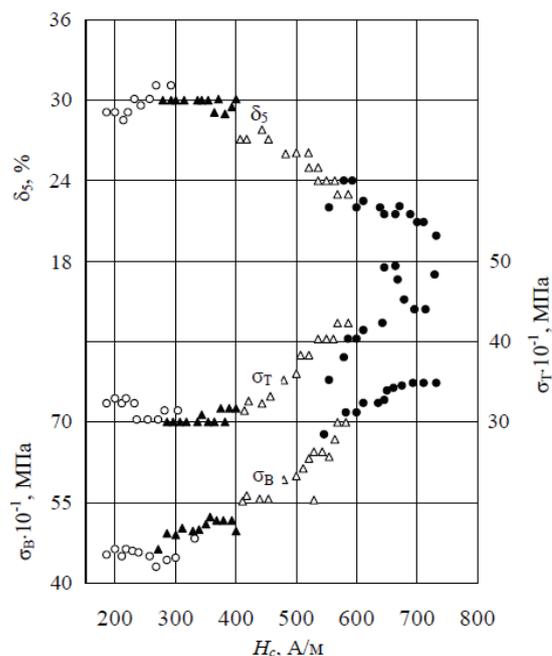


Рисунок 2 – Корреляция прочностных свойств и относительного удлинения сталей марок 10 (○), 20 (▲), 35 (Δ) и 45 (●) с коэрцитивной силой

Чувствительность коэрцитивной силы к содержанию углерода в стали позволяет использовать её для рассортировки углеродистых сталей по маркам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Горбаш, В. Г., Делндик, М. Н., Павленко, П. Н.** Неразрушающий контроль в промышленности. Магнитный контроль // Неразрушающий контроль и диагностика, № 2, 2011.

2 **Мельгуй, М. А.** Магнитный контроль механических свойств сталей. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.

3 ГОСТ 24450-80. Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения.

4 **Матюк, В. Ф., Кулагин, В. Н.** Контроль структуры, механических свойств и напряжённого состояния ферромагнитных изделий методом коэрцитиметрии // Неразрушающий контроль и диагностика / № 3, 2010. - С.5-8.

5 **Бидя, Г. В., Ничипурук, А. П.** Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле. // Дефектоскопия, 2000, № 10, - С. 3-27.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,  
г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*Ю.А. Коваль, А.Е. Айтпаева, Ж.М. Ықсан*

**Сапалы өнімді бақылаудың қазіргі әдісін талдау**

*Yu.A. Koval, A.E. Aitpaeva, Zh.M. Yksan*

**Analysis of modern methods of production quality control**

*Бұл мақалада металлдық материал мен бұйымдардың сапасын бұзылмайтын бақылаудың, оның кемшіліктері мен ерекшеліктері, өндірістік шарттарында негізгі пайдалану қасиеттерін бағалауға мүмкін беретін замануы әдістерін талдауы келтірілген.*

*In this article the analysis is given to the modern methods of nondestructive testing of metallic materials and products, their advantages and disadvantages, allowing to judge the degree of use in a production environment with the main performance characteristics of metal products.*

УДК 539.3:534.1

**В.Н. Украинец, С.Р. Гирнис, Д.М. Кунанбаева, М.Б. Мажимова**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ЗАГЛУБЛЕННОГО ТОННЕЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ  
ПОДВИЖНОЙ СИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

*Движущаяся в тоннеле транспортная нагрузка создаёт колебания в окружающем его породном массиве, изучение которых является одной из важнейших задач механики подземных сооружений. При этом возможны резонансные состояния тоннеля, определению которых посвящена настоящая работа.*

1. Рассмотрим модель неподкреплённого тоннеля в виде длинной круговой цилиндрической полости радиусом  $R$  в линейно-упругом, однородном и изотропном пространстве с параметрами Ламе  $\lambda$ ,  $\mu$  и плотностью  $\rho$ . Введём цилиндрическую систему координат  $(r, \theta, z)$ , ось  $z$  которой совпадает с осью полости.

По поверхности полости в направлении её оси с постоянной дозвуковой скоростью  $c$  движется синусоидальная нагрузка

$$P(\theta, \eta) = p(\theta) e^{i\zeta\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta},$$

$$P_j(\theta, \eta) = p_j(\theta) e^{i\zeta\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta,$$

где  $P_j(\theta, \eta)$  – составляющие интенсивности нагрузок  $P(\theta, \eta)$  в подвижной цилиндрической системе координат  $(r, \theta, \eta = z - ct)$ .

Граничные условия имеют вид

$$\sigma_{ij} \Big|_{r=R} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_{ij}$  – компоненты тензора напряжений в среде.

Выразив вектор  $u$  смещения упругой среды через потенциалы Ламе

$$u = \text{grad div } \varphi_1 - \text{rot}(\varphi_2 e_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_3 e_\eta)$$

представим уравнения движения среды в виде [1]

$$\nabla^2 \varphi_j = M_j' \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2}, \quad j = 1, 2, 3$$

где  $M_1 = M_2 = M_3 = M_s$ ;  $M_r = c/c_r$ ,  $M_s = c/c_s$  – числа Маха;  $c_r = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$ ,  $c_s = \sqrt{\mu/\rho}$  – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в среде.

Потенциалы  $\varphi_j$  также будем искать в виде синусоидальных функций

$$\varphi_j(r, \theta, \eta) = \Phi_j(r, \theta) e^{i\zeta\eta} \quad (2)$$

Подставляя (2) в уравнения движения, получим

$$\nabla_j^2 \Phi_j - m_j' \zeta^2 \Phi_j = 0, \quad j = 1, 2, 3. \quad (3)$$

Здесь  $\nabla_j^2$  – двумерный оператор Лапласа,  $m_j' = 1 - M_j^2$ ,  $m_1 = m_r$ ,  $m_2 = m_\theta = m_s$ .

Так как скорость движения нагрузки меньше скорости распространения волн сдвига в окружающей полости среде (дозвуковая скорость), то  $M_s < 1$  ( $m_2 = m_3 = m_s > 0$ ) и решения уравнений (3) можно представить в виде [1]

$$\Phi_j = \sum_{\lambda=1}^{\infty} \alpha_{j\lambda} K_\lambda(k_j r) e^{i\lambda\theta}, \quad (4)$$

Здесь  $K_n(k_j r)$  – функции Макдональда,  $k_j = \sqrt{m_j^2 \xi^2}$ ,  $a_{nj}$  – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

Как показано в [1], представление потенциалов в форме (4) с использованием граничных условий (1) приводит к бесконечной системе уравнений блочно-диагонального типа с матрицами (3x3)

$$\sum_{j=1}^3 S_{\pi\mu} (K_n(k_j R))_{ij} = P_{\pi\mu} / \mu \quad (5)$$

$$n = r, \theta, \eta; \mu = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Вид функций  $S_{\pi\mu} (K_n(k_j R))$  определён в [1].

Система (5) имеет единственное решение, если её определитель не равен нулю. Определив коэффициенты  $a_{nj}$ , можно вычислить компоненты напряжённо-деформированного состояния среды.

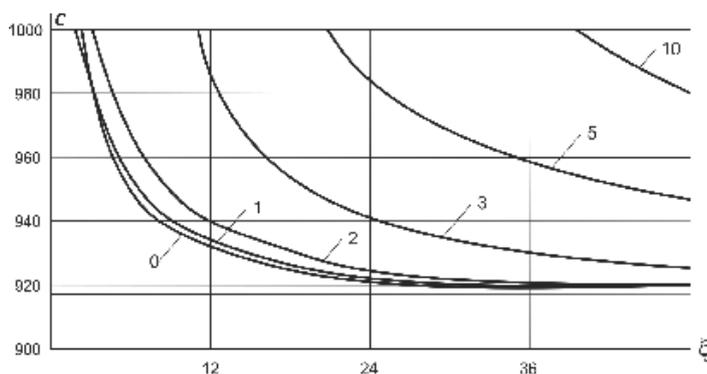
2. Если в уравнениях (5) отбросить правые части, то получим однородную систему линейных алгебраических уравнений, которая решает задачу о движении в тоннеле свободных поверхностных цилиндрических волн. Данная система имеет нетривиальные решения в случае, когда определитель матрицы её коэффициентов равен нулю. Из этого условия следуют дисперсионные уравнения

$$\Delta_n(\xi, c) = 0,$$

где  $\Delta_n(\xi, c) = \Delta_{nj}(|\xi|, c)$  – определители третьего порядка на главной диагонали матрицы коэффициентов системы (5),  $n = 0, +1, -2, +3 \dots$

Дисперсионные уравнения позволяют определить точки  $(\xi_{(n)}, c_{(n)})$ , характеризующие длину  $\lambda_{(n)} = 2\pi / \xi_{(n)}$  и скорость  $c(n)$  движения n-ой моды свободной волны, которая может распространяться вдоль поверхности полости.

На рисунке 1 представлены дисперсионные кривые  $c(n)(\xi(n))$  ( $|n|=0, 1, 2, 3, 5, 10$ ), соответствующие уравнениям  $\Delta_n(\xi, c) = 0$ . Расчёты проведены для алевролита:  $\nu = 0,2$ ,  $\mu = 2,532 \cdot 10^9$  Па,  $\rho = 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_r = 1643,4$  м/с,  $c_s = 1006,4$  м/с. Радиус полости (тоннеля)  $R = 1$  м. Здесь ярко выражено наличие горизонтальной асимптоты  $c = 917$  м/с, которая совпадает со скоростью  $cR$  волны Рэлея для данной среды. Это объясняется тем, что определитель  $\Delta_n(\xi, c)$  при  $\xi \rightarrow \infty$  содержит функцию Рэлея, которая обращается в ноль при  $c = cR$  [2].



Обозначения кривых:  $n = 0$  (0);  $|n| = 1$  (1);  $|n| = 2$  (2);  $|n| = 3$  (3);  $|n| = 5$  (5);  $|n| = 10$  (10) Рисунок 1 – Дисперсионные кривые для неподкреплённого тоннеля

При движении синусоидальной, с периодом  $T = 2\pi/\xi$ , нагрузки со скоростью  $c$  компоненты напряжённо-деформированного состояния среды определяются однозначно, если точка с координатами  $(\xi, c)$  не лежит на дисперсионных кривых (в этом случае определитель системы (5) не равен нулю). В противном случае задача не имеет решения (происходит явление резонанса, перемещения и напряжения стремятся к бесконечности), хотя не исключена возможность появления множества решений, определяемых с точностью до свободных поверхностных волн в тоннеле (при этом ранг матрицы коэффициентов системы (5) должен быть равен рангу расширенной матрицы). Поэтому в дозвуковом диапазоне скоростей движения нагрузки, её параметры  $\xi$  и  $c$  не должны одновременно являться корнями дисперсионных уравнений, то есть следует избегать совпадения данных параметров с подобными параметрами свободных поверхностных волн в тоннеле. Отметим тот факт, что вполне допустимо совпадение частоты  $\omega = c\xi$  вынужденных колебаний массива в окрестности тоннеля с частотами  $\omega(n) = c(n)\xi(n)$  собственных колебаний, то есть  $\omega = \omega(n)$ . Для этого достаточно, чтобы  $T \neq \xi(n)$  (или  $\xi \neq \xi(n)$ ) и  $c \neq c(n)$ . Если это условие не выполняется ( $\xi = \xi(n)$ ,  $c = c(n)$ ,  $\omega^* = c\xi$ ,  $\omega^* = \omega(n)$ , где  $\omega^*$  – критическая частота) то в тоннеле возникают резонансные колебания, которые могут привести к разрушению его стенок.

В таблице 1 приведены числовые значения частот  $\omega(0) = c(0)\xi(0)$  собственных колебаний алевролита в окрестности рассматриваемого тоннеля.

Из таблицы видно, что чем больше длина свободной волны  $\lambda(0) = 2\pi/\xi(0)$  и соответствующая ей скорость  $c(0)$ , тем ниже  $\omega(0)$ . Поэтому с увеличением скорости бегущей по тоннелю нагрузки резонансные колебания происходят при большем её периоде с понижением критической частоты  $\omega^* = \omega(0)$ .

Таблица 1

$c_{(0)}$ , м/с	920	930	940	950	960	970	980	990	1000
$\xi_{(0)}$ , М <sup>-1</sup>	48,8	13,4	8,1	5,9	4,7	3,8	3,2	2,7	2,3
$\omega_{(0)}$ , с <sup>-1</sup>	44896	12462	7614	4845	4512	3886	3136	2673	2300

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1 **Украинец, В. Н., Гирнис, С. Р.** Действие стационарной подвижной нагрузки на тоннель глубокого заложения //Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений: материалы I Всеросс. научно-практ. конф. мол учёных. – Омск, 2006. – Книга 1. – С. 242-245.

2 **Ержанов, Ж. С., Айталиев, Ш. М., Алексеева, Л. А.** Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата : Наука Казахской ССР, 1989. – 240 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 12.09.12.

*В.Н. Украинец, С.Р. Гирнис, Д.М. Кунанбаева, М.Б. Мажимова*

**Қозғалмалы синусоидалды қуаттың ықпалы барысындағы түкпірдегі туннельдің резонансты жағдайын анықтау**

*V.N. Ukrainets, S.R. Girnis, D.M. Kunanbaeva, M.B. Mazhimova*

*Definition of resonance conditions of buried tunnel at effect of a sinusoidal load*

*Туннельдегі қозғалыстағы көліктік қуат оны қоршаған тау жыныс сілемінде маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Мұндағы туннельдің тербелістердің бар болуына әкеліп соғады. Оны зерттеу – жер асты қозғалыстың резонансты жағдайы болуы мүмкін, осы жұмыс мұндай жағдайларды анықтауға бағытталған.*

*The moving transport load in a tunnel creates oscillations in the surrounding rock mass; their study is one of the major problems of underground buildings. Thus, the present paper is devoted to definition of the resonance conditions of the tunnel that can appear in this case.*

**А. Шұела, С.С. Ибатова**

## **ЦЕМЕНТ БЕТОНДАРЫНДА ШЛАКТЫ ТИІМДІ ҚОЛДАНУ**

*Мақалада керамзитбетон өндірісінде павлодар ЖЭС-ның шлактарын қолданудың мүмкіншіліктері қарастырылған, цемент: шлак: құмқоспасының тиімді арақатынасын анықтаудың экспресс әдісі ұсынылған.*

Өндірісте қайталама материалдарды қолданудың толықтығы табиғи материалдарды қолданудың қазіргі заманғы масштабында бірінші дәрежелі мәнге ие. Шикізаттар мен қалдықтардың кешенді қолданылуы, сонымен қатар қалдықсыз және табиғи таза өндірістік технологияларды қалыптастырудың мәселелерін шешумен байланысты болғандықтан маңызды.

Қоршаған ортаның ластануын алдын-алу - қазіргі заманның маңызды мәселелерінің бірі. Тәжірибиелер көрсеткендей, өндірістің жолай өнімдері айтарлықтай кеңінен және тиімді құрылыс материалдары өндірісінде қолданылуы мүмкін. Қалдықтарды қайта қолдану мәселесі барша әлемдегі көкейтесті мәселелердің бірі. Қазақстандағы құрылыс көлемінің үздіксіз өсуі құрылыс материалдары мен бұйымдарының өндірісі үшін жаңа шикізаттар іздестірудің қажеттілігін тудырып отыр. Қоршаған ортаны өндіріс қалдықтарымен ластанудан қорғау қазіргі заманның ең маңызды мәселесі болып табылады, оны шешуге жыл сайын тек біздің елде емес, сонымен қатар шет елдерде де көп көңіл бөлінуде.

Қазіргі уақытта Қазақстанда жыл сайын қатты жағармайды жағудан 100 млн. т аса күлді-шлакты қалдықтар қалыптасады, 70 млн. т аса домналық, конверторлық және электробалқымалы шлактар, метал, химиялық шикізат және жағармай кендерін алу бойынша өнеркәсіптерден қопарылған жыныстардың миллиондаған тоннасы, негізгі пайдалы қазбалар байытудан қалдықтар жиналады. Көмір қазу және көмір байыту қалдықтарының көлемі жылына 2 млрд. т асады. Өндірісте осы қалдықтардың жартысынан кемі ғана қолданылады, қалған бөлігі көлемі 1 млрд. га шамасындағы егістік жерлерді алатын үйінділерге қоймаланады, бұл жер қыртысына әсер ете және ландшафты өзгерте отырып, қоршаған ортаның физикалық, химиялық ластануына әкеліп соқтырады. Сонымен қоса бұл қалдықтар қымбат тұратын дәстүрлі тапшы материалдарды алмастыра отырып, әр түрлі мақсаттағы құрылыс материалдары мен бұйымдарын дайындау үшін қолданылатын минералды шикізат болып табылады.

Қазақстан Республикасы басқармасының Қаулысында құрылыс материалдарының өндірісі үшін екінші ретті шикізаттардың, шлак және басқа да қалдықтардың анағұрлым толық қолданылуының қажеттілігі көрсетілген. Қоршаған ортаға зиянды әсері жоқ, аз қалдықты және қалдықсыз технологиялық процесстердің енгізілуі жөнінде мақсат қойылған.

Шикізаттар мен материалдарды ұқыпты шығындау, қалықтарды қысқарту дегеніміз – қыруар ақшалай шығындарды үнемдеу, қоршаған табиғи ортаның байлығын сақтау. Сонымен қатар, бізде материалды ресурстарды тиімді қолдануда қажетті бетбұрыстар орын алған жоқ. Біздің елде Еуропа елдерімен салыстырғанда ұлттық табыстың бірлігіне шикізат пен энергия көздері артық жұмсалады. Өндіріс қалдықтары екіншілей материалдарға одан да аз өңделеді. Пайдалы қазбалар қорының орны толмас, сондықтан барлық ресурс түрлерінің ұтымды қолданылуы ерекше мәнге ие болуда.

Қазақстан қуатты отынды-энергетикалық аудан болып табылады. Жыл сайын Екібастұз кен орындарында көмір шығару кезінде қалыптасатын 7 млн. т шамасында минералды қоспалар үйінділерге бағытталады. Үйінділер өсімдікті жердің 1000 гектары алып жатыр. Үйінділердегі көмірлердің жануы қоршаған кеңістікті ластайды. Күл мен шлакты қайта өңдеу күл үйінділеріне шығынды жоюға, шлактан жасалынып шығарылған өнімді іске асырудан пайда табуға мүмкіншілік береді.

Қазіргі уақытта ЖЭС күлдері мен шлактарын қолдана отырып тұрғылықты және қоғамдық ғимараттардың жаппай құрылысы үшін сыртқы керамзитбетонды қабырғалық панельдерді және блоктарды дайындау бойынша үлкен тәжірибе жинақталған. ЖЭС шлактарын қолдануға байланысты қиындықтар шлакты қолданудың тәжірибелік міндеттерінің көп факторлығынан және барлық белгі жиынтығы бойынша шлактың құрамына, түйіршік өлшеміне, қасиеттеріне баға беруге мүмкіндік беретін сындардың жоқтығынан туындайды.

Осы мақсатта цементті-шлакты суспензиялардың құрылым қалыптастыру процесстерін басқару заңдары зерттелді. Тәжірибелік жұмыстарды жүргізу барысында келесі материалдар қолданылды:

- Өскемен зауытының М 400 маркалы портландцемент;
- 5-10 және 10-20 мм фракциялы керамзитті қиыршық тас;
- ЖШС «Кастинг» үгітілген шлагы;
- кварцты құм;
- ӘҚ (УП)-2 әмбебап қоспасы.

Павлолдарлық ЖШС «Кастинг» шлагы қосылған керамзитбетонның қасиеттерін зерттеу үшін шешуші болып шлак қосылмаған 150 маркалы тығыз кварцты құмды құрам қабылданды. Құрғақ құраушыларды

араластыру кезінде цементті енгізгенге дейін оларды алдын ала ылғалдандыру мақсатында шамамен 40% жабу суы беріліп отырды. Бетон қоспасы ауытқу жиілігі 3000 мин<sup>-1</sup>, амплитудасы 0,35 мм болатын қалыпты дірілді аланда тығыздалды. Дірілдету уақыты 10 сек құрады. Сынақтар бүйір қыры 100 мм-лік куб пішінді үлгілерде жүргізілді. Бақылау үлгілері алғашқы тәулікте ылғалды мата астында, ал қалыптан алынғаннан кейінгі қалған 27 тәулік бойы – қалыпты қатаю камерасында сақталды. Зерттелуші құрам үлгілері 3 + 6 + 3 сағ режиміндегі жылу ылғалды өңдеу камерасында болады. Сынақтар қатаюдың 28 тәулігінен және буланудан кейінгі келесі күні жүргізілді.

Сынақ нәтижелерінің сараптамасы негізінде шлакты керамзитбетон құрамына цемент-шлак қоспасының массасынан 60% дейін енгізуге болатыны белгіленді. Шлак пен цементтің осындай қатынасы кезінде анықтаушы фактор – шөгу тығыздығы бойынша цементті-шлакты тастың сипаттамасы төмендемейді.

Жүргізілген зерттеулер нәтижелері негізінде, цемент массасынан 40 - 50 % шлак шығыны кезінде керамзитті шлакобетонның орташа тығыздығы жылулық өндеуден кейін орта есеппен алғанда 12 % артатындығын, жылуөткізушіліктің есептік коэффициенті 10 % артатындығын, бетонның беріктігі 20 % төмендейтіндігін, ал цементтің салыстырмалы шығыны 2 есеге артатындығын атап өтуге болады.

Зерттелуші бетондар құрамына ӘҚ-2 қоспасын қолданған кезде тығыздықтың 15 % артатындығы, беріктік – екі есе, жылуөткізушіліктің есептік коэффициенті 12 % өскендігі, ал керамзитті шлакобетонның құрамына 60 % шлак енгізгеннен кейін цементтің салыстырмалы шығыны 65 % төмендегені анықталды. Егер бетон маркасы берілген болып қалса, онда цемент шығынын шамамен 40 % қысқарту мүмкіншілігі туады.

Салыстырмалы нұсқаларды бағалау тек өндіріс қалдықтарын қайта өндеуді ғана ескеріп қоймай, сонымен қоса қымбат тұратын құраушы қоспаларды үнемдеуге және де салыстырмалы түрде аз қаржы жұмсай отырып жоғары сапалы құрылыс материалдарын алуға мүмкіншілік беретін тиімді нұсқаны таңдауға жол ашады. Түпкілікті ұсыныстар үшін темірбетон конструкциялары зауыттарында бұйымдардың өндірістік партиясы шығарылымын жүргізу талап етіледі, олар қазіргі уақытта әрекетсіздік үстінде деуге де болады.

Орындалған жұмыстың шамалы тиімділігіне кейбір есептік көрсеткіштер арқылы баға беруге болады, мысалы, техникалық тиімділік коэффициенті, керамзитті шлакобетоннан жасалған сыртқы қыбарғалық панельдердің жылу өткізгіштігі және ғимаратты жылытуға кететін жанармайдың сәйкесінше үнемделуі сияқты.

Сонымен қатар шикізаттар мен қалдықтардың кешенді қолданылуы оның қалдықсыз және табиғи таза өндірістік технологияларды қалыптастыру мәселесін шешумен байланысты болғандығымен де маңызды. Қалдықсыз технологияларды жасап шығару және игеру химиялық, таухимиялық, микробиологиялық, металлургиялық, көмір, құрылыс және басқа да өндірістердің қор сыйымды салаларында маңызды мәнге ие.

Қазіргі уақытта әр түрлі сала қалдықтары негізінде құрылыс материалдарының кәсіпорындары қажетті сападағы бұйымдар мен материалдар шығаруда, оның өзінде бастапқы шикізаттарды қолданғаннан гөрі өндіріске аз шығын жұмсалуда, себебі бастапқы шикізаттың өндірілуіне, тасымалдануына, өңделуіне қажетті шығындар ескерілмейді.

#### ӘДЕБИЕТТЕРДІҢ ТІЗІМІ

1 Волженский, А. В. и др. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. – М. : Стройиздат, 1989. – 476 с.

2 Микульский, В. Г. и др. Строительные материалы. (Материаловедение. Строительные материалы). – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с.

Материал поступил в редакцию 10.09.12.

*А. Шугла, С.С. Ибатова*

**Эффективное применение шлаков цементного бетона**

*A. Shugla, S.S. Ibatova*

**Effective use of the cement concrete slags**

*В статье рассмотрены возможности использования шлаков павлодарских ТЭС в производстве керамзитобетонов, предложена экспресс-методика определения оптимального соотношения цемент: шлак : песок.*

*Possibility of the use slag pавлодарских TES are considered In article in production керамзитобетонов, is offered methods of the determination of the optimum correlation cement: slag : sand.*

## НАШИ АВТОРЫ

**Абдрахманов Бауыржан Тендикович** – магистрант кафедры математики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Абиров Аскар Абашевич** – к.т.н., заведующий лабораторией «Водоснабжение и водоотведение», ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Айтпаева Асемгуль Ережеповна** – студент кафедры машиностроения и стандартизации, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Баймагамбетов Темиртай Шайхенович** – профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Батталов Жандос Тулегенович** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Батраченко Андрей Алексеевич** – зам. начальника цеха электролиза алюминия, АО «Казахстанский электролизный завод», г. Павлодар.

**Бахтиярова Динара Сергеевна** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Бегалиев Р.А.** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Богомолов Алексей Витальевич** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Быков Петр Олегович** – к.т.н., доцент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Гирнис Светлана Римонтасовна** – к.т.н., доцент кафедры ВТиП, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Дроботун Борис Николаевич** – д.п.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Егизбаев Дамир Алтынбекович** – магистр экономики, генеральный директор ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Ельмуратов Сембай Кайкенович** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Ельмуратова Анна Федоровна** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Есенов Берик Усеинович** – старший научный сотрудник лаборатории «Водоснабжение и водоотведение», инженер горного дела, ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Жанабаева Гульбарам Маратовна** – магистрант,

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Жаркенов Еркебулан Берденович** – научный сотрудник лаборатории «Водоснабжение и водоотведение», ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Ибатова С.С.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Игибаев Ардак Жайналиденович** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Какимов М.М.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Камзин Жумабек Жукенович** – Вице-президент по персоналу и общим вопросам, АО «Казахстанский электролизный завод», г. Павлодар.

**Канаев А.Т.** – д.т.н., профессор, Казахский Агротехнологический университет, г. Астана.

**Касенов А.Л.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Каракаев Абылхан Космурзаевич** – д.т.н. РФ и РК, профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Коваль Ю.А.** – магистрант кафедры машиностроения и стандартизации, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Кунанбаева Диана Мергалиевна** – преподаватель кафедры БЖДЗСОС, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Кулумбаев Н.К.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Мажимова Меруерт Бериковна** – преподаватель кафедры БЖДЗСОС, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Молчанов Виталий Сергеевич** – старший научный сотрудник лаборатории «Водоснабжение и водоотведение», магистр в области нефтегазового инжиниринга, ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Мухамедзянова Н.И.** – магистр математики, ст. преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Омарова Б.К.** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Омаров Жумабек Мухтарович** – ктн., исполнительный директор НТП «Ертiс».

**Оразова Д.К.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Оралов Е.Ш.** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Орынбеков Д.Р.** – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Сержанов Раду Идаятович** - к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Скворцов Александр Петрович** – зам. ген.директора, ООО «Эксперт-Ал», г. Павлодар.

**Сулейменов Канат Балтабаевич** – заведующий лабораторией «Энергосбережения», ТОО «Казахстанский научно-технический центр развития ЖКХ».

**Суюндиков Мерхат Мадениевич** – к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Тохтаров Ж.Х.** – преподаватель, Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, г. Семей.

**Украинец Виталий Николаевич** – д.т.н., профессор кафедры БЖДЗСОС, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Хасенов Е.Т.** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Ықсан Жанар Мунсызбайкызы** – доцент кафедры машиностроения и стандартизации, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И  
ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,  
«ӨЛКЕТАНУ- КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1,5, с полями 30 мм со всех сторон листа, название статьи: кегль - 14 пунктов и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе «Word 7,0 (97, 2000, 2007) для WINDOWS».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени. Для статей, публикуемых в Вестник химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

**Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:**

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;

2. Название статьи - на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац центрированный;

3. Инициалы и фамилия(-и) автора(-ов), полное название учреждения;

4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа - 1 см, интервал 1,0; для Вестников химико-биологической серии требуется также экспертное заключение (см. образец);

5. Текст статьи: кегль - 14 пунктов, гарнитура - Times New Roman (для русского, английского и немецкого

языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

6. Межстрочный интервал 1,5 (полуторный);

7. Список использованной литературы (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

#### *На отдельной странице*

**В бумажном и электронном вариантах приводятся:**

- **сведения об авторе: - Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы** (для публикации в разделе «Наши авторы»);

- **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail** (для связи редакции с авторами, не публикуются);

- **название статьи и фамилия (-и) автора (-ов) на казахском, русском и английском языках** (для «Содержания»).

1. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

2. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула - один объект).

3. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи, диски и дискеты не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в Вестнике составляет 5000 (Пять тысяч) тенге.

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный

университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137

Тел. 8 (718-2) 67-36-69, (внутр. 147; 183)

Факс: 8 (718-2) 67-37-02.

E-mail: [kereky@mail.ru](mailto:kereky@mail.ru)

**Наши реквизиты:**

РГКП Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова	РНН 4 5 1 8 0 0 0 3 0 0 7 3 БИН 990 140 004 654
АО«Цеснабанк» Код сектора экономики – 6 Признак резиденства -1	ИИК 579 9 8 F T B 0 0 0 0 0 0 3 3 1 0 БИК T S E S K Z K A

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

УДК 316:314.3

**А. Б. Есимова**

**СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ  
КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ  
В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

*В настоящей статье автор дает анализ отличительных особенностей репродуктивного поведения женщин сквозь призму семейно-родственных связей.*

Одной из актуальных проблем современности является проблема демографическая. Еще в XX веке исследователи активно занимались поиском детерминант рождаемости, выявлением факторов, определяющих реализацию репродуктивных планов семей, индивидов.....

*Продолжение текста публикуемого материала.*

*Пример оформления таблиц, рисунков, схем:*

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
<b>Всего</b>	<b>1,80</b>	<b>2,22</b>

Диаграмма 1 – Показатели репродуктивного поведения

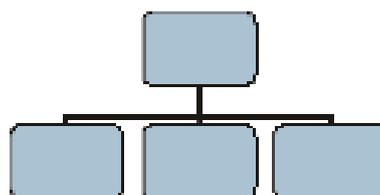
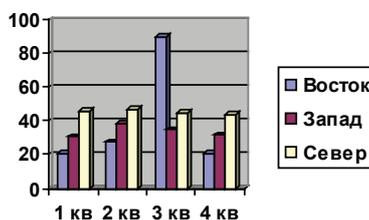


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Этнодемографический ежегодник Казахстана. Статистический сборник. – А., 2006. – С. 424.

2 Бурдые, П. Формы капитала // Экономическая социология. – Т.3, №5. – 2002. – С. 66.

*Место работы автора (-ов):*

Международный Казахско-Турецкий университет  
имени Х.А. Яссави, г. Туркестан.

Материал поступил в редакцию 20.09.12.

*А. Б. Есімова*

**Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде**

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,  
Түркістан қ.

Материал 20.09.12 редакцияға түсті.

*A.B. Yessimova*

**The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors**

K. A. Yssawi International Kazakh-Turkish university, Turkestan.

Material received on 20.09.12.

*Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлығында айырмашылықтарын талдайды.*

*In given article the author analyzes distinctions of reproductive behaviour of married women of Kazakhstan through a prism the kinship networks.*

Басуға 05.10.2012 ж. қол қойылды.  
Форматы 297\*420/2. Кітап-журнал қағазы.  
Көлемі шартты 11,6 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген М.А. Абжанова  
Корректорлар: Б.Б. Әубәкірова, А.Р. Омарова,  
А. Елемесқызы, Б.В. Нұрғожина  
Тапсырыс № 1922

«КЕРЕКУ» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.  
67-36-69  
E-mail: kereky@mail.ru