



ISSN 2308-9865

№4,  
2018

# МЕХАНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ғылыми журналды



Научный журнал

## МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ



Scientific Journal

## MECHANICS & TECHNOLOGIES





ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

«М.Х. ДУЛАТИ атындағы  
ТАРАЗ МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ»  
ШЖҚ РМК



## МЕХАНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ISSN 2308-9865

Ғылыми журнал  
1994 жылдың қаңтарынан бастап шығады  
Жылына төрт рет шығады

№ 4 (62)  
Қазан-желтоқсан  
2018 ж

*Бас редактор* И.И. Бекбасаров

*Редакция алқасы:* Н.А. Абиев, Б. Абзалбекұлы, К.И. Баданов,  
И.И. Бекбасаров, Ю.Л. Винников, Н.А. Горбатовская,  
Г.Е. Жидекулова, М.Т. Кейкиманова, Б.А. Койайдаров,  
С.М. Койбаков, М.М. Мукимов, М.И. Никитенко, А. Нурлыбаева,  
Г.Е. Омарова, С.А. Орынбаев, А.В. Пилягин, А.А. Сагындыков,  
Х.Р. Садиева, А.С. Сейтказиев, А.Н. Семернин, Н.А. Смирнова,  
Е.С. Спандияров, А.Г. Шлейкин, Я. Шульц

*Корректор және компьютерлік беттеу* Е.И. Атенов

*Редакция мекен-жайы:*

080012, Тараз қаласы, Төле би көшесі, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<http://mit.zhambyl.kz> E-mail: [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

Тіркеу куәлігі №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж  
(08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Басуға қол қойылған күн 27.12.2018. Форматы 70×180/16. Шартты баспа  
табағы 16,9. Тираж 300 дана. Тапсырыс 928.

М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университетінің «Тараз  
университеті» баспасы. 080012, Тараз қаласы, Төле би көшесі, 60.

© М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП на ПХВ  
«ТАРАЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени М.Х. ДУЛАТИ»



## МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2308-9865

Научный журнал  
Издается с января 1994 года  
Выходит четыре раза в год

№ 4 (62)  
Октябрь-декабрь  
2018 г.

*Главный редактор* И.И. Бекбасаров

*Редакционная коллегия:* Н.А. Абиев, Б. Абзалбекулы, К.И. Баданов,  
И.И. Бекбасаров, Ю.Л. Винников, Н.А. Горбатовская,  
Г.Е. Жидекулова, М.Т. Кейкиманова, Б.А. Койайдаров,  
С.М. Койбаков, М.М. Мукимов, М.И. Никитенко, А. Нурлыбаева,  
Г.Е. Омарова, С.А. Орынбаев, А.В. Пилягин, А.А. Сагындыков,  
Х.Р. Садиева, А.С. Сейтказиев, А.Н. Семернин, Н.А. Смирнова,  
Е.С. Спандияров, А.Г. Шлейкин, Я. Шульц

*Корректор и компьютерная верстка* Е.И. Атенев

*Адрес редакции:*

080012, г. Тараз, ул. Толе би, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<http://mit.zhambyl.kz> E-mail: [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

Свидетельство о регистрации №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999),  
№4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Подписано в печать 27.12.2018. Формат 70×180/16. Усл. печ. л. 16,9. Тираж  
300 экз. Заявка 928.

Издательство «Тараз университеті» Таразского государственного  
университета им. М.Х. Дулати. 080012, г. Тараз, ул. Толе би, 60.

© Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, 2018

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



TARAZ STATE UNIVERSITY  
named after M.Kh. DULATI

## MECHANICS & TECHNOLOGIES

ISSN 2308-9865

Scientific Journal

Published since January 1994

Published four times a year

**№ 4 (62)**

October-December  
2018

*Editor in chief* I.I. Bekbasarov

*Editorial board:* N.A. Abiev, B. Abzalbekuly, K.I. Badanov,  
I.I. Bekbasarov, N.A. Gorbatovskaya, M.T. Keikimanova,  
B.A. Koiaidarov, S.M. Koibakov, M.M. Mukimov, M.I. Nikitenko,  
A. Nurlybayeva, G.E. Omarova, S.A. Orynbayev, A.V. Pilyagin,  
Kh.R. Sadieva, A.A. Sagyndykov, J. Schulz, A.S. Seitkazyev,  
A.N. Semernin, N.A. Smirnova, Y.S. Spandiyarov,  
A.G. Shleikin, Yu.L. Vinnikov, G.Y. Zhidekulova

*Press-corrector and computer page makeup* Ye.I. Atenov

*Editorial address:*

080012, Taraz, Tole bi street, 60.

Tel.: 8 7262 45-35-10, fax: 8 7262 43-24-02.

<http://mit.zhambyl.kz> E-mail: [bekbasarov.isabai@mail.ru](mailto:bekbasarov.isabai@mail.ru)

Registration certificate №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Signed in print 27.12.2018. Form 70×180/16. Cond. print. sh. 16,9. Edition 300 copies. Application 928.

Printing House «Taraz University» of Taraz State University  
named after M.Kh. Dulati. 080012, Taraz, Tole bi street, 60.

© Taraz State University named after M.Kh. Dulati, 2018

## МАЗМУНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

### МЕХАНИКА

<b>Қойайдаров Б.А., Медербекқызы С.</b> Желдөңгелекке қалақ таңдау мәселесі .....	6
<b>Қойайдаров Б.А., Жақсылықов Ә.Б., Шәріп Е.Ғ.</b> Желтурбинаға ротор құрамдау .....	11
<b>Кейкиманова М.Т., Егембердиева С.Ш., Узбекиова Д.С., Исламхан А.Б.</b> Численные методы исследования напряженного состояния подземного нефтепровода из вязкоупругого материала .....	20
<b>Ильсов К.И., Калымбекова Г.Т., Бабаева Д.Х.</b> Обоснование схемы копировального устройства и геометрических параметров плазматрона .....	27
<b>Қойайдаров Б.А., Қойайдаров А.А., Абильдаев А.А.</b> Желтурбинаға статор құрамдау .....	32
<b>Қойайдаров Б.А., Абильдаева Н.Д., Сапарова Н.Ж.</b> Желтурбина генераторының қуат алатын механизімін құру .....	39
<b>Абиев Н.А., Пернебаева А.Е.</b> Компьютерлік технологиялардың сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулерге қолданыстары .....	48
<b>Абиев Н.А., Пернебаева А.Е.</b> Сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер жүйелері үшін Тихонов теоремасының компьютерде интерпретациялануы .....	58
<b>ТЕХНОЛОГИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ</b>	
<b>Урбанчик Е.Н., Галдова М.Н., Масальцева А.И., Горбатовская Н.А.</b> Способ получения безглютеновой биологически активной смеси на основе пророщенного зерна .....	71
<b>Бондарь С.В., Войцеховская Л.У., Охрименко Ю.И., Вербицкий С.Б.</b> Влияние конструкции и технологических режимов работы сепарирующих устройств на качество мяса птицы, механически отделенного .....	78
<b>Шаймерденова Д.А., Чаканова Ж.М., Бекболатова М.Б., Абдрахманов Х.А., Боровский А.Ю.</b> Изучение возможности использования зерновых и зернобобовых культур Казахстана как основы для продуктов питания .....	89
<b>ЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Орынбаев С.Ә., Бекмұратов М.М., Абдлахатова Н.Ш., Алтынбеков Е.</b> Бірфазалық қысқа тұйықталу тогының шамасына әсер ететін факторлардың талдауы .....	95

<b>Сон В.А., Сейтпанов П.К.</b> Устройство для получения равномерного искусственного ветрового потока с различными скоростью и давлением .....	105
---	-----

#### СТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Унайбаев Б.Б., Унайбаев Б.Ж., Совет Е.Б.</b> Защита свай в засоленных агрессивных грунтах .....	111
---	-----

<b>Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж., Аманбаев Е.Н.</b> Су ағысының құбырлар ішіндегі коррозияның дамуына әсері .....	118
--	-----

#### ЭКОЛОГИЯ

<b>Тогабаев Е.Т., Маханов М., Утепбергенова У.М.</b> Разработка технологической схемы обессоливания минерализованных вод и составление материального баланса для инженерного расчета установки .....	123
---	-----

<b>Маханов М.</b> Групповые системы водоснабжения и пути снижения затрат на стадии их проектирования и реконструкции .....	129
---	-----

#### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Балтабаева Д.Г., Садиева Х.Р.</b> Разработка технологий получения селено- и свинцосодержащих соединений из состава фосфоритного сырья .....	136
---	-----

#### МАТЕМАТИКА

<b>Жақаш А.Т., Боранбай А.Б.,</b> Бір стерженмен байланысқан еркіндік дәрежесі жоғары үш серпінді дененің қозғалысын зерттеу .....	141
---	-----

<b>Жақаш А.Т., Найзақулова А.А.</b> Еркіндік дәрежесі беске тең біліктің айналмалы тербелісінің негізгі жиіліктерінің шекарасын анықтау .....	146
--	-----

<b>Абиев Н.А., Досыбаева А.Б.</b> Компьютерлік технологиялардың метрикалық Ли алгебраларының Риччи операторын табудағы қолданыстары .....	150
--	-----

<b>Абиев Н.А., Ержигитова А.Е.</b> Зависимость сложности алгоритма от выбора структуры данных языка программирования .....	159
---	-----

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Қарғабаева Н.Ұ., Киікбай А.Б., Султанова Б.К., Савченко Н.К.</b> Разработка информационной системы для эффективности управления предприятием .....	167
--	-----

<b>Қарғабаева Н.Ұ., Киікбай А.Б., Султанова Б.К., Шакирова Ю.К.</b> Современные методы разработки баз данных для информационных систем .....	171
---	-----

---

## Механика

---

ӘОЖ 621.311.24

**Б.А. Қойайдаров<sup>1</sup>, С. Медербекқызы<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Техн. ғылымдарының канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант  
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан

### ЖЕЛДӨҢГЕЛЕККЕ ҚАЛАҚ ТАҢДАУ МӘСЕЛЕСІ

Қарсылық күшінің желқозғалтқыштарына қалақ таңдау әдісі ұсынылған.

**Тірек сөздер:** жел, қалақ, желдөңгелек, желқозғалтқыш, қарсылық күші.

Қазіргі кезде, қуатты жел-электр станцияларымен қатар, дизель (бензин) генераторлары сияқты автономды режимде жұмыс жасайтын кіші желэнергетикалық қондырғыларын құру арқылы желдің энергиясын пайдалануға жаппай көшу жоспарлануда. Осындай ғылыми-зерттеу жұмыстары М.Х.Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университетінің «Механика және машина жасау» кафедрасында да жүргізілуде [1,3-5].

Автономды кіші желэнергетикалық қондырғының тиімді болуы желқозғалтқышына байланысты.

Бүгінгі күні жақсы дамыған, кеңінен қолдану тапқан желқозғалтқыш – қанатты қалақты желқозғалтқыш [2]. Бірақ, мұндай желқозғалтқышты құрылысы күрделі және құны жоғары болғандықтан, автономды кіші желэнергетикалық қондырғыға қолдану тиімсіз. Қанатты қалақты желқозғалтқышты қуатты желэлектр станцияларын тұрғызуға пайдаланады.

Желқозғалтқыштар желдің көтеру және қарсылық күштерімен жұмыс жасайтын болып бөлінеді [2].

Қанатты қалақты желқозғалтқыш желдің көтеру күшімен жұмыс жасайды. Желдің қарсылық күшімен жұмыс жасайтын желқозғалтқыштарға көптеген ұсыныстар жасалған. Мұндай желқозғалтқыштардың қанатты қалақты желқозғалтқышпен салыстырғанда құрылысы қарапайым және құны төмен келеді.

Желдің қарсылық күшімен жұмыс жасайтын желқозғалтқыштардың негізгі кемшілігі – габаритті өлшемдерінің үлкендігі. Мұның басты себебі желқозғалтқыштың қалақтары жел легімен кезекпен әрекеттеседі. Сондықтан желқозғалтқышқа қуатты бір қалағының беті береді. [2,3].

Осыған байланысты қарсылық қалақты желқозғалтқыштың қуатына шаққандағы массагабаритті параметрін кішірейту мәселесі зерттелуде. «Механика және машина жасау» кафедрасында қарсылық күшінің желқозғалтқышын өзінен желді өткізетін және жел легіне ілесетін қалақтармен жабдықтау ұсынылған [3-5].

Мұндай қалақтармен жабдықталған желдөңгелектің көп қалақтары жел легімен қатар әрекеттеседі, сол себепті желқозғалтқышқа қуатты бір қалақ



қана емес, бірнеше қалақтар береді. Осыдан желқозғалтқыштың габаритті өлшемдері кішірейеді. [3-5].

Сонымен қатар, «Механика және машина жасау» кафедрасында барлық қалақтары жел легімен бір уақытта әрекеттесетін желтурбиналар құру жұмыстары да жүргізілуде.

Қарсылық желқозғалтқышының басты тетігі желдөңгелек [2]. Желдөңгелек желмен қалақтары арқылы әрекеттеседі. Сондықтан желдөңгелекке тиімді қалақ таңдау арқылы желқозғалтқыштың массагабаритті параметрін жақсартуға болады.

Желдің қуаты жылдамдығы мен түсу бетіне тәуелді [2]

$$N = 0,5 \cdot p \cdot S \cdot V^3, \quad (1)$$

мұнда:  $p=1.25 \text{ кг/м}^3$ – желдің тығыздығы;  $S$  – жел түсетін беттің ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – желдің жылдамдығы,  $\text{м/с}$ .

Желдің бетке түсіретін күші:

$$N = F_g \cdot V ;$$

осыдан

$$F_g = \frac{N}{V} = \frac{0,5 \cdot p \cdot S \cdot V^3}{V};$$

$$F_g = 0,5 \cdot p \cdot S \cdot V^2 . \quad (2)$$

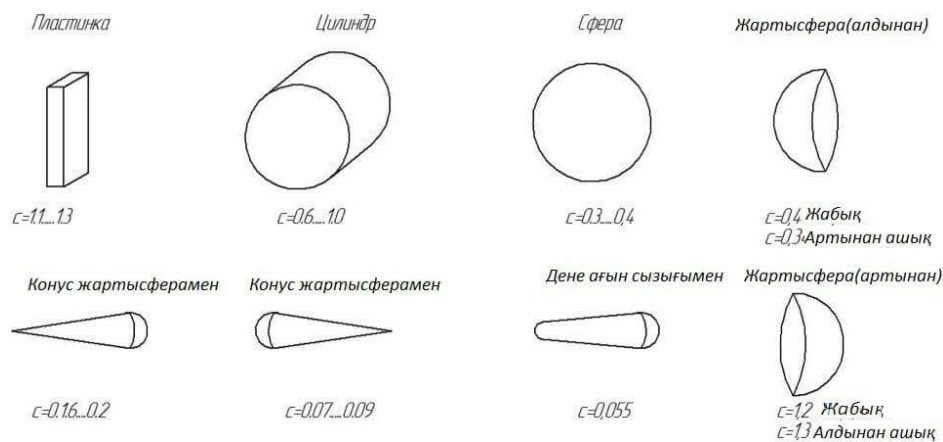
Желдің өтіндегі денеге жел әрқалай күш түсіруі мүмкін. Мысалы, шарды жел жуып өтеді, ал іші қуыс жарты шарды, қуыс беті желге қарсы тұрса, жел жуып өте алмайды. Сондықтан, дененің желге жасайтын қарсылығы оның формасына байланысты болады.

Осыған орай, желдің кез-келген денеге түсіретін қарсылық күшін дененің қарсылық коэффициенті бойынша (2) формуламен есептеу ұсынылған [2]

$$F_c = C \cdot 0,5 \cdot p \cdot S \cdot V^2; \quad (3)$$

мұнда:  $C$  – дененің желге жасайтын қарсылық коэффициенті;  $S$  – дененің жел түсетін бетінің ауданы,  $\text{м}^2$ .

Осы (3) теңдеуден жасалатын қорытынды, қарсылық желқозғалтқыштың қуатын көтеру үшін желдөңгелекті қарсылығы және беті үлкен қалақтармен жабдықтау керек. Қарсылық коэффициенттері анықталған денелердің түрлері 1-суретте келтірілген [2].



Сурет 1. Қарсылық коэффициенттері анықталған денелер

Ашық беті желге қарсы орналасқан жарты сфера мен беті желге қарсы орналасқан пластинканың қарсылығы үлкен. Бірақ, беті ашық жарты сферадан пластинканың құрылысы қарапайым.

Анемометрдің қалақтары беті ашық жарты сфера, ал Савониус роторы беті ашық жарты цилиндр қалақтармен жабдықталған [2].

Пластинканың қарсылық коэффициенті үлкен, құрылысы қарапайым болғандықтан әртүрлі орындалуда желдөңгелекке қалақ жасауға таңдалған. Пластинка қалақты желге қарсы және қиғаштап орналастыруға болады. Қиғашталған пластинканы жел жуа алатындықтан, қарсылық коэффициенті басқаша болуы мүмкін.

Желдөңгелекте қатар жұмыс жасайтын қалақтар санын көбейту үшін пластинка формалы тор қалақты және перфорацияланған пластинка қалақты пайдалану ұсынылған [4,5].

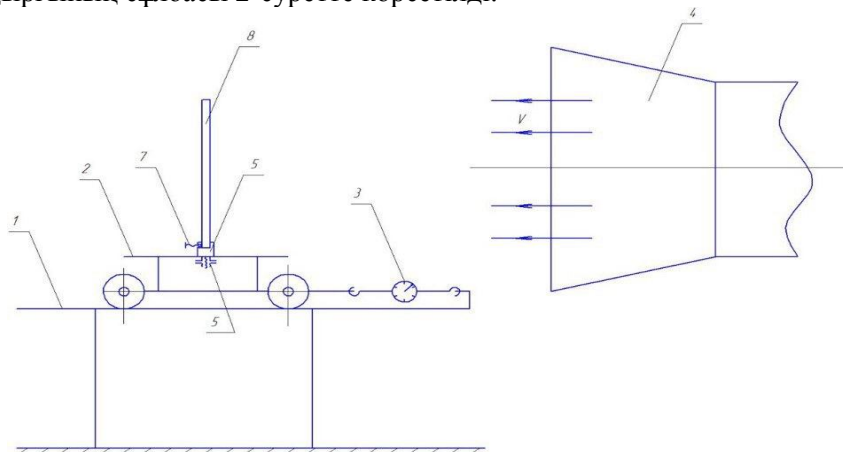
Қиғашталған тор және перфорацияланған пластинка қалақтардың қарсылық коэффициенттері белгісіз. Сонымен қатар, желтурбина құруға бөлінен түрлі бұрышқа майысқан және иілген пластинка қалақтарды пайдалану ұсынылған. Бұл қалақтардың да қарсылық коэффициенттері анықталмаған.

Кез-келген формадағы қалақты желдің өтіне орналастырып, қарсылық күшін өлшеп, (3) теңдеуден қарсылық коэффициентін анықтауға болады:

$$C = \frac{2 \cdot F_c}{P \cdot S \cdot V^2} \quad (4)$$

мұнда:  $F_c$  - қалақтың өлшенген қарсылық күші, Н;  $S$  - қалақтың жел түсетін бетінің ауданы, м<sup>2</sup>;  $V$  - қалаққа түсетін желдің жылдамдығы, м/с.

Қалақтың қарсылық коэффициентін анықтауға ұсынылған тәжірибелік қондырғының сұлбасы 2-суретте көрсетілді.



Сурет 2. Тәжірибелік қондырғының сұлбасы

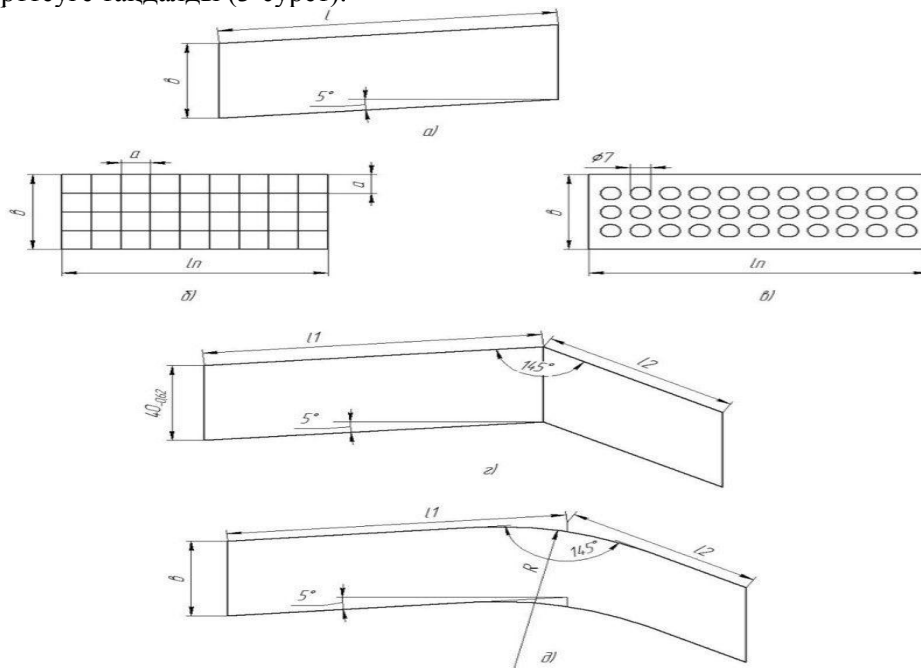
Ол столдан (1), кареткадан (2), динамометрден (3) және желқондырғыдан (4) тұрады. Каретка (2) төрт дөңгелектерімен столдың (1) бетінде еркін жылжи алады. Динамометрдің (3) бір ілгегі кареткаға (2), ал екінші ілгегі столға (1) ілінген. Каретканың (2) жазық жүк көтеретін бетінің ортасындағы тесікке айыр басты болт (5) кигізіліп, гайкамен (6) бекітілген. Болттың (5) айыр басының бір жақ бетінің ортасына бұрандалы тесік жасалған. Осы тесікке винт (7) бұралады. Желқондырғы (4) әртүрлі жылдамдықпен ( $V$ ) жел легін береді. Зерттелетін қалақты (8) болттың (5)

айыр басына кигізіп, винтпен (7) қысып бекітеді. Гайканы (6) босатып, болтты (5) бұрып, қалақты (8) желдің өтіне қажетті бұрышпен орналастыруға болады. Қалақты (8) қареткаға (2) орналастырғаннан кейін, желқондырғыны (4) керек режимге қосып, қажетті жел легі алынады. Желдің күшімен қаретка (2) жылжып, динамометрді (3) кереді. Осы кездегі динамометрдің (3) көрсетуі қаретка (2) мен қалақтың (8) желге қарсылық күші ( $F$ ) болады. Винтті (7) босатып, қалақты (8) алып, жел легіне қаретканың (2) өзін қалдырады. Бұл кездегі динамометрдің (3) көрсетуі қаретканың (2) желге қарсылық күші ( $F_c$ ) болады.

Қалақтың (8) желге қарсылық күші ( $F_c$ ) өлшенген күштердің айырмасына тең

$$F_c = F_э - F_k . \tag{5}$$

Қарсылық желқозғалтқышқа және желтурбинаға ұсынылған қалақтар зерттеуге таңдалды (3-сурет).



$a$  – қиғашталған пластинка қалақ;  $b$  – квадрат көзді тор пластинка қалақ;  $v$  – перфорацияланған пластинка қалақ;  $z$  – майысқан пластинка қалақ;  $d$  – иілген пластинка қалақ.

Сурет 3. Зерттелетін қалақтар

Қалақтың жел түсетін бетінің ауданын ( $S$ ) оның өлшемдері бойынша есептеп анықтайды:

1) Қиғашталған пластинка қалақтың жел түсетін бетінің ауданы (3,а-сурет)

$$S = l_n \cdot v_n , \tag{6}$$

мұндағы:  $l_n$  – пластинка қалақтың ұзындығы, м;  $v_n$  – пластинка қалақтың ені, м.

2) Тор пластинка қалақтың жел легіне қарсылық жасайтын бетінің ауданы (3, б-сурет)

$$S = l_n \cdot v_n - a^2 \cdot z_o , \tag{7}$$

мұнда:  $a$  – тордың квадрат көзінің қабырғасының ұзындығы;  $z_o$  – қалақтағы тор көздің саны.

3) Перфорацияланған пластинка қалақтың жел легіне қарсылық жасайтын бетінің ауданы (3, в-сурет)

$$S = \ell_n \cdot \epsilon_n - 0,785 \cdot d_o^2 \cdot z_o, \quad (8)$$

мұнда:  $d_o$  – тесіктің диаметрі;  $z_o$  – қалақтағы тесіктер саны.

4) Майысқан пластинка қалақтың жел түсетін бетінің ауданы (3, г-сурет), жалпы жағдайда

$$S = \epsilon_n (\ell_{n1} + \ell_{n2}), \quad (9)$$

мұнда  $\ell_{n1}, \ell_{n2}$  – қалақтың қанаттарының ұзындығы.

5) Иілген пластинка қалақтың жел түсетін бетінің ауданы (3, д-сурет), жалпы жағдайда

$$S = \epsilon_n \left( \frac{\ell_{n1}}{2} + \frac{\ell_{n2}}{2} + R \cdot \beta \right), \quad (10)$$

мұнда:  $R$  – қалақтың иілу радиусы;  $\beta$  – қалақтың иілу бұрышы, радиан.

Қалақтың (5) формуламен анықталған қарсылық күші ( $F_c$ ) мен есептелген жел түсетін бетінің ауданын (S) (4) формулаға қойып, қалақтың қарсылық коэффициенті (с) анықталады.

Қарсылық коэффициенттері, зерттелген қалақтардың формасындай басқа өлшемдердегі қалақтардың желге қарсылық күштерін анықтауға және қалақ түрін желкозғалтқышқа дұрыс таңдауға мүмкіндік жасайды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сман, Н.А. Автономды жел энергетикалық қондырғы құру [Мәтін] / Н.А. Сман, Л.Х. Юсупова, Б.А. Қойайдаров // «Ғылым және жаңашылдық-2015» магистранттардың ғылыми-техниканың конференциясы материалдары, I том, 13 наурыз 2015 ж. – Тараз: «Тараз университеті», 2015. – Б.264-265.
2. Фолькер, К. Системы возобновляемых источников энергии [Текст] / К. Фолькер; Пер. с немецкого. – Астана: Фолиант, 2013. – 432 с.
3. Қойайдаров, Б.А. Желдің қуатын желдөңгелекпен алу [Мәтін] / Б.А. Қойайдаров // Механика және технологиялар. – 2017. – №3. – Б. 6-11.
4. Қойайдаров, Б.А. Желді өзінен өткізетін қалақтармен жабдықталған желдөңгелекті есептеу [Мәтін] / Б.А. Қойайдаров // Механика және технологиялар. – 2017. – №3. – Б.12-19.
5. Жұмағұлов, Б.Б. Желдөңгелекке желді өткізетін пластинка қалақ құру [Мәтін] / Б.Б. Жұмағұлов, Б.А. Қойайдаров // «Ұлы дала өркениеті» атты халықаралық конгресс материалдары, 19-21 мамыр 2017 ж. – Тараз, 2017. – Б.248-252.

Материал редакцияға 08.11.18 түсті.

**Б.А. Қойайдаров, С. Медербекқызы**

Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан

#### ВЫБОР ЛОПАСТИ ДЛЯ ВЕТРОКОЛЕСА

Предложена методика выбора лопастей для ветродвигателей сопротивления.

**Ключевые слова:** ветер, лопасть, ветроколесо, ветродвигатель, сила сопротивления.

**B.A. Koyaydarov, S. Mederbekkyzy**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz, Kazakhstan*

### CHOOSING SPRING BARS

For wind turbines, resistance is proposed for selecting blades.

**Keywords:** wind, blade, wind wheel, wind turbine, drag force.

ӘОЖ 621.311.24

**Б.А. Қойайдаров<sup>1</sup>, Ә.Б. Жақсылықов<sup>2</sup>, Е.Ғ. Шәріп<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Техн. ғылымдарының канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант*

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### ЖЕЛТУРБИНАҒА РОТОР ҚҰРАМДАУ

Автономды режимде жұмыс жасайтын шағын желгенераторға ұсынылған желтурбинаның роторын құрамдау әдістемесі құрылған.

**Тірек сөздер:** желгенератор, желтурбина, ротор, пластинка, қалақ, ступица, құрсау, өс.

Қазақстандағы жеке үйлер мен шаруашылықтарды, саяжайларды, шаруа қожалықтарын автономды режимде жұмыс жасайтын шағын желгенераторлармен жабдықтау арқылы желдің қуатын жаппай пайдалануға қол жеткізуге болады. Себебі, қуатты желэлектр стансаларын тек желі күшті әрі үзілмейтін жерлерге тұрғызуға болады. Мұндай жерлер көп емес.

Автономды шағын желгенератордың құрылысы қарапайым, құны төмен болса қолжетімді болады. Сонымен қатар, көшпелі шаруашылықтар үшін құрамалы, әрі жай желден де қуат алатын болуы қажет. Осындай талаптарға сай келетін шағын желгенератор әзірге нарықта жоқ.

Желгенератордың басты жұмысшы элементі желқозғалтқыш. Сондықтан желгенератордың тиімділігі желқозғалтқышына байланысты болады [1,2]. Қазіргі кезде қанатты желқозғалтқыш жақсы дамыған. Жоғарғы қуатты желэлектр стансаларын тұрғызуға үш қанатты желқозғалтқышты пайдаланады [1,2]. Қанатты желқозғалтқыштың құрылысы күрделі, құны жоғары. Сол себепті оны шағын желгенераторларға пайдалану тиімсіз.

Қазіргі кезде қарсылық желқозғалтқыштардың түрлі нұсқалары ұсынылған [1,2]. Олардың ортақ кемшіліктері қуатына үлестік габаритті өлшемдері үлкен және желдің қуатын пайдалану коэффициенті төмен. Сондықтан оларды жетілдірмей шағын желгенераторларға пайдалану тиімсіз келеді.



$$F_{t_n} = F_{c_n} \cdot \sin(\beta - \alpha);$$

$$F_{t_n} = F_{c_n} \cdot (\sin \beta \cdot \cos \alpha - \cos \beta \cdot \sin \alpha);$$

Жел пластинка қалақтың бетіне тік бұрышпен түскені тиімді  $\beta = 90^\circ$ ;  
 сонда

$$F_{t_n} = F_{c_n} \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Пластинка қалақтың ротордың өсіне қиғашталуы аз болуы қажет. Бірақ, статордың қалағының желді бұру бұрышын кішірейту үшін  $\alpha = 20^\circ \div 40^\circ$  бұрышпен пластинка қалақтарды қиғаштауға болады. Сонда ( $\cos \alpha = 0,9397$ ) желдің күшінің 94% шеңберлік күшке ауысады.

Қиғашталған пластинка қалақтың ені (1-сурет)

$$\ell_{n_1} = AB = \frac{B}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

мұнда:  $B$  – ротордың ені;  $\ell_{n_1}$  – жазық пластинка қалақтың ені.

Жел пластинка қалақтың бетіне түгелдей түсу үшін келесі қалақ оның бетін жаппай орналасу керек. Ол үшін  $AB$  қалақтың  $B$  нүктесіне түскен перпендикуляр түзудің ( $BC$ ) ротордың екінші жиегімен қиылысу нүктесінен ( $C$ ) келесі қалақ ( $CD$ ) орналасады (1-сурет). Сонда  $AC$  ұзындық қалақтардың орналасу адымы болады.  $ABC$  тікбұрышты үшбұрыштан  $AC$  ұзындығын табамыз

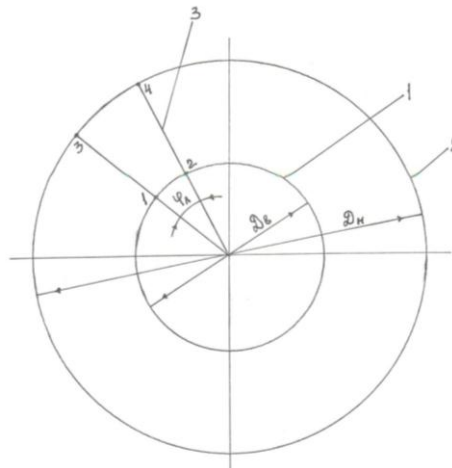
$$AC = \frac{AB}{\sin \alpha},$$

мұнда:  $AB = \ell_{n_1}$  – пластинка қалақтың ені;  $AC = t_n$  – қалақтардың орналасу адымы.

(4) формуланы ескергенде

$$t_n = \frac{B}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}. \quad (5)$$

Пластинка қалақ (1) ротордың ступицасы (2) мен цилиндр құрсауының (3) арасына радиустың бойымен (радиальды) орналасады (2-сурет).



Сурет 2. Пластинка қалақты ротор шеңберлеріне орналастыру сұлбасы

Ступицадағы (2) қалақтардың орналасу адымы (2-сурет)

$$t_{12} = t_n \quad (6)$$

болғанда жел қалақтың бетін толық жабады. Сонда, қалақтардың роторға орналасу бұрыштық адымы келесідей болады:

$$t_{12} = 0,5 \cdot D_6 \cdot \varphi_l \cdot \frac{\pi}{180};$$

осыдан

$$\varphi_l = \frac{360 \cdot t_{12}}{\pi \cdot D_6};$$

(5) және (6) формулаларды ескергенде

$$\varphi_l = \frac{360 \cdot B}{\pi \cdot D_6 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}, \quad (7)$$

мұнда  $D_6$  – ступицасының диаметрі.

Ротордағы қалақтар саны

$$Z_l = \frac{360}{\varphi_l};$$

(7) формуланы ескергенде

$$Z_l = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{B}. \quad (8)$$

Қалақтың бетіне түсетін желдің күші [1]

$$F_{c_n} = 0,5 \cdot C \cdot p \cdot S_l \cdot \vartheta^2 \quad (9)$$

Осыны (3) формулаға қойып ротор қалағына түсетін желдің шеңберлік күшін анықтаймыз

$$F_{t_n} = 0,5 \cdot C \cdot p \cdot S_l \cdot \vartheta^2 \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

Жалпы роторға түсетін желдің шеңберлік күші:

$$F_t = Z_l \cdot F_{t_n};$$

(10) формуланы ескергенде

$$F_t = 0,5 \cdot C \cdot p \cdot Z_l \cdot S_l \cdot \vartheta^2 \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

мұнда:  $C$  – пластинка қалақтың қарсылық коэффициенті;  $p=1,25 \text{ кг/м}^3$  – желдің тығыздығы;  $Z_l$ – ротордағы қалақтар саны;  $S_l$ – пластинка қалақтың бетінің ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $\vartheta$  – қалаққа түсетін желдің жылдамдығы,  $\text{м/с}$ .

Пластинка қалақтың бетіне түсетін желдің шеңберлік күшінің ( $F_{t_n}$ ) бойындағы желдің жылдамдығы

$$\vartheta_t = \vartheta \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

мұнда:  $\vartheta$  – пластинка қалақтың бетіне түсетін желдің жылдамдығы,  $F_{c_n}$  күшінің бойымен бағытталады;  $\vartheta_t$ – желдің  $F_{t_n}$  күшінің бойымен бағытталған желдің жылдамдығы, (3) формулаға сәйкес анықталады.

Пластинка қалақтың бетіне түсетін желдің шеңберлік күшінің қуаты:

$$N_{t_n} = F_{t_n} \cdot \vartheta_t;$$

(10) және (12) формулаларды ескергенде

$$N_{t_n} = 0,5 \cdot C \cdot p \cdot S_l \cdot V^3 \cdot \cos^2 \alpha \quad (13)$$

Желдің роторға беретін жалпы қуаты

$$N_p = z_l \cdot N_{t_n};$$

(13) формуланы ескергенде



$$N_p = 0,5 \cdot C \cdot p \cdot Z_n \cdot S_n \cdot V^3 \cdot \cos^2 \alpha \quad (14)$$

Ротордың қуаты пластинка қалақтың бетінің ауданына, қалақтар санына, қалақтың бетіне түсетін желдің жылдамдығының кубына тура пропорционал, ал пластинка қалақтың қиғашталу бұрышы үлкейген сайын косинус квадратының заңдылығымен кішірейеді.

Ротордың қалақтарының саны ступицаның диаметрі мен еніне тәуелді (8) формула).

Ротордың шеңберлік жылдамдығы:

$$V_p = \frac{N_p}{F_t};$$

(14) және (11) формулаларды ескергенде

$$V_p = \frac{0,5 \cdot C \cdot p \cdot Z_n \cdot S_n \cdot V^3 \cdot \cos^2 \alpha}{0,5 \cdot C \cdot p \cdot Z_n \cdot S_n \cdot V^2 \cdot \cos \alpha};$$

осыдан

$$V_p = V \cdot \cos \alpha. \quad (15)$$

Ротордың айналым саны

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{cp} \cdot n_p}{60};$$

осыдан

$$n_p = \frac{V_p \cdot 60}{\pi \cdot D_{cp}};$$

мұнда

$$D_{cp} = \frac{D_n + D_в}{2} \quad (16)$$

ротордың орташа диаметрі.

(15) және (16) теңдеулерді ескергенде

$$n_p = \frac{120 \cdot V \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot (D_n + D_в)}, \quad (17)$$

мұнда:  $D_n$  – ротордың цилиндр құрсауының ішкі диаметрі, м;  $D_в$  – ротордың ступицасының диаметрі, м.

Қиғашталған пластинка қалақтың бетінің ауданы:

$$S_n = l_{n1} \cdot h_n,$$

мұнда

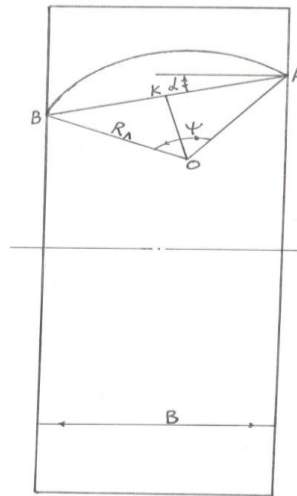
$$h_n = \frac{D_n - D_в}{2} \quad (18)$$

пластинка қалақтың ұзындығы.

Осыны және (4) формуланы ескергенде

$$S_n = \frac{B \cdot (D_n - D_в)}{2 \cdot \cos \alpha}. \quad (19)$$

Доға формаға иілген пластинка қалақты роторға пайдалану арқылы қалақтың бетінің ауданын үлкейтуге болады (3-сурет).



Сурет 3. Доға формалы иілген пластинка қалақты есептеу сұлбасы

Иілген пластинка қалақтың хордасы (AB) ротордың өсіне қиғашталып орналасады, ал ұзындығы жазық пластинка қалақтың еніне тең болады

$$AB = l_{n1}.$$

Доғаның (AB) хордасы (AB), радиусы ( $R_n$ ), центрі (O) теңбүйірлі үшбұрыш (ABO) құрады. Доғаның центрінен (O) хордаға (AB) перпендикуляр (OK) түсіріп, OKB тікбұрышты үшбұрыштан қалақтың иілу радиусын анықтауға болады:

$$\frac{BK}{OB} = \sin \frac{\psi}{2};$$

мұнда:  $BK = 0,5 \cdot AB = 0,5 \cdot l_{n1}$ ;  $OB = R_n$ ;

осыларды және (4) формуланы ескергенде

$$R_n = \frac{B}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \frac{\psi}{2}}. \quad (20)$$

Иілген пластинка қалақтың ұзындығы

$$l_{n2} = R_n \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180^\circ};$$

(20) формуланы ескергенде

$$l_{n2} = \frac{\pi \cdot B \cdot \psi}{360 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \frac{\psi}{2}}, \quad (21)$$

мұнда  $\psi$  – иілген пластинка қалақтың доғалық бұрышы.

Иілген және жазық пластинка қалақтардың ендерінің ұзындықтарының қатынасы келесідей болады

$$\frac{l_{n2}}{l_{n1}} = \frac{\pi \cdot \psi}{360 \cdot \sin \frac{\psi}{2}};$$

немесе

$$\frac{l_{n2}}{l_{n1}} = 0,00872 \cdot \frac{\psi}{\sin \frac{\psi}{2}}. \quad (22)$$

Иілген пластинка қалақтың доғалық бұрышы  $\psi=180^0$  болғанда, центрі (O) хорданың (AB) ортасына көшеді де, доға жарты шеңберге, ал қалақ жарты цилиндр формаға келеді. Сол кездегі иілген пластинка қалақ бетінің өсуі жоғарғы шегіне жетеді және жазық пластинка қалақпен салыстырғанда келесідей болады:

$$\frac{l_{l_2}}{l_{l_1}} = 0,00872 \cdot \frac{180}{\sin \frac{180}{2}} = 1,57;$$

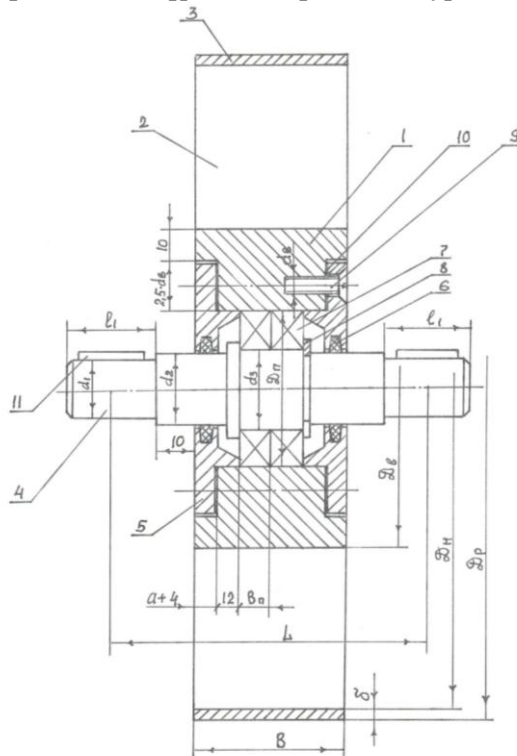
осыдан

$$l_{l_2} = 1,57 \cdot l_{l_1}. \quad (23)$$

Жарты цилиндр формаға иілген пластинка қалақтың бетінің ауданы жазық пластинка қалақтың бетінің ауданынан 57% үлкен болады екен. Сондықтан роторға жарты цилиндр формалы пластинка қалақ ұсынылады. Жарты цилиндр формалы қалақтың енінің ұзындығы (4) және (23) формулаларды ескергенде келесідей болады.

$$l_{l_2} = 1,57 \cdot \frac{B}{\cos \alpha}. \quad (24)$$

Ротордың ұсынылған құрамдық сұлбасы 4-суретте көрсетілді.



Сурет 4. Ротордың құрамдық сұлбасы

Ол ступицадан (1), пластинка қалақтардан (2), цилиндр құрсаудан (3), өстен (4), екі подшипник қақпақтарынан (5), екі тығыннан (6), екі шарикті радиальды подшипниктерден (7), тіреу шайбадан (8), 12 винттерден (9), прокладкалардан (10) және екі призма шпонкалардан (11) тұрады.

Подшипниктер (7) өске (4) қозғалмайтын қосылыспен отырғызылған және тіреу шайбамен (8) тұрақтатылған. Подшипниктер (7) ступицаның (1) орталық тесігіне жылжитын қосылыспен отырғызылады.

Ступицаның (1) орталық тесігі екі жағынан подшипник қақпақтарымен (5) жабылады және винттермен (9) ступицаға (1) бекітіледі. Подшипник қақпақтарының (5) ішіне киіз тығындар (6) орналасқан. Киіз тығындар (6) өске тығыздалып отырады, сондықтан іштегі майды сыртқа жібермейді, әрі сырттан ішке шаң кіргізбейді.

Подшипник қақпақтырының (5) ступицаға (1) отыруы прокладкалармен (10) реттеледі. Қалақтар (2) ступица (1) мен цилиндр құрсауға (3) пісіріліп бекітіледі. Өстің (4) шеткі ұштарына призма шпонкалар (11) кигізілген.

Ротор өстің (4) шпонкалы (11) ұштарымен бір жағымен статордың ступицасына қозғалмайтын қосылыспен отырады, ал екінші жағымен түзеткіштің ступицасына жылжитын қосылыспен отырады. Ротор өсте (4) еркін айналады.

Ротордың ені (B) құрамдық схема бойынша

$$B = 2 \cdot B_n + 2 \cdot (a + 4) + 24, \quad (25)$$

мұнда:  $B_n$  – подшипниктің ені, мм;  $a$  – киіз тығынның қалыңдығы, мм.

Ступицаның сыртқы ( $D_e$ ) және ішкі ( $D_n$ ) диаметрлері, ротордың құрамдалу схемасы бойынша

$$D_e = D_n + 5 \cdot d_e + 20, \quad (26)$$

мұнда:  $D_n$  – подшипниктің сыртқы диаметрі, ступицаның ішкі диаметрі, мм;  $d_e = 6 \div 10$  мм – винттің диаметрі.

Цилиндр құрсаудың (3) ішкі диаметрі

$$D_H = D_e + 2 \cdot h_l, \quad (27)$$

мұнда:  $D_e$  – ступицаның сыртқы диаметр, мм;  $h_l$  – пластинка қалақтың ұзындығы, мм.

Роторға қойылатын пластинка қалақтың бетінің ауданы бойынша оның ұзындығы анықталады

$$h_l = \frac{S_l}{\ell_l}, \quad (28)$$

мұнда:  $S_l$  – пластинка қалақтың бетінің қажетті ауданы, м<sup>2</sup>;  $\ell_l$  – пластинка қалақтың ені ( $\ell_{l1}$  немесе  $\ell_{l2}$ ) м.

Ротордың диаметрі цилиндр құрсаудың (3) сыртқы диаметріне тең

$$D_p = D_H + 2 \cdot \delta, \quad (29)$$

мұнда  $\delta$  – цилиндр құрсаудың қабырғасының қалыңдығы ( $\delta = 2,5$  мм).

Өстің (4) шпонкалы ұштарының ұзындығы

$$\ell_l = (1,2 \div 1,5) \cdot d_l, \quad (30)$$

мұнда:  $\ell_l$  – өстің шеткі ұшының ұзындығы, мм;  $d_l$  – өстің шеткі ұшының диаметрі, мм.

Роторға подшипникті өстің диаметрі ( $d_3$ ) бойынша таңдайды. Өстің диаметрін ( $d_3$ ) илуге беріктік шартынан анықтайды [5]:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{0,1 \cdot d^3} \leq [\sigma]u;$$

осыдан

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0,1 \cdot [\sigma]u}}, \quad (31)$$

мұнда:  $M_u$  – өстің қимасындағы үлкен иіу моменті, н·мм;  $[\sigma]_u$  – өстің материалының иілуге шекті кернеуі, н/мм<sup>2</sup>;  $d = d_3$  – өстің подшипник отыратын диаметрі, мм.

Ротор қуат алатын құрылымның дискісін айналдырады. Сондықтан ротордан өске шеңберлік күш әсер етеді:

$$F_t = \frac{D_p}{2} = \frac{30 \cdot N_p}{\pi \cdot n_p};$$

осыдан

$$F_t = \frac{60 \cdot N_p}{\pi \cdot D_p \cdot n_p}, \quad (32)$$

мұнда:  $N_p$  – ротордың қуаты, Вт;  $D_p$  – ротордың диаметрі, м;  $n_p$  – ротордың айналым саны, айн/мин;  $F_t$  – шеңберлік күш, Н.

Қуат алатын құрылымның фрикциялы берілісінің қысым күші

$$F_n = \frac{F_t}{f}, \quad (33)$$

мұнда:  $f$  – ротор мен дискінің арасындағы үйкеліс коэффициенті;  $F_t$  – ротордың шеңберлік күші, Н.

Ротор арқылы өске түсетін жалпы радиальды күш

$$F = F_n + G_p, \quad (34)$$

мұнда  $G_p$  – ротордың ауырлық күші.

Ротордың өсіне түсетін толық күш

$$F_R = \sqrt{F_t^2 + F^2}. \quad (35)$$

Осы күш ( $F_R$ ) ротордың өсін иеді, оның иіу моменті

$$M_u = F_R \cdot \frac{L}{2}, \quad (36)$$

мұнда:  $L=B+l_l+20$  мм – ротордың өсінің ұштарының ортасының арақашықтығы;  $B$  – ротордың ені, мм;  $l_l$  – өстің ұшының ұзындығы, мм.

Ротордың массасы оның құрамдық элементтерінің массаларының қосындысына тең.

Ұсынылған әдістеме желтурбинаның басты тетігі роторды құруға мүмкіндік береді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фолькер, К. Системы возобновляемых источников энергии [Текст] / К. Фолькер; Перевод с немецкого. – Астана: Фолиант, 2013 – 432 с.
2. Тлеуов, А.Х. Нетрадиционные источники энергии [Текст] / А.Х. Тлеуов. – Астана: Фолиант, 2009. – 248 с.
3. Мавлюдов, Ф.П. Энергетикалық турбиналар негізінде желтурбина құру [Мәтін] / Ф.П. Мавлюдов, Б.А. Қойайдаров // «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы білім және ғылым» тақырыбындағы республикалық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары, 12 сәуір 2018 ж. – Тараз: тараз университеті, 2018. – Б. 22-25.
4. Мавлюдов, Ф.П. Бу-ауа турбиналары негізінде желқозғалтқыш құру [Мәтін] / Ф.П. Мавлюдов / Магистрлік диссертация – Тараз: ТарМУ, 2018. – 79 б.
5. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин [Текст]: справочник / И.А. Биргер [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

Материал редакцияға 14.12.18 түсті.

**Б.А. Қойайдаров, Ә.Б. Жақсылықов, Е.Ғ. Шәріп**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан*

### СИНТЕЗ РОТОРА ВЕТРОТУРБИНЫ

Описана разработанная методика синтеза ротора ветротурбины мини ветрогенератора, работающего в автономном режиме.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, ветротурбина, ротор, пластинка, лопасть, ступица, обод, ось.

**B.A. Koyaydarov, A.B. Zhaksylykov, E.G. Sharip**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz, Kazakhstan*

### WIND TURBINE ROTOR SYNTHESIS

A method for the synthesis of a wind turbine mini wind turbine, operating autonomously, has been developed.

**Keywords:** wind generator. Wind turbine, rotor, plate, blade, hub, rim, axle.

УДК 539.4.014:629.7.023

**М.Т. Кейкиманова<sup>1</sup>, С.Ш. Егембердиева<sup>2</sup>, Д.С. Узбекова<sup>3</sup>, А.Б. Исламхан<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>Канд.техн. наук., доцент, <sup>2</sup>Канд. физ.-мат. наук, доцент,*

*<sup>3</sup>Ст. преподаватель, <sup>4</sup>Студент*

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан*

### ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО НЕФТЕПРОВОДА ИЗ ВЯЗКОУПРУГОГО МАТЕРИАЛА

В работе рассмотрена одна из острейших проблем современной логистики – разработка надежных и долговечных трубопроводов из композиционных материалов, предназначенных для транспортировки нефтегазопродуктов и других агрессивных сред. Конечно-разностным методом исследовано напряженное состояние подземного нефтепровода из вязкоупругого ортотропного материала. Определены ядра ползучести в различных направлениях. По полученной программе вычисления расчета подземного нефтепровода из вязкоупругого ортотропного материала варьировано: параметры ядер ползучести, внешнее и внутреннее напряжение на трубу, эффективные характеристики компонентов материала трубы, геометрические размеры, количество слоев и угол армирования трубы, коэффициент линейного расширения, динамическая вязкость нефти, внешние и внутренние силы воздействия трубы и характеристики грунта.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние (НДС), композиционные материалы, вязкоупругий ортотропный материал, подземный нефтепровод.

**Введение.** Для надежности транспортировки жидких сред требуются коррозионно-стойкие и прочные трубы. Для их эффективного использования при подземной укладке необходимо определение НДС трубы с учетом воздействия температуры, грунта, жидких сред, а также на основе компонентов материала. Композиционный материал из которого изготавливаются трубы относится к сложной механической системе. Основная проблема при решении задач моделирования механических свойств гетерогенной среды состоит в определении условий процедуры осреднения корректной с точки зрения прогнозирования эффективных свойств идеализированной среды на основании данных о механических свойствах и геометрических характеристиках компонентов реальной среды. В связи с этим численное исследование оценки влияния упругих свойств материала на НДС подземного нефтепровода имеет важное прикладное значение и является актуальной.

Подземные трубопроводы работают в условиях сложного напряженного состояния. Применение композиционных материалов при создании труб для транспортировки нефти предполагает знание эксплуатации, а именно, учет реологических свойств данных материалов [2]. Известно [2], что реологические процессы, происходящие в материале трубы, могут значительно влиять на картину НДС трубопровода, что необходимо учитывать при проектировании трубопровода.

В данной работе рассчитывается подземный нефтепровод из вязкоупругого ортотропного материала. Имеем дифференциальные уравнения

$$\begin{cases} E_{11}^*(t) \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{G_{12}(t)}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi^2} + \frac{E_{11}^*}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{E_{22}^*(t)}{r^2} u_r + \\ + \frac{E_{12}^*(t) + G_{12}(t)}{r} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi \partial r} - \frac{E_{22}^*(t) + G_{12}(t)}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} = 0 \\ G_{12}(t) \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial r^2} + \frac{E_{22}^*(t)}{r^2} \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{G_{12}(t)}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{G_{12}(t)}{r^2} u_\varphi + \\ + \frac{E_{22}^*(t) + G_{12}(t)}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{E_{12}^*(t) + G_{12}(t)}{r} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi \partial r} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

И граничные условия:

при  $r = r_1$  [2]:

$$\begin{cases} E_{11}^*(t) \frac{\partial u_r}{\partial r} + E_{12}^*(t) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} \right) = f(\varphi) \\ \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

при  $r = r_n$  :

$$\begin{cases} E_{11}^*(t) \frac{\partial u_r}{\partial r} + E_{12}^*(t) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} \right) = \psi(\varphi) \\ \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned}
E_{11} &= \frac{k_1(t)}{K(t)}, E_{12} = \frac{k_2(t)}{K(t)}, E_{13} = \frac{k_3(t)}{K(t)}, E_{22} = \frac{k_4(t)}{K(t)}, E_{23} = \frac{k_5(t)}{K(t)}, E_{33} = \frac{k_6(t)}{K(t)} \\
k_1(t) &= \frac{\left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right) \nu_{23}^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right)^2}{E_2 E_3 E_3^2}; \\
k_2(t) &= \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right) \left[ \frac{\nu_{12} \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right)}{E_2 E_3} + \frac{\nu_{23} \nu_{13} \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right)}{E_3^2} \right]; \\
k_3(t) &= \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \frac{\nu_{13} \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right) + \nu_{12} \nu_{23} \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right)}{E_2 E_3}; \\
k_4(t) &= \frac{\left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right)}{E_1 E_3} - \left(\frac{\nu_{13}}{E_3}\right)^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right); \\
k_5(t) &= \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left[ \frac{\nu_{23}}{E_1 E_3} \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right) + \frac{\nu_{12} \nu_{13}}{E_2 E_3} \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \right]; \\
k_6(t) &= \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \left[ \frac{\left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right)}{E_1 E_2} - \left(\frac{\nu_{12}}{E_2}\right)^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \right]; \\
K(t) &= \frac{\left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right)}{E_1 E_2 E_3} - \\
&\quad - \frac{2\nu_{12} \nu_{13} \nu_{23} \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right)}{E_2 E_3^2} - \\
&\quad - \frac{\nu_{12}^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right)}{E_3 E_2^2} - \\
&\quad - \frac{\nu_{13}^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_\varphi(t-\tau) d\tau\right)}{E_2 E_3^2} - \\
&\quad - \frac{\nu_{23}^2 \left(1 + \int_0^t \Gamma_r(t-\tau) d\tau\right) \left(1 + \int_0^t \Gamma_z(t-\tau) d\tau\right)}{E_1 E_3^2}
\end{aligned}$$



Организуем решение поставленной задачи следующим образом:

- 1) Определяем коэффициенты дифференциальных уравнений системы (1) в начальный момент времени;
- 2) Определяем перемещения в трубе, используя разностные операторы и схему расщепления, построенные в работе [3], считая упругие постоянные фиксированными;
- 3) Значения перемещений подставляем в аппроксимированные уравнения Коши (уравнения связи деформаций и перемещений) и определяем деформации в трубе в данный момент времени;
- 4) Увеличиваем шаг времени на единицу и повторяем п. 1), 2) и 3) до тех пор, пока не будет выполнено равенство  $\varepsilon_{ij}^t - \varepsilon_{ij}^{t-1} = \theta$  ( $\theta$  – некоторая малая величина).

В качестве ядра ползучести примем функцию влияния [4]:

$$\Gamma(t-\tau) = \frac{\exp(-\beta(t-\tau))}{t-\tau} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[k\lambda\Gamma(\alpha)]^n (t-\tau)^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)} \quad (4)$$

где  $\alpha, \beta, \kappa, \lambda$  – параметры материала.

С учетом направления:

$$\begin{aligned} \Gamma_r(t-\tau) &= \frac{\exp(-\beta(t-\tau))}{t-\tau} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[k\lambda_r\Gamma(\alpha)]^n (t-\tau)^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)} \\ \Gamma_\varphi(t-\tau) &= \frac{\exp(-\beta(t-\tau))}{t-\tau} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[k\lambda_\varphi\Gamma(\alpha)]^n (t-\tau)^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)} \\ \Gamma_z(t-\tau) &= \frac{\exp(-\beta(t-\tau))}{t-\tau} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[k\lambda_z\Gamma(\alpha)]^n (t-\tau)^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)} \end{aligned} \quad (5)$$

Подберем параметры ядер (5). В работе [5] получены следующие данные о релаксации напряжений в полиамиде П12 (рис.1).

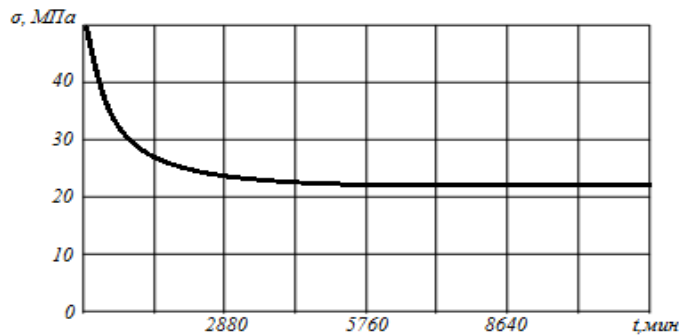


Рис. 1. Релаксация напряжения при растяжении П-12 при  $\varepsilon=10,8\%$  и  $T=293$  К

Обратим ядра ползучести (5) в ядра релаксации с помощью обратного преобразования Лапласа. Получим:

$$\begin{aligned} R_r(t-\tau) &= \frac{k\lambda_r \exp(-\beta(t-\tau))}{(t-\tau)^{1-\alpha}} \\ R_\varphi(t-\tau) &= \frac{k\lambda_\varphi \exp(-\beta(t-\tau))}{(t-\tau)^{1-\alpha}} \end{aligned} \quad (6)$$

$$R_z(t - \tau) = \frac{k\lambda_z \exp(-\beta(t - \tau))}{(t - \tau)^{-\alpha}}$$

Фиксируя значения  $k$  и  $\alpha$ , и изменяя значения  $\lambda_r$  (полиамид испытан при растяжении) и  $\beta$ , определим параметры ядер релаксации (5) и, тем самым, параметры ядер ползучести (6). По рисунку начальное напряжение составляет 48 МПа. Примем  $\alpha=0,1$  и  $k=0,5$ . Составляя программу для вариации параметров ядра релаксации в системе MAPLE, получим следующие данные для параметров ядра  $\beta = 0,003$ ,  $\lambda_r = 0,052$  и кривую релаксации напряжения (рис. 2).

Очевидно, что графики 1 и 2 практически одинаковы. Таким образом, для полиамида П-12 принимаем параметры ядра релаксации  $\alpha=0,1$ ,  $k=0,5$ ,  $\beta = 0,003$  и  $\lambda_r = 0,052$ . Те же параметры будут и для функции влияния (5). Для остальных направлений примем примерные значения параметра  $\lambda_i$  (вследствие отсутствия опытных данных):  $\lambda_r = 0,048$ ,  $\lambda_z = 0,06$ .

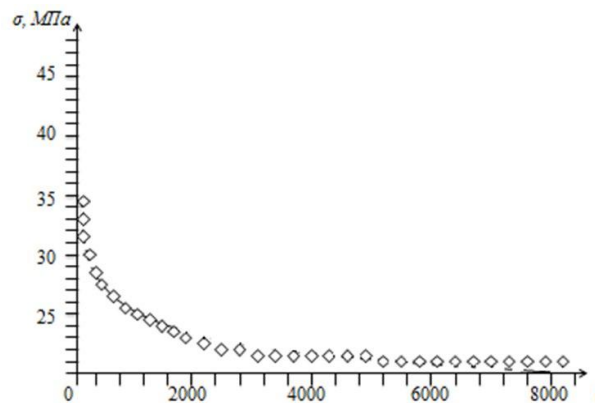


Рис. 2. Релаксация напряжений, построенная с использованием ядра (17) с параметрами  $\alpha=0,1$ ,  $k=0,5$ ,  $\beta=0,0003$ ,  $\lambda_r=0,052$

Схема расщепления [4] реализуется скалярными прогонами. Пользуемся безразмерными величинами. Для расчета использован алгоритмический язык FortranPowerStation 4.0. Программа состоит из двух частей. В первой части определяются вязкоупругие постоянные системы (1) с использованием радио ползучести (6), во второй – определяются перемещение каждой точки сетки и деформации. Вторая часть содержится в первой и каждая часть численного решения задачи оформлена в виде цикла повторения до выполнения условия сходимости. После этого выполняется проверка, путем подстановки найденного значения функции в исходное уравнение и проверка граничных условий. Сетка задана постоянными  $N_1=10$ ,  $N_2=20$ ,  $\tau=0,0001$ , в результате в сечении трубы задана 230 точек, с которых будет находиться решения.

Точность сходимости принята  $\varepsilon=0,000000000001$ , размеры трубы  $r_1=0,71$ ,  $r_n=0,74$  упругие составляющие материалы трубы

$$E_1 = 1,9, E_2 = 1,2, E_3 = 0,45, \nu_{12} = 0,35, \nu_{13} = 0,16, \nu_{23} = 0,11, G_{12} = 0,23.$$

$$h_{cp} = 1,5, \xi = 0,5, \gamma_{cm} = 1,7E - 11, Q = 0,000075, W = 0,000040.$$

Параметры ядер ползучести  $\alpha = 0,1$ ,  $\kappa = 0,5$ ,  $\beta = 0,003$ ,  $\lambda_1 = 0,052$ ,  $\lambda_\varphi = 0,048$ ,  $\lambda_2 = 0,06$ . На рисунках 3-5 показаны кривые ползучести сечения трубы.

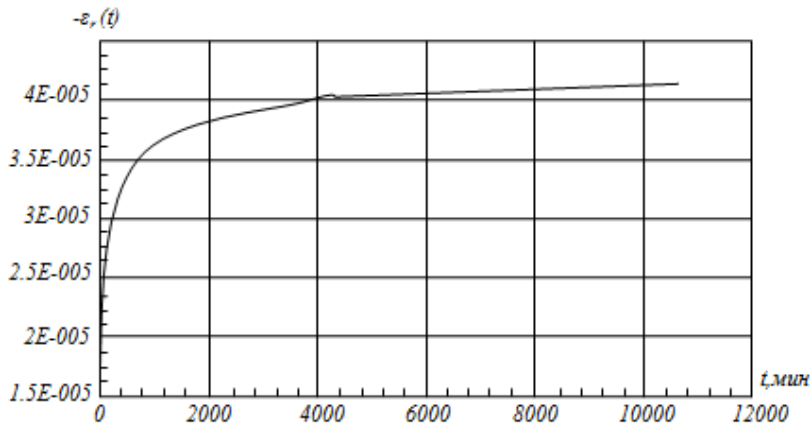


Рис. 3. Изменение радиальной деформации во времени в точке сетки с узлами  $j=15, k=5$

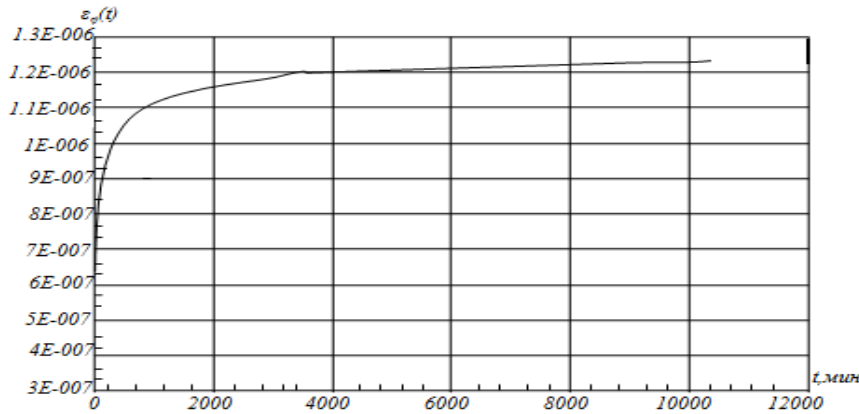


Рис. 4. Изменение окружной деформации во времени в точке сетки с узлами  $j=15, k=5$

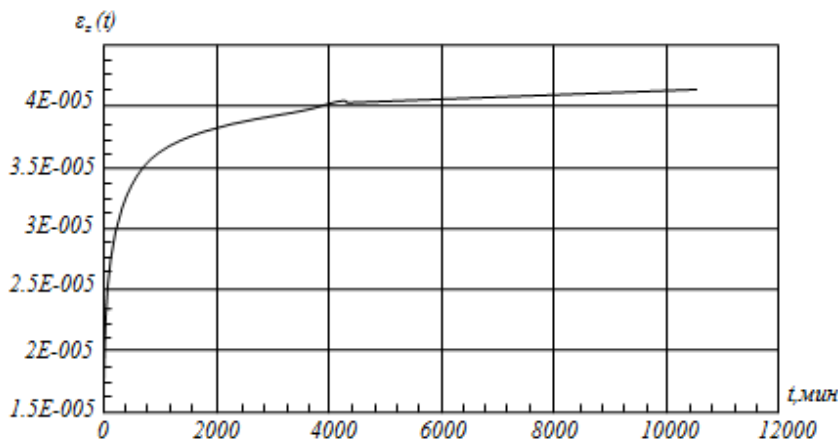


Рис. 5. Изменение осевой деформации во времени в точке сетки с узлами  $j=15, k=5$

**Заключение.** Полученная программа вычисления расчета подземного нефтепровода из вязкоупругого ортотропного материала позволяет варьировать: параметры ядер ползучести, внешнее и внутреннее напряжение на трубу, эффективные характеристики компонентов материала трубы, геометрические размеры, количество слоев и угол армирования трубы, коэффициент линейного расширения, динамическую вязкость нефти, внешние и внутренние силы воздействия трубы и характеристики грунта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кейкиманова, М.Т. Упругие свойства материалов подземного трубопровода [Текст]: монография / М.Т. Кейкиманова. – Тараз: Тараз университеті, 2015. – 127 с.
2. Думбадзе, А.А. Релаксационные свойства полимерных материалов и оценка работоспособности пластиковых трубопроводов с учетом влияния окружающей среды [Текст]: Препринт / А.А. Думбадзе, Ю.П. Зезин. – Тбилиси, 1993. – 7 с.
3. Джунибеков, Т.М. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния подземной трубы для транспортировки нефти [Текст] / Т.М. Джунибеков, О.В. Андрищенко // Вычислительные технологии, т.9, Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия математика, механика, информатика. – 2004. – №3(42). – С.176-182.
4. Регей, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел [Текст] / В.Р. Регей, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
5. Джунибеков, Т.М. Релаксация напряжений в вязкоупругих материалах [Текст] / Т.М. Джунибеков, В.Н. Кестельман, Н.И. Малинин. – Алматы: Ғылым, 1998. – 308 с.

*Материал поступил в редакцию 12.12.18.*

**М.Т. Кейкиманова, С.Ш. Егембердиева, Д.С. Узбекова, А.Б. Исламхан**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ, Қазақстан*

#### **ТҮТҚЫРСЕРПІМДІ МАТЕРИАЛДАН ЖАСАЛҒАН ЖЕРАСТЫ МҰНАЙ ҚҰБЫРЫНЫҢ КЕРНЕУЛІ КҮЙЛЕРІН ЗЕРТТЕУДІҢ САНДЫҚ ӘДІСТЕРІ**

Жұмыста қазіргі заманғы өзекті логистикалық мәселенің бірі - композициялық материалдардан жасалған мұнай және газ өнімдері мен әртүрлі агрессивтік орталарды тасымалдауға арналған сенімді әрі берік құбырлар дайындау қарастырылған. Тұтқырлысерпімді ортотропты материалдан жасалған жер асты мұнай құбырының кернеулі күйі шекті айырымды әдіспен зерттелген. Әртүрлі бағытта жылжу ядросының параметрлері анықталған. Құбырдың жылжу қисықтары алынған. Алынған тұтқырсерпімді ортотропты материалдан жасалған жер асты мұнай тасымалдаушы құбырларының есептеу бағдарламасы бойынша анықталады: ядролардың жылжу параметрлері, құбырдың сыртқы және ішкі кернеуінің құбыр материалының тиімді сипаттамаларының компоненттері, геометриялық өлшемдері, қабаттар саны және құбырдың арматуралау

бұрышы, сызықтық кеңею коэффициенті, мұнайдың динамикалық тұтқырлығы, құбырдың сыртқы және ішкі әсер ету күштері мен топырақ сипаттамалары.

**Тірек сөздер:** кернеулі-деформацияланған күй (КДК), композиттік материалдар, тұтқырлысерпімді ортотропты материал, жер асты мұнай құбыры.

**M.T. Keikimanova, S.Zh. Egemberdieva, D.S. Uzbekova, A.B. Islamkhan**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati. Taraz, Kazakhstan*

### NUMERICAL METHODS FOR INVESTIGATION OF THE STRESS STATE OF AN UNDERGROUND PIPELINE MADE OF A VISCOELASTIC MATERIAL

One of the most acute problems of modern logistics is the development of reliable and durable pipelines made of composite materials intended for the transportation of oil and gas products and other aggressive environments. The stress state of the underground oil pipeline made of viscoelastic orthotropic material is investigated by finite-difference method. Identified core creep in different directions. On the program of calculation of calculation of underground pipeline made of a viscoelastic orthotropic material variation: parameters of the kernels of creep, external and internal stress on the pipe, the effective components of the pipe material, geometrical dimensions, number of layers and angle of the reinforcement pipes, linear expansion coefficient, dynamic viscosity of oil, the external and internal force of pipe and soil.

**Keywords:** the stress-strain condition (SSC), composite materials, viscoelastic orthotropic material, underground pipeline.

УДК 621.791.927.55

**К.И. Ильясов<sup>1</sup>, Г.Т. Калымбекова<sup>2</sup>, Д.Х. Бабаева<sup>3</sup>**

*Канд. техн. наук, доцент, Магистр землеустройства, <sup>3</sup>Студент  
Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ КОПИРОВАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМАТРОНА

Разработана схема копировального устройства, получена аналитическая связь его геометрических параметров с геометрическими параметрами защитного сопла плазматрона и геометрией профиля кулачка распределительного вала.

**Ключевые слова:** распределительный вал, плазменная наплавка, плазматрон, кулачки, вращатель, установки для наплавки, копировальное устройство.

Профиль кулачка распределительного вала представляет собой, замкнутую поверхность с изменяющейся по контуру кривизной. Сложность

наплавки такой поверхности заключается в том, что при вращении различные точки на её поверхности имеют разную линейную скорость, на вершине кулачка масса металла меньше массы цилиндрической части, а износ наблюдается в основном на вершине кулачка. По этим причинам предполагается, что при наплавке вершины кулачка и цилиндрической части изменяемыми параметрами технологического процесса будут ток наплавки, частота вращения и расход порошкового наплавочного материала. Важным условием является копирование - сохранение одинакового расстояния между плазматроном и поверхностью; в любой точке наплавляемого кулачка, это даст возможность контролировать, параметры технологического процесса, а также обеспечит эффективную газовую защиту сварочной ванны.

Промышленностью освоен выпуск, следующих плазменных наплавочных установок: УПН-302; УПН-303; УПН-602 [1]; УПНС-304; ОКС-11231-ГОСНИТИ [2]; УД-417 [3]. Установки типа УПН представляют собой комплект смонтированных на колонне узлов. Применение их и установок УПНС-304 для наплавки тел вращения связано с необходимостью приобретения вращателя. Установки УД-417 и ОКС-11231- ГОСНИТИ предназначены для восстановления цилиндрических деталей, первая - с помощью проволоки, вторая – с помощью порошкового присадочного материала. По техническим характеристикам установка ОКС- 11231-ГОСНИТИ в большей степени пригодна для наплавки распределительных валов. Однако непосредственно использовать её для этих целей не представляется возможным по следующим причинам: установка не имеет устройства, позволяющего наплавлять поверхности с изменяющейся по контуру кривизной. Поэтому создание универсальной установки для наплавки распределительных валов необходимо вести по пути разработки копировального приспособления к имеющемуся вращателю.

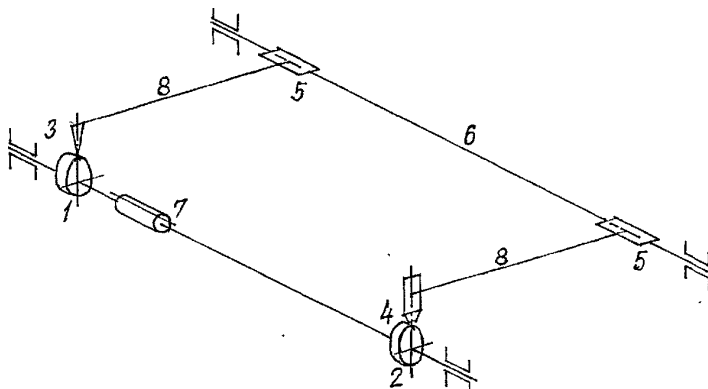
Данная работа посвящена обоснованию схемы копировального устройства и геометрических параметров плазматрона.

Для управления движением рабочих органов машин-автоматов применяют следующие устройства [4]: копиры, следящие приводы, числовые программные устройства, самонастраивающиеся системы. Системы управления машинами-автоматами реализуют определённые заранее разработанные программы с помощью различных устройств - механических, электрических, гидравлических, пневматических, электронных и комбинированных, используя при этом управление по параметру перемещения рабочих органов машин-автоматов или по параметру времени.

Кулачок распределительного вала в поперечном сечении представляет собой замкнутую поверхность с изменяющейся по контуру кривизной. Большая часть замкнутой поверхности представляет собой цилиндр, ось этого цилиндра является одновременно осью вращения для других кулачков и цилиндрических рабочих поверхностей распределительного вала. Совмещение поверхности изношенного кулачка по продольной оси и угловому расположению с эталонной поверхностью копира создаёт условие для применения разработанного нами механического копировального устройства (рис. 1), в котором управление движением плазматрона осуществляется шупом.

В копировальном устройстве копир 1 соосно соединён через муфту 7 с изношенным кулачком 2. Шуп 3, опираясь на поверхность копира 1 через каретки 5, установленные на направляющей 6, передаёт, при одновременном вращении копира и кулачка, качательное движение плазматрону 4. За счёт

согласованного вращения кулачка вместе с копиром и качательного движения щупа и плазмотрона, при условии равенства расстояний между осью щупа и осью направляющей с одной стороны, и осью плазмотрона и осью направляющей, с другой стороны, создаётся условие эквидистантного повторения плазмотроном профиля кулачка.



1 – копир; 2 – изношенный кулачок; 3 – щуп; 4 – плазмотрон; 5 – каретка; 6 – направляющая; 7 – муфта; 8 – штанга.

Рис. 1. Схема копирующего устройства наплавочной установки

В общем случае при плазменной наплавке плазмотрон находится над наплавляемой поверхностью на определённом расстоянии  $H$ , что обусловлено его конструктивными особенностями и технологическими параметрами наплавочного процесса. Известно [5], что это расстояние может изменяться в пределах 6-18 мм.

Исходя из сказанного выше, при копировании поверхности кулачка на предложенном устройстве, точка пересечения продольной оси плазмотрона с торцевой поверхностью защитного сопла плазмотрона должна находиться на расстоянии, обеспечивающем эффективную газовую защиту наплавляемой поверхности. Причём, в некоторых положениях плазмотрона наплавляемая поверхность кулачка будет находиться под углом  $\varphi$  к продольной оси плазмотрона и ось плазмотрона образует относительно вертикальной линии угол  $\gamma$  (рис. 2).

Угол  $\varphi$  при наплавке набегающей поверхности профиля кулачка определяется из выражения:

$$\varphi = \alpha + (\beta + \gamma) \quad (1)$$

где:  $\beta$  - угол поворота оси симметрии кулачка при наплавке относительно вертикальной оси;  $\alpha$  - угол между касательной к набегающей (сбегающей) поверхности профиля кулачка и воображаемой осью его симметрии.

Для сбегающей поверхности профиля кулачка угол  $\varphi$  определяется из выражения:

$$\varphi = \alpha + (\beta - \gamma) \quad (2)$$

Меньшее значение угла  $\varphi$ , образующегося при копировании сбегающей поверхности кулачка (2), накладывает ограничения на конструкцию нижней части анодного узла плазмотрона, в частности на диаметр  $d$  и угол конуса

защитного сопла. Наружный диаметр защитного сопла плазмотрона можно определить из рисунка 3, он должен быть меньше  $2r$ , где  $r$  - расстояние между продольной осью плазмотрона до наплавленной поверхности.

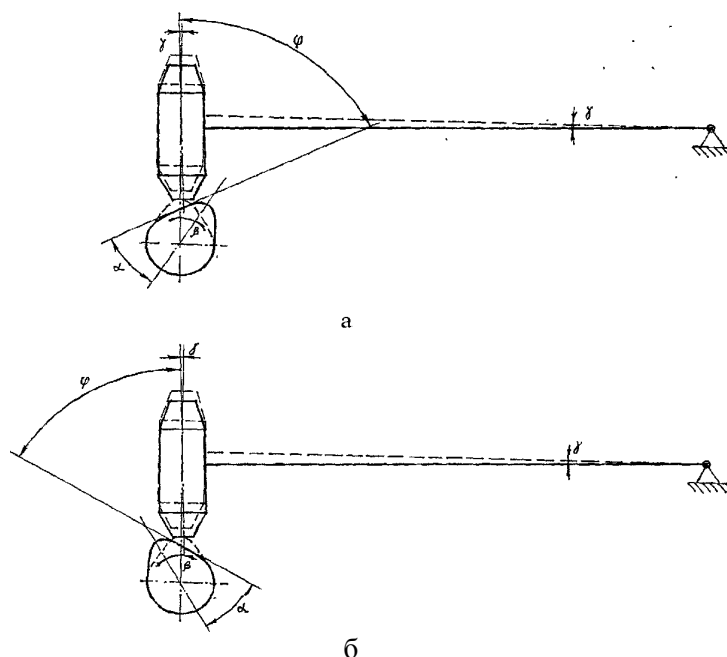


Рис. 2. Расположение плазмотрона при копировании набегающей (а) и сбегающей (б) поверхности кулачка

Необходимость меньшего значения чем  $2r$  для диаметра защитного сопла плазмотрона обусловлена требованием гарантированного отсутствия контакта защитного сопла плазмотрона с наплавляемой поверхностью. В противном случае произойдет замыкание электрической цепи и в плазмотроне возникнет несанкционированная «дежурная» дуга, процесс наплавки прервется. Создание зазора между соплом и наплавленной поверхностью в 2 мм и более создаст, по нашему мнению, надежное условие для предотвращения замыкания электрической цепи. На этом основании максимальное значение диаметра  $d$  сопла плазмотрона равно:

$$d = 2(r - 2) \quad (3)$$

Угол наклона образующей конуса защитного сопла плазмотрона, как видно из рисунка 3, может быть равен или меньше угла  $\varphi$ , образованного продольной осью плазмотрона и касательной к сбегающей поверхности кулачка в точке их пересечения.

Обозначенные выше ограничения на геометрические параметры защитного сопла необходимо учитывать при выборе плазмотрона или при его конструировании. Важным условием при этом остаётся обеспечение плазмотроном качественной газовой защиты зоны наплавки.



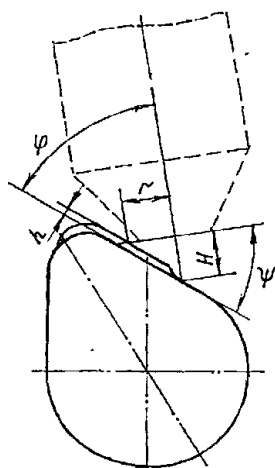


Рис. 3. Схема к расчёту диаметра защитного сопла плазмотрона

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, М.П. Сварочное оборудование, изготавливаемое предприятиями Министерства электротехнической промышленности [Текст] / М.П. Соколов. Части 4 и 5 // Сварочное производство. – 1988. – №7. – С.20-21.
2. Семёнов, А.П. Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии [Текст] / А.П. Семёнов, И.Б. Ковш, И.М. Петрова, А.Н. Шиповалов [и др.]. – М.: Наука, 1992. – 404 с.
3. Оборудование советского раздела выставки «Ремдеталь-88» [Текст]: каталог. – М.: Госагропром СССР, 1988. – 121 с.
4. Иосилевич, Г.Б. Прикладная механика [Текст]: для студентов вузов / Г.Б. Иосилевич, П.А. Лебедев, В.С. Стреляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 576 с.
5. Корнеев, Н.С. Плазменная наплавка в ремонтном: производстве [Текст] / Н.С. Корнеев, Б.С. Григорьев, А.Н. Шиповалов, Г.А. Храпков // Сварочное производство. – 1989. – № 1. – С. 21-22.

Материал поступил в редакцию 04.12.18.

**К.И. Ильясов, Г.Т. Калымбекова, Д.Х. Бабаева**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

**КӨШІРМЕ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ СҰЛБАСЫ МЕН  
ПЛАЗМОТРОННЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН  
НЕГІЗДЕУ**

Көшіру қондырғының сұлбасы жасалған, оның геометриялық параметрлері плазмотронның қорғауыш шүмегінің геометриялық параметрлерімен және бөлгіш біліктің жұдырықшалары пішінінің геометриясының арасындағы аналитикалық байланыс анықталған.

**Тірек сөздер:** бөлгіш білік, плазмамен құю, плазмотрон, жұдырықша, айналдырғыш, балқытып құятын қондырғы, көшіру қондырғысы.

**K.I. Piyasov, G.T. Kalimbekova, D.X. Babaeva**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz, Kazakhstan*

## **SUBSTANTIATION OF THE SCHEME OF THE COPYING DEVICE AND GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE PLASMATRON**

The scheme of the copying device is developed, the analytical connection of its geometrical parameters with the geometrical parameters of the protective nozzle of the plasmatron and the geometry of the Cam profile of the camshaft is obtained.

**Keywords:** camshaft, plasma welding, plasmatron, Cams, rotator, installation to welding, copier.

ӘОЖ 621.311.24

**Б.А. Қойайдаров<sup>1</sup>, А.А. Қойайдаров<sup>2</sup>, А.А. Абильдаев<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Техн. ғылымдарының канд., доцент, <sup>2</sup>Студент, <sup>3</sup>Магистр, аға оқытушы  
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

## **ЖЕЛТУРБИНАҒА СТАТОР ҚҰРАМДАУ**

Желтурбина статорына құрамдық элементтер таңдалып, оларды құру әдісі ұсынылған.

**Тірек сөздер:** желтурбина, ротор, статор, жел, қалақ.

Қазіргі кезде, әлемде, дәстүрлі (бензин, дизель) генераторлар сияқты автономды режимде жұмыс жасайтын шағын желгенераторлармен желдің қуатын пайдалануды жоғары деңгейге көтеруге болатыны жайында айтылуда.

Қазақстанда да автономды шағын желгенераторлармен жеке үйлерді, саяжайларды, жеке шаруашылықтарды, шаруа қожалықтарын жабдықтау арқылы желдің энергиясын жаппай пайдалануға көшуге болады. Бірақ, әзірге, тиімділігі анықталып, кең қолдану тапқан автономды кіші желгенераторлар нарыққа шықпаған.

Автономды кіші желгенераторлар жеке пайдалануға қолжетімді болу үшін құрылысы қарапайым, массагабаритті параметрлері оңтайлы және құны төмен болу керек. Сонымен қатар, жәй желден де қуат ала алатын және құрастырылатын болғаны тиімді, әсіресе көшпелі шаруашылықтарға.

Автономды кіші желгенератордың негізгі жұмысшы бөлігі - желқозғалтқыш. Сондықтан, мұндай желгенератордың қолжетімділігі желқозғалтқышына байланысты болады.

Қазіргі кезде жақсы дамыған қанатты желқозғалтқыштың құрылысы күрделі және құны жоғары болғандықтан, кіші желгенератор құруға пайдалану тиімсіз, ал құрылысы қарапайым, құны төмен қарсылық желқозғалтқыштардың белгілі түрлері нашар дамыған [1,2].

Осы себепті, кіші желгенераторлар құру үшін, алдымен, оларға оңтайлы желқозғалтқыштар дайындау керек.

Автономды кіші желгенератор құруға желтурбина ұсынылған [3,4]. Желтурбинаның жұмысшы бөлігі ротордан және статордан тұрады [4]. Ротор - желдің кинетикалық энергиясын өзінің айналмалы қозғалысының механикалық энергиясына өзгертеді. Статор - жел легін ротордың қалақтарына бөліп, бағыттап жіберіп тұрады. Сондықтан ротордың тиімді жұмыс жасауы статордың жұмысына байланысты болады.

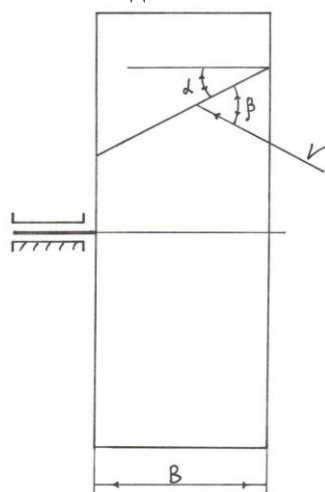
Статор желтурбинада келесі жұмыстарды орындайды:

- жел легін ротордың ступицасына жібермей қалақтарына бөлу;
- бөлінген жел лектерін ротордың қалақтарының бетіне бағыттап жіберу.

Ротордың қалақтары, желдің күші түсу үшін, оның өсіне қиғаш орналасады (1-сурет). Ротордың қалақтарының саны және диаметрі қалағының қиғаштық бұрышына ( $\alpha$ ) тәуелді. Қалақты  $40^\circ$  бұрышқа дейін қиғаштағанда ротордың қуатының өсетіні, ал одан үлкейгенде өсуі мардымсыз болатыны анықталған. Сондықтан, ротордың тік төртбұрышты пластинка қалақтарын  $40^\circ$  бұрышпен қиғаштау ұсынылған [4].

Ротордың қуаты оның қалақтарының бетіне жел легінің түсу бұрышына ( $\beta$ ) да тәуелді. Жалпы, жел легінің қалақтың бетіне түсу бұрышы ( $\beta$ ) келесі аралықта болу керек:  $\alpha < \beta < 90^\circ$ .

Жел легінің қалақтың бетіне түсу бұрышы  $\beta = 75^\circ$  болғанда ротордың қуаты максимум болатыны анықталған [4]. Жел легінің қалақтың бетіне түсу бұрышын ( $\beta$ ) статор қамтамасыз етеді.



$\alpha$  - қалақтың қиғашталу бұрышы;  $\beta$  - жел легінің қалақтың бетіне түсу бұрышы.

Сурет 1. Ротор қалағының орналасу сұлбасы

Статордың атқаратын жұмыстары оның құрамдық элементтерін анықтайды:

1) Ротордың ступицасының бетіне жел легі түспеу үшін статор оны жабады;

2) Ротордың ступицасының бетіне орналасқан қалақтарға жел легін жіберу үшін статор жел легінің көлденең қимасының ортасын қуыстап, құбыр пішінге келтіреді;

3) Құбыр пішінге келген жел легін статор бөліктерге бөліп, ротордың барлық қалақтарына бір уақытта жібереді;

4) Бөлінген жел лектерін статор бұрып, ротордың қалақтарының беттеріне белгілі бір бұрышпен ( $\beta$ ) түсіреді.

Ротордың ступицасының бетін жабуға және жел легін құбыр пішінге келтіруге конусты пайдалануға болады. Конустың үлкен түбі ротордың ступицасының бетін жабады, ал төбесі жел легінің өсіне орналасады. Жел легі конустың бетімен ағып, құбыр пішінге ауысып, ротордың қалақтарына бағытталады.

Конустың бетіндегі жел легін ротордың қалақтарына бөліп жіберу үшін конустың бетіне қалақтар орнатылады. Сонда жел легі қалақтардың араларына кіріп, бөлінеді.

Бөлінген жел лектерін ротордың қалақтарының беттеріне бір бұрышпен ( $\beta$ ) түсіру үшін конустың қалақтарының екінші бөлігін бұрып орналастырады.

Осылай құрамдалған статордың сұлбасы 2-суретте көрсетілген. Ол, ротордың ступицасын үлкен түп бетімен жабатын және жел легін құбыр пішінге ауыстыратын, конустан (1) және оның бетіне бекітілген қалақтардан (2) тұрады.

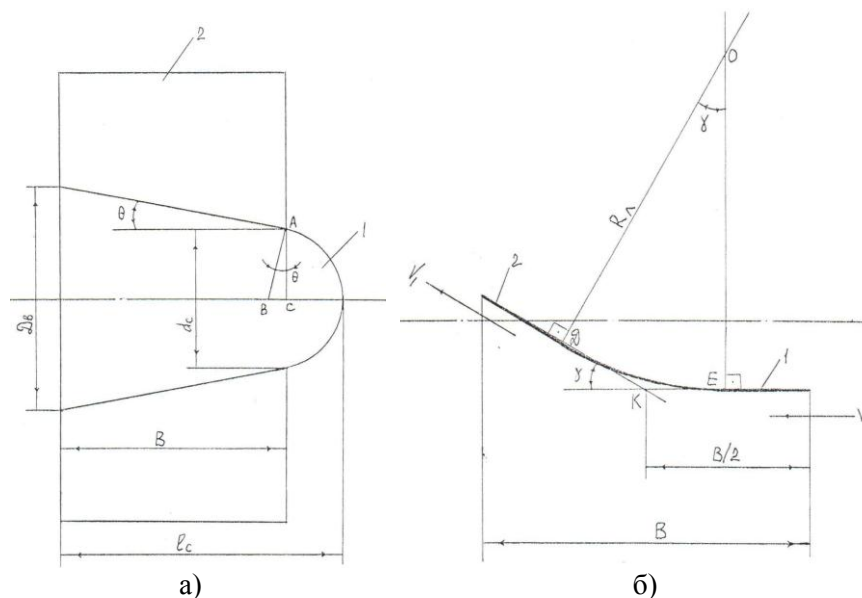
Статор ротордың алдына орналасады және қалақтары арқылы өзінің цилиндр корпусының (суретте көрсетілмеген) ішіне бекітіледі.

Жел легінің конустың бетіне ағып өтуін жеңілдету үшін конустың төбесі сфераланған. Сол үшін конустың бүйір беті кіші шеңберге шектеледі де, сфера бетпен жабылады.

Конустың формуласы [5]

$$\frac{D_s - d_c}{2 \cdot B} = \operatorname{tg} \theta, \quad (1)$$

мұнда:  $D_s$  – конустың түп бетінің диаметрі, ротордың ступицасының диаметріне тең;  $d_c$  – қиылған конустың кіші түбінің диаметрі;  $B$  – конустың биіктігі, ротордың еніне тең,  $\theta$  – конустың бұрышы.



а - статордың құрылымдық сұлбасы; б - статор қалағын формалау сұлбасы

Сурет 2. Статорды құрамдау сұлбасы

Конус желді тежемеу үшін бұрышы  $\theta \leq 20^0$  болу керек [6]. Осыны ескеріп (1) формуладан конустың кіші диаметрін анықтайды

$$d_c = D_e - 2 \cdot B \cdot \operatorname{tg} \theta. \quad (2)$$

Конустың бүйір қабырғасының сфераға жанама болу шартынан сфераның радиусы анықталады (2,а-сурет):

$A$  – конустың жасаушы сызығының төбе шеңберімен түйісу нүктесі;  $AB=R_c$  – сфераның радиусы;  $AB$  – конустың жасаушы сызығына перпендикуляр түзу;  $\angle A = \theta$  – сүйір бұрыш, конустың бұрышына тең;  $ABC$  – тік бұрышты үшбұрыш.

Тік бұрышты үшбұрыштан ( $ABC$ ):

$$\frac{AC}{BC} = \operatorname{Cos} \theta; \quad AB = R_c; \quad AC = \frac{d_c}{2};$$

осыдан

$$R_c = \frac{d_c}{2 \cdot \operatorname{Cos} \theta}; \quad (3)$$

$$\frac{BC}{AB} = \operatorname{Sin} \theta; \quad BC = AB \cdot \operatorname{Sin} \theta; \quad BC = R_c \cdot \operatorname{Sin} \theta;$$

(3) формуланы ескергенде

$$BC = \frac{d_c}{2 \cdot \operatorname{Cos} \theta} \cdot \operatorname{Sin} \theta; \quad (4)$$

$$BC = 0,5 \cdot d_c \cdot \operatorname{tg} \theta.$$

Конустың биіктігі (2,а-сурет):  $l_c = B + (R_c - BC)$ ;

(3) және (4) формулаларды ескергенде

$$l_c = B + \frac{d_c}{2 \cdot \operatorname{Cos} \theta} \cdot (1 - \operatorname{Sin} \theta). \quad (5)$$

Конустың бетіне орнатылған статор қалағы жел легін қабылдайтын (1) және оны бағыттайтын (2) бөліктерден тұрады (2,б-сурет).

Статор қалағының бағыттайтын бөлігінің (2) ротордың өсіне қиғашталу бұрышы ( $\beta > \alpha$  болғанда, 1 – сурет)

$$\gamma = \beta - \alpha. \quad (6)$$

Статордың қалағының жел легін қабылдайтын бөлігі (1) ротордың өсіне параллель болады.

Статордың қалағының бөліктерінің (1, 2) ұзындықтары (2,б-сурет):

$$l_1 = \frac{B}{2}; \quad (7)$$

$$l_2 = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{Cos} \gamma}, \quad (8)$$

мұнда:  $B$  – ротордың ені;  $\gamma$  – қалақтың бағыттайтын бөлігінің ротордың өсіне көлбеу бұрышы.

Жел легі статордың қалағына бірқалыпты ағып бұрылу үшін қалақтың бөліктері (1, 2) шеңбер доғасымен қосылады (2,б-сурет).

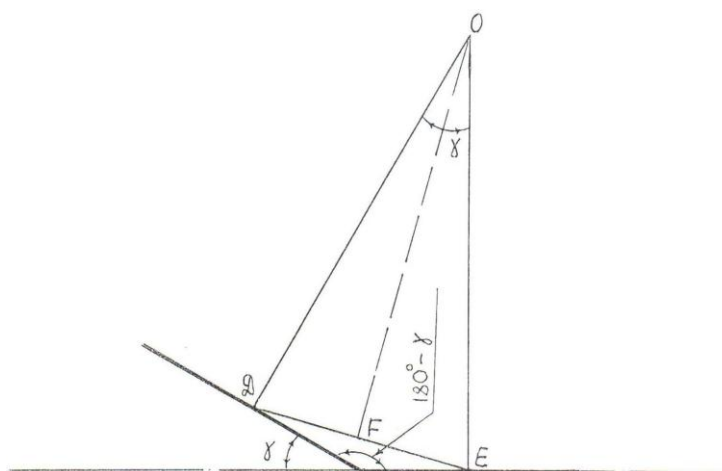
Қосатын шеңбердің доғасының радиусын есептеу сұлбасы 3-суретте келтірілді:

$DEO$  – теңбүйірлі үшбұрыш;

$$EK = \frac{l_1}{2} = \frac{B}{4} \text{ – қалақтың 1-ші бөлігінің жартысы;}$$

$$DK = \frac{l_1}{2} = \frac{B}{4} \text{ – қалақтың 2-ші бөлігіндегі } DK=EK \text{ кесіндісі;}$$

$$OE \perp EK; \quad OD \perp DK; \quad OD = OE = R_r.$$



Сурет 3. Статор қалағын есептеу сұлбасы

$DKE$  үшбұрышының  $DE$  қабырғасының ұзындығын косинус теоремасын пайдаланып анықтауға болады [5]:

$$DE^2 = DK^2 + EK^2 - 2 \cdot DK \cdot EK \cdot \cos(180^\circ - \gamma);$$

$$DE^2 = \frac{B^2}{16} + \frac{B^2}{16} + 2 \cdot \frac{B}{4} \cdot \frac{B}{4} \cdot \cos \gamma;$$

осыдан

$$DE^2 = \frac{B^2}{8} \cdot (1 + \cos \gamma);$$

сонда

$$DE = B \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}}. \quad (9)$$

$ODF$  тікбұрышты үшбұрышынан шеңбер доғасының радиусы анықталады (3-сурет):

$$OF \perp DE; \quad DF = 0,5 \cdot DE; \quad \frac{DF}{OD} = \cos\left(90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) = \sin \frac{\gamma}{2};$$

осыдан

$$OD = \frac{DF}{\sin \frac{\gamma}{2}}; \quad OD = R_n; \quad DF = \frac{DE}{2};$$

(9) формуланы ескергенде

$$DF = \frac{B}{2} \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}};$$

сонда

$$R_n = \frac{B \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}}}{2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}. \quad (10)$$

Статордың қалағының жалпы ұзындығы (2,б-сурет):

$$l_n = l_2 - DK + R_n \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{180^\circ} + \frac{B}{2};$$

мұнда

$$DK = \frac{B}{2};$$

сонда

$$l_n = l_2 + R_n \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{180^\circ};$$

(8) және (10) формулаларды ескергенде:

$$l_n = \frac{B}{2 \cdot \cos \gamma} + \frac{B \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}}}{2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}} \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{180^\circ};$$

$$l_n = \frac{B}{2 \cdot \cos \gamma} + \frac{B \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}}}{2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}} \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{180^\circ};$$

$$l_n = \frac{B}{2} \left( \frac{1}{\cos \gamma} + \frac{\sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{8}}}{\sin \frac{\gamma}{2}} \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \right). \quad (11)$$

Статордың қалағының конустың үлкен шеңберіндегі (түбіндегі) биіктігі ротордың қалағының биіктігіне тең болады [4]:

$$h_n = \frac{D_n - D_e}{2}, \quad (12)$$

мұнда:  $h_n$  – ротордың қалағының биіктігі;  $D_n$  – ротордың цилиндр құрсауының ішкі диаметрі;  $D_e$  – ротордың ступицасының сыртқы диаметрі.

Статордың қалағының конустың кіші шеңберіндегі (төбесіндегі) биіктігі (2,а-сурет):

$$H = h_n + \frac{D_e - d_c}{2};$$

(12) формуланы ескергенде:

$$H = \frac{D_n - D_6}{2} + \frac{D_6 - d_c}{2};$$

осыдан

$$H = 0,5 \cdot (D_n - d_c). \quad (13)$$

Статордың қалағының дайындамасы табаны  $l_n$ , биіктіктері  $h_n$ ,  $H$  трапеция пластинка. Қалақты қалыңдығы  $\delta=1,0\div 1,5$  мм болат (Ст3) листтен кесіп жасайды. Конусты да осындай болат листтен иіп жасайды.

Статордың корпусының ішкі диаметрі

$$D_{кв} = D_6 + 2 \cdot h_n;$$

(12) формуланы ескергенде

$$D_{кв} = D_6 + \frac{D_n - D_6}{2} \cdot 2;$$

осыдан

$$D_{кв} = D_n, \quad (14)$$

мұнда:  $D_n$  – ротордың цилиндр құрсауының ішкі диаметрі.

Статордың корпусының ұзындығы

$$L_k = B, \quad (15)$$

мұнда  $B$  – ротордың ені немесе статордың қалағының фронтальды ені.

Желтурбинаға статорды осы ұсынылған әдістемемен жобалауға болады. Ол үшін алдымен желтурбинаның роторы жобаланады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фолькер, К. Системы возобновляемых источников энергии [Текст] / К. Фолькер; Пер. с немецкого. – Астана: Фолиант, 2013.
2. Тлеуов, А.Х. Нетрадиционные источники энергии [Текст] / А.Х.Тлеуов. – Астана: Фолиант, 2009.
3. Мавлюдов, Ф.П. Энергетикалық турбиналар негізінде желтурбина құру [Мәтін] / Ф.П. Мавлюдов, Б.А. Койайдаров // «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы білім және ғылым» тақырыбындағы республикалық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары, 12 сәуір 2018 ж. – Тараз: Тараз университеті, 2018.
4. Мавлюдов, Ф.П. Бу ауа турбиналары негізінде желқозғалтқыш құру [Мәтін]: магистрлік диссертация / Ф.П. Мавлюдов. – Тараз: ТарМУ, 2018. – 125 б.
5. Фильчаков, П.Ф. Справочник по высшей математике [Текст] / П.Ф. Фильчаков. – Киев: Наукова Думка, 1974.
6. Мавлюдов, Ф.П. Желдөңгелектің конфузор қалағын тәжірибелік зерттеу [Мәтін] / Ф.П. Мавлюдов, М.А. Бейсекова, Б.А. Койайдаров // «Ұлы дала өркениеті» атты халықаралық конгресс материалдары. – Тараз, 2017. –Б. 262-267.

Материал редакцияға 27.11.18 түсті.



**Б.А. Қойайдаров, А.А. Қойайдаров, А.А. Абильдаев**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### **СИНТЕЗ СТАТОРА ДЛЯ ВЕТРОТУРБИНЫ**

Описана подборка структурных элементов статора ветротурбины и представлена разработанная методика проектирования.

**Ключевые слова:** ветротурбина, ротор, статор, ветер, лопасть.

**B.A. Koyaydarov, A.A. Koyaydarov, A.A. Abildayev**

*Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan*

### **SYNTHESIS OF STATOR FOR WIND TURBINE**

The structural elements of the wind turbine stator are elected and the design technique is developed.

**Keywords:** wind turbine, rotor, stator, wind, blade.

ӘӨЖ 621.311.24

**Б.А. Қойайдаров<sup>1</sup>, Н.Д. Абильдаева<sup>2</sup>, Н.Ж. Сапарова<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Техн. ғылымдарының канд., доцент, <sup>2</sup>Магистр, оқытушы  
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### **ЖЕЛТУРБИНА ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ ҚУАТ АЛАТЫН МЕХАНИЗІМІН ҚҰРУ**

Желтурбинаның роторынан генераторға қуат алатын фрикционды және белдікті берілісті механизмдер ұсынылған.

**Тірек сөздер:** желтурбина, ротор, корпус, генератор, рычаг, күш, дөңгелек, шкив, белдік.

Жылу электр станциялары сыртқы ортаға зиянды газдарды шығару арқылы экологиялық ахуалды нашарлатуда. Нәтижесінде климат өзгеріске түсіп, дауыл тұру жиілеп, қар жаумайтын жерлерге қар түсіп, жаңбыр толассыз жауып, су тасқыны орын алуда. Осыған байланысты, әлемде балама энергия көздеріне деген қызығушылық артуда.

Балама энергияға күн мен судың энергиясымен қатар желдің энергиясы жатады.

Қазақстандағы желдің энергетикалық әлеуеті қазір бүкіл еліміз болып тұтынып отырған барлық энергия мөлшерінен 10 есе артық [1]. Сондықтан Қазақстанда желдің энергиясын пайдаланудың болашағы үлкен. Бірақ, ол үшін, желден энергияны алатын қондырғылардың сенімді, тиімді түрлері болу керек.

Табиғат желі тұрақсыз. Жел барлық жерде жеткілікті күшпен соға бермейді. Сондықтан, жоғары қуатты желэлектр станциялары желі күшті әрі үзілмейтін жерлерге ғана тұрғызылады. Сол себепті, мұндай станциялар бүкіл елді электр энергиясымен қамтамасыз ете алмайды.

Осыған байланысты, қазіргі кезде, әлемде, автономды режимде жұмыс жасайтын шағын желгенераторларға қызығушылық артуда және ғылыми-зерттеу жұмыстар осы бағытта жүруде.

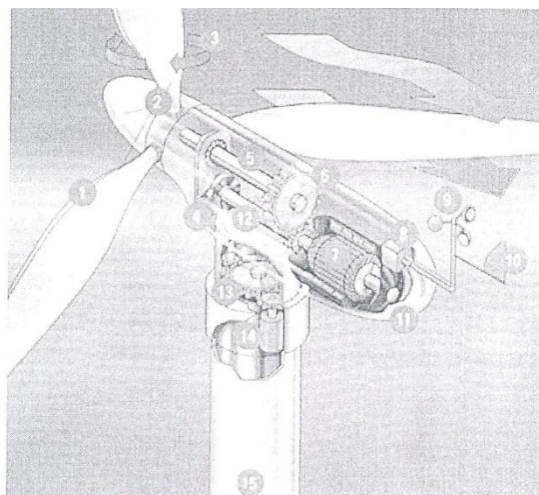
Желэнергетикалық қондырғының басты құрылғысы желқозғалтқыш. Желқозғалтқыш желдің кинетикалық энергиясын өзінің айналмалы қозғалысының механикалық энергиясына өзгертеді.

Қазіргі кезде жақсы дамыған және қолданысқа кеңінен кірген қанатты жел қозғалтқыштар [2,3]. Қуатты желэлектр стансалары осы желқозғалтқыштарға негізделген. Қанатты желқозғалтқыштың негізгі кемшіліктері құрылысы күрделі, құны жоғары және қалақтары ашық орналасқан. Сондықтан, қанатты желқозғалтқыштан шағын желгенератор құру тиімді болмайды, әрі бағасы да жоғары.

Бұл мәселеден шығу жолы шағын желгенарторларға тиімді болатын желқозғалтқыш құру. Осындай мақсатпен шағын желгенератор құруға желтурбина ұсынылды [4,5].

Бұл желтурбинаның артықшылықтары: роторы жабық қорапта орналасқан; жәй желді күшейтетін құрылыммен жабдықталған; күшейтілген жел роторға статордың көмегімен топталып, бағытталып барады; ротордың артында желді құйындатпайтын түзеткішпен жабдықталған; генератор желтурбинаның ішінен сыртына шығарылған. Осылардың арқасында ротордың габаритті өлшемдері кішірейеді, желтурбинаның құрылысы жеңілдейді.

Желэнергетикалық қондырғылардың желқозғалтқыштарының айналу жылдамдығы төмен болады. Сол себепті, желқозғалтқыш генератормен қосымша беріліс құрылыммен (мультипликатор) қосылады. Осыған байланысты желгенератордың құрылысы күрделенеді (1-сурет) [2,3].



Сурет 1. Қанатты желқозғалтқыш

Желтурбинаның құрылысын жеңілдету мақсатымен генераторды ротордың білігіне қоспай, желтурбинаның сыртына шығарып фрикционды немесе белдікті берілістің көмегімен роторға қосу ұсынылады.

Желэнергетикалық қондырғыда желтурбина горизонталь немесе тік орналасуы мүмкін.

Горизонталь желтурбинаның роторына генераторды цилиндр фрикционды беріліспен қосу сұлбасы 2-суретте көрсетілді. Бұл құрылым генератордан (1), жетектегі дөңгелектен (2), аралық (паразитті) дөңгелектен (3), екі тік плиткадан (4), рычагтан (5), тіректен (6), жүктен (7) және қоршаудан (8) тұрады.

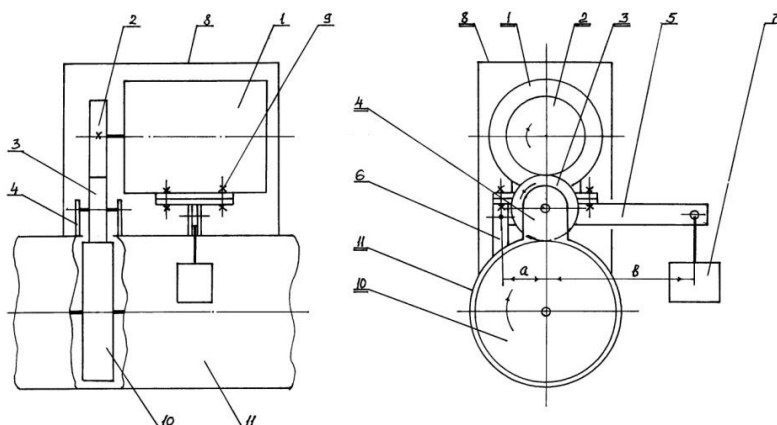
Плиткалар (4) және тірек (6) желтурбинаның корпусына (11) пісіріліп бекітіледі.

Жетектегі дөңгелек (2) генератордың (1) білігіне қозғалмайтын қосылыспен отырғызылады. Аралық дөңгелек (3) өсі арқылы екі плитканың (4) ойларына отырады.

Рычагтың (5) генератор (1) жақтағы ұшы тірекке (6) топсамен бекітіледі. Генератор (1) рычагтың (5) плиткасына болттармен (9) бекітіледі. Рычагтың (5) екінші ұшына күш беретін жүк (7) ілінеді.

Генератор (1) өзінің салмағымен және жүк (7) беретін күшпен жетектегі дөңгелекті (2) аралық дөңгелек (3) арқылы желтурбинаның роторына (10) қысады.

Аралық дөңгелек (3) генераторды (1) желтурбинаның корпусынан (11) көтеріп, астынан рычагты (5) өткізу үшін қарастырылған.



Сурет 2. Горизонталь желтрубинаға генераторды фрикционды беріліспен қосу сұлбасы

Фрикционды берілістің (10,3,2) беріліс қатынасына аралық дөңгелектің (3) әсері жоқ, сондықтан паразитті дөңгелек деп аталады.

Ротордан (10) генераторға (1) қуат беретін, желтурбинаның сыртына орналасқан құрылым қоршаумен (8) жабылады.

Желтурбинаның корпусының (11) бойына қоршау (8) бір жаңымен топсамен, ал екінші жаңымен винтпен бекітіледі. Сондықтан, оны винттен босатып, топсада айналдырып ашуға болады.

Фрикционды берілістің (10,3,2) беріліс қатынасы ротор (10) мен генератордың (1) айналым сандарына тәуелді

$$u = \frac{n_p}{n_r} = \frac{D_1}{D_p}, \quad (1)$$

мұнда:  $n_p$  – ротордың айналым саны, айн/мин;  $n_r$  – генератордың номинальды айналым саны, айн/мин;  $D_1$  – жетектегі дөңгелектің (2) диаметрі, мм;  $D_p$  – ротордың диаметрі, мм.

(1) формуладан жетектегі дөңгелектің диаметрі анықталады

$$D_1 = \frac{n_p \cdot D_p}{n_r}. \quad (2)$$

Аралық дөңгелектің (3) диаметрі ( $D_2$ ) рычагты (5) генератордың (1) астына орналастыруға жеткілікті болу керек (2-сурет)

$$D_2 = (h + h_p) - 0,5 \cdot D_1, \quad (3)$$

мұнда:  $h$  – генератордың өлшемі;  $h_p$  – рычагты (5) орналастыруға қажетті биіктік, құрамдау арқылы анықталады;  $D_1$  – жетектегі дөңгелектің диаметрі.

Жетектегі (2) және аралық (3) дөңгелектердің ені [6]

$$B_o = \psi \cdot D, \quad (4)$$

мұнда:  $D = 0,5(D_1 + D_2)$  – дөңгелектердің орташа диаметрі;  $\psi = 0,2 \div 0,6$  – фрикционды берілістегі дөңгелек енінің коэффициенті.

Фрикционды берілістің қысу күшін ( $F$ ) генератордың (1) білігіндегі жетектегі дөңгелекпен (2) түсіреді (6)

$$F = \frac{\beta \cdot F_t}{f}, \quad (5)$$

мұнда:  $F_t$  – берілістегі шеңберлік күш, Н;  $\beta = 1,25 \div 1,5$  – фрикционды дөңгелектердің ілінісу қорының коэффициенті;  $f$  – фрикционды дөңгелектердің арасындағы үйкеліс коэффициенті ( $f = 0,15 - 0,20$  болат-болат;  $f = 0,20 - 0,30$  – болат текстолит).

Желтурбинаның роторының шеңберлік күші

$$F_t = \frac{60 \cdot N_p}{\pi \cdot D_p \cdot n_p}, \quad (6)$$

мұнда:  $N_p$  – желтурбинаның қуаты, Вт;  $D_p$  – ротордың диаметрі, м;  $n_p$  – ротордың айналым саны, айн/мин.

Фрикционды берілістің қысу күшін ( $F$ ) генератордың (1) салмақ күші мен рычагтағы (5) жүктен (7) туатын күш ( $F_{rp}$ ) құрады

$$F = m_r \cdot g + F_{rp}, \quad (7)$$

мұнда:  $m_r$  – генератордың массасы, кг;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ауырлық күшінің үдеуі.

(7) формуладан рычагтағы (5) жүк (7) арқылы түсетін қысу күші анықталады

$$F_{rp} = F - m_r \cdot g. \quad (8)$$

Рычагтың (5) тепе-теңдік шартынан жүктің (7) массасы анықталады (2-сурет):

$$(F - m_r \cdot g) \cdot a = m_{ep} \cdot g \cdot (a + e);$$

осыдан

$$m_{ep} = \frac{(F - m_r \cdot g) \cdot a}{g \cdot (a + \epsilon)}, \quad (9)$$

мұнда:  $m_r$  – жүктің массасы, кг;  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup> - ауырлық күшінің үдеуі;  $a, \epsilon$  – рычагтың иіндерінің ұзындықтары, мм.

Рычагтың (5) иіндерінің ұзындықтарын ( $a, \epsilon$ ) қысатын құрылымды құрамдау шартынан анықтайды.

Тік орналасқан желтурбинаның роторына генераторды цилиндр фрикционды беріліспен қосу сұлбасы 3-суретте көрсетілді. Бұл құрылым генератордан (1), жетектегі дөңгелектен (2), аралық дөңгелектен (3), екі плиткадан (4), рычагтан (5), сырғымадан (6), бағыттаушыдан (7), тіректен (8), жүктен (9) және қоршаудан (10) тұрады.

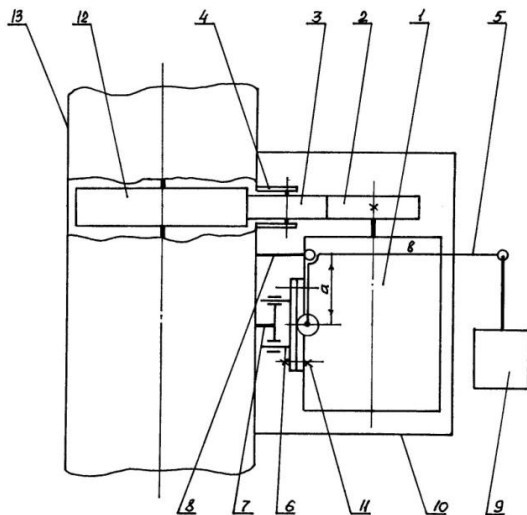
Жетектегі дөңгелек (2) генератордың (1) білігіне отырады, ал аралық дөңгелек (3) өсімен плиткалардың (4) ойларына кигізілген.

Сырғыманың (6) плитасына генератор (1) болттармен (11) бекітіледі. Сырғыма (6) өстермен бағыттаушының (7) втулкаларына жылжи алатын мүмкіндікпен отырады. Сондықтан генератор (1) горизонталь жазықтықта ілгерілемелі қозғалыс жасай алады.

Иіндері бұрыш жасап қиылысатын рычаг (5) тірекке (8) топсамен бекітіледі. Рычагтың (5)-генератор (1) жақтағы ұшына еркін айналатын ролик бекітілген. Ол сырғыманың (6) плиткасының үстінгі бетіне жанасып орналасады. Рычагтың (5) екінші ұшына күш беретін жүк (9) ілінеді.

Жетектегі дөңгелек (2) ротормен (12) аралық дөңгелек (3) арқылы қысылып түйіседі.

Фрикционды берілістің (12,3,2) есептері горизонталь желтурбинадағы механизмді есептеу әдісімен жүргізіледі.



Сурет 3. Тік желтрубинаға генераторды фрикционды беріліспен қосу сұлбасы

Плиткалар (4), бағыттаушы (7), тірек (8) желтурбинаның корпусына (13) пісіріліп бекітіледі.

Рычаг (5) арқылы генераторға (1) түсіретін қысу күші

$$F = F_{ep} - \mu \cdot G_r, \quad (10)$$

мұнда:  $F$  – фрикционды берілістің қысу күші, Н;  $\mu$  – бағыттаушыдағы (7) сырғанау үйкелісінің коэффициенті;  $F_{zp}$  – жүктің (9) беретін қысу күші, Н;  $G_{\Gamma} = m_{\Gamma} \cdot g$  – генератордың ауырлық күші, Н.

Осы теңдеуден жүктің (9) беретін қысу күшін табады

$$F_{zp} = F + \mu \cdot m_{\Gamma} \cdot g . \quad (11)$$

Рычагтың (5) тепе-теңдік шартынан жүктің (9) керек массасы анықталады (3-сурет):

$$G_{zp} \cdot \varrho = F_{zp} \cdot a;$$

немесе

$$m_{zp} \cdot g \cdot \varrho = (F + \mu \cdot m_{\Gamma} \cdot g) \cdot a;$$

осыдан

$$m_{zp} = \frac{(F + \mu \cdot m_{\Gamma} \cdot g) \cdot a}{g \cdot \varrho} , \quad (12)$$

мұнда:  $m_{\Gamma}$  – рычагқа (5) ілінетін жүктің (9) массасы, кг;  $m_{\Gamma}$  – генератордың массасы, кг;  $F$  – фрикционды берілістің қысу күші, (5) формуламен анықталады;  $a, \varrho$  – рычагтың иіндерінің ұзындықтары, мм.

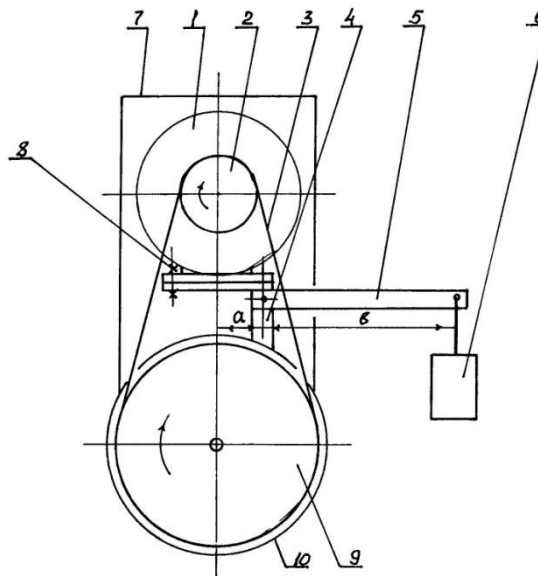
Құрылым, дәл горизонталь желтурбинадағыдай әдіспен, қоршаумен (10) жабылады.

Горизонталь желтурбинаның роторына генераторды белдікті беріліспен қосу сұлбасы 4-суретте көрсетілді. Бұл құрылым генератордан (1), жетектегі шкивтен (2), белдіктен (3), тіректен (4), рычагтан (5), жүктен (6) және қоршаудан (7) тұрады.

Тірек (4) желтурбинаның корпусына (10) пісіріліп бекітіледі. Түзу рычаг (5) тірекке (4) топсамен қосылған.

Рычагтың (5) қысқа иіні ( $a$ ) жақтағы плиткасына генератор (1) болттармен (8) бекітіледі. Рычагтың (5) екінші шетіне күш беретін жүк (6) ілінеді.

Жетектегі шкив (2) генератордың (1) білігіне қозғалмайтын қосылыспен отырғызылады.



Сурет 4. Горизонталь желтурбинаға генераторды белдікті беріліспен қосу сұлбасы

Белдік (3) роторға (9) және жетектегі шкивке (3) кигізіледі. Белдікті (3) рычагтың (5) көмегімен жүктен (6) келетін күшпен керемді.

Белдікті берілістің беріліс қатынасы [6]

$$u = \frac{n_p}{n_r} = \frac{D_2}{D_p(1-\xi)}, \quad (13)$$

мұнда:  $D_2$  – жетектегі шкивтің диаметрі, мм;  $D_p$  – ротордың диаметрі, мм;  $\xi$  – белдіктің салыстырмалы сырғанауы ( $\xi = 0,01$ -резинотканды белдікке);  $n_p$  – ротордың айналым саны, айн/мин;  $n_r$  – генератордың номинальды айналым саны, айн/мин.

Осы формуладан жетектегі шкивтің диаметрі анықталады

$$D_2 = \frac{D_p(1-\xi) \cdot n_p}{n_r}. \quad (14)$$

Ротордағы шеңберлік күш (6) формуламен анықталады.

Белдіктің (3) кіші шкивті (2) орау бұрышы

$$\alpha = 180^\circ - 57 \cdot \frac{D_p - D_2}{A}, \quad (15)$$

мұнда:  $A$  – белдікті берілістің өстерінің арақашықтығы, мм;  $\alpha$  – белдіктің кіші шкивті орау бұрышы, град.

Белдіктің кіші шкивті орау бұрышы  $150^\circ$  кем болмау шартынан белдікті берілістің өстерінің арақашықтығы анықталады:

$$\frac{D_p - D_2}{A} = \frac{180 - 150}{57} \approx 0,52;$$

осыдан

$$A > 1,923 \cdot (D_p - D_2) \quad (16)$$

Белдіктің тармақтарының керілу күші [6]:

$$F_1 = F_t \cdot \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1}; \quad (17)$$

$$F_2 = F_t \cdot \frac{1}{e^{f\alpha} - 1}, \quad (18)$$

мұнда:  $F_t$  – шкивтегі шеңберлік күш, Н;  $f$  – белдік пен шкивтің арасындағы үйкеліс коэффициенті ( $f = 0,35$ -резинотканды белдікке);  $\alpha$  – белдіктің кіші шкивті орау бұрышы ( $\alpha \geq 150^\circ$ );  $e$  – натуральды логарифмнің негізі.

Кіші шкивке түсетін белдікті керу күші [6]

$$F = 2 \cdot F_0 = F_1 + F_2, \quad (19)$$

мұнда:  $F$  – кіші шкивпен белдікті керу күші, Н;  $F_0$  – белдіктің бастапқы керілу күші, Н.

Белдікті берілістің керу күшін рычагтың көмегімен жүк береді.

Рычагтың тепе теңдік шартынан жүктің керек массасын анықтайды (4-сурет):

$$(F + G_r) \cdot a = G_{cp} \cdot b;$$

немесе

$$(F + m_r \cdot g) \cdot a = m_{cp} \cdot g \cdot b;$$

осыдан

$$m_{cp} = \frac{(F + m_r \cdot g) \cdot a}{g \cdot b}, \quad (20)$$

мұнда:  $m_r$  – генератордың массасы, кг;  $m_{rp}$  – рычагқа ілінетін жүктің массасы, кг;  $a, b$  – рычагтың иіндерінің ұзындықтары, мм;  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – ауырлық күшінің үдеуі.

Рычагтың иіндерінің ( $a, b$ ) ұзындықтары керетін құрылымды құрамдау шартынан анықталады.

Қоршау (7) желтурбинаға жоғарыда айтылған әдіспен бекітіледі.

Тік орналасқан желтурбинаның роторына генераторды белдікті беріліспен қосу сұлбасы 5-суретте көрсетілді. Бұл құрылым генератордан (1), жетектегі шкивтен (2), белдіктен (3), тіректен (4), рычагтан (5), жүктен (6), сырғымадан (7), бағыттаушыдан (8) және қоршаудан (9) тұрады.

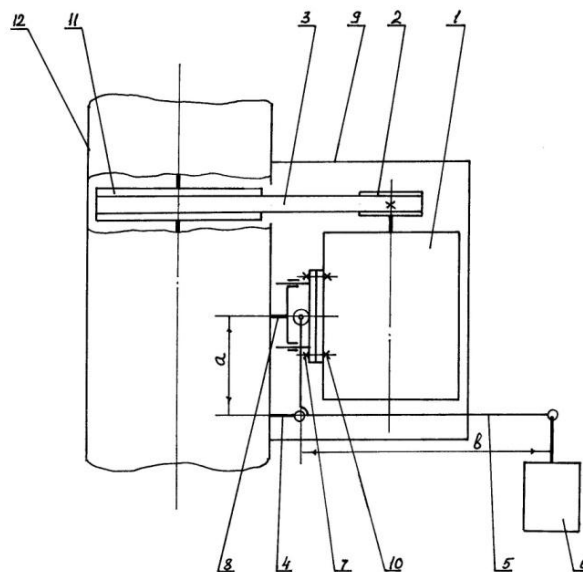
Тірек (4) пен бағыттаушы (8) желтурбинаның корпусына (12) пісіріліп бекітіледі.

Жетектегі шкив (2) генератордың (1) білігіне қозғалмайтын қосылыспен отырады. Генератор (1) сырғыманың (7) плиткасына болттармен бекітіледі, ал сырғыма (7) бағыттаушының (8) втулкаларына өстерімен киілген. Сондықтан генератор (1) бағыттаушыда (8) ілгері жылжи алады.

Рычаг (5) тірекке (4) топсамен бекітіледі. Рычагтың (5) кіші иінінің ұшына еркін айналатын ролик бекітілген. Ол сырғыманың (7) астыңғы бетіне жанасып орналасады. Рычагтың (5) екінші шетіне жүк (6) ілінген.

Белдік (3) роторға (11) және кіші шкивке (2) кигізіледі.

Жүктің (6) күшімен рычаг (5) генераторды (1) горизонталь бағытта жылжытып, белдікті (3) кереді.



Сурет 5. Тік желтурбинаға генераторды белдікті беріліспен қосу сұлбасы

Бұл механизмді есептеу горизонталь желтурбинаның механизмін есептеу әдісімен орындалады.

Рычагтың (5) тепе-теңдік шартынан жүктің (6) керек массасы анықталады:

$$(F + m_r \cdot g \cdot \mu) \cdot a = m_{cp} \cdot g \cdot b;$$



осыдан

$$m_{cp} = \frac{(F + m_r \cdot g \cdot \mu) \cdot a}{g \cdot b}, \quad (21)$$

мұнда:  $F$  – белдікті берілісті керу күші, Н;  $m_r$  – генератордың массасы, кг;  $\mu$  – бағыттаушыдағы үйкеліс коэффициенті;  $m_{rp}$  – жүктің массасы, кг;  $a, b$  – рычагтың иіндерінің ұзындықтары, мм;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ауырлық күшінің үдеуі.

Қоршау (9) желтурбинаның корпусына (12) жоғарыда айтылған әдіспен бекітіледі.

Желтурбинаға генераторды қосудың ұсынылған нұсқаларының бәрін іс жүзінде қолдануға болады. Бұл нұсқалар, мультипикаторлық схемалармен салыстырғанда қарапайым, желтурбинаның құрылысын жеңілдетеді, әрі реттеуге мүмкіндік береді (мысалы, дөңгелекті немесе шкивті ауыстыру арқылы).

Генераторды желтурбинаға белдікті беріліспен қосу жеңіл орындалады, әрі сенімділігі жоғары. Сондықтан осы нұсқаны бірінші кезекте пайдалану ұсынылады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Елікпай, Ғ. Энергетикалық әлеует [Мәтін] / Ғ. Елікпай // Егемен Қазақстан. 18.08.2017 ж.
2. Тлеуов, А.Х. Нетрадиционные источники энергии [Текст] / А.Х. Тлеуов. – Астана: Фолиант, 2009. – 248 с.
3. Куашнинг, Ф. Системы возобновляемых источников энергии (перевод с немецкого) [Текст] / Ф. Куашнинг. – Астана: Фолиант, 2013. – 432 с.
4. Мавлюдов, Ф.П. Энергетикалық турбиналар негізінде желтурбина құру [Мәтін] / Ф.П. Мавлюдов, Б.А. Қойайдаров // «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы білім және ғылым» тақырыбындағы республикалық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары, 12 сәуір 2018 ж.
5. Мавлюдов, Ф.П. Бу ауа трубиналары негізінде желқозғалтқыш құру [Мәтін]: магистрлік диссертация / Ф.П. Мавлюдов. – Тараз: ТарМУ, 2018.
6. Гузенков, П.Г. Детали машин [Текст] / П.Г. Гузенков. – М.: Высшая школа, 1986. – 359 с.

Материал редакцияға 14.12.18 түсті.

**Б.А. Қойайдаров, Н.Д. Абильдаева, Н.Ж. Сапарова**

*Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан*

#### РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ОТБОРА МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОТУРБИНЫ

В статье предложены фрикционный и ременный механизмы отбора мощности генератора от ротора ветротурбины.

**Ключевые слова:** ветротурбина, ротор, корпус, генератор, рычаг, сила, колесо, шкив, ремень.

**B.A. Kojaydarov, N.D. Abildaeva, N.Zh. Saparova**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz, Kazakhstan*

## **DEVELOPMENT OF THE MECHANISM FOR SELECTING THE POWER OF THE WIND TURBINE GENERATOR**

Friction and belt power take-off mechanisms of a generator from a rotary wind turbine are proposed.

**Keywords:** wind turbine, rotor, housing, generator, lever, power, wheel, pulley, belt.

ӘОЖ 517.938

**Н.А. Абиев<sup>1</sup>, А.Е. Пернебаева<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Физ.-мат. ғылым. канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант*

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

## **КОМПЬЮТЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕРГЕ ҚОЛДАНЫСТАРЫ**

Сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулерді зерттеу теория мен оның қолданыстарындағы маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Бұл жұмыс осындай теңдеулердің шешімдерінің асимптотикалық жіктеуін іске асыруда аналитикалық есептеу жүйелерінің тиімділігін көрсетуге арналған. Сәйкес келетін Maple программасы әзірленген.

**Тірек сөздер:** сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеу, шекаралық қабат, асимптотикалық жіктеу.

**Кіріспе.** Сингулярлы ауытқуға ұшыраған қарапайым дифференциалдық теңдеулердің асимптотикалық теориясы заманауи математиканың жеткілікті зерттелінген салаларының бірі болып табылады. Теорияда бұл бағытта біршама маңызды нәтижелер алынған. Дегенмен, қажетті аналитикалық есептеулерді жүргізу барысында зерттеушілер есептің табиғатымен байланысты болған техникалық мінездегі қиындықтарға тап болады. Әсіресе, мұндай жағдай ауытқыған теңдеудің шешімін асимптотикалық жіктеу әдісімен іздеу кезінде және шекаралық қабаттың қалыңдығын анықтауда жиі кездеседі. Бұл жұмыста сингулярлы ауытқыған сызықтық дифференциалдық теңдеудегі шекаралық қабаттың қалыңдығын табудың және теңдеу шешімінің асимптотикалық жіктеуін іске асыратын Maple программасы ұсынылған.

$\varepsilon > 0$  аз параметрлі мынадай Коши есебі берілсін:

$$\varepsilon \frac{du}{dx} + au(x) = f(x), \quad x \in D = [0,1], \quad (1)$$

$$u(0) = b, \quad (2)$$

мұндағы  $a > 0$ . Белгілі  $f$  және ізделінді  $u$  функцияларының әрқайсысы өздеріне сәйкес нормаланған сызықтық кеңістіктерде жатады деп болжайық. (1)-(2) есебі шешімі  $\varepsilon > 0$  параметрінен туелді болады, сондықтан оны  $u_\varepsilon(x)$  деп белгілейік. (1)-(2) есебінен  $\varepsilon = 0$  кезінде

$$au(x) = f(x), \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (3)$$

есебі алынады. Мұның шешімін  $u_0(x)$  деп белгілейік.

Бұдан ауытқу теориясының басты сұрағы туады:  $\varepsilon > 0$  шамасының аз екенін ескере отырып, (1)-(2) дифференциалдық есебін (3) оңай алгебралық теңдеуімен ауыстыруға бола ма? Осындай ауыстыру әрекеті  $x$  аргументінің қандай мәндерінде заңды, ал қандай мәндерінде заңсыз болады?

*Анықтама.* Егер

$$\limsup_{\varepsilon \rightarrow 0} \sup_{x \in D} \|u_\varepsilon(x) - u_0(x)\| = 0 \quad (4)$$

теңдігі орындалса, онда (1)-(2) есебі *регулярлы ауытқыған (regularly perturbed)* деп аталады [1,2]. Басқаша болғанда (1)-(2) есебі *сингулярлы ауытқыған (singularly perturbed)* деп аталады. Регулярлы ауытқу кезінде (1)-(2) есебінің  $u_\varepsilon$  шешімі (3) есебінің  $u_0$  шешіміне  $D = [0,1]$  тұйық интервалында бірқалыпты жинақталады. Мұның салдары ретінде жинақтылық әрбір нүктеде сақталады (нүктелер бойынша жинақтылық). Демек, сингулярлы ауытқу кезінде (1)-(2) есебінің  $u_\varepsilon$  шешімі  $D$ -ның қайсы бір нүктелерінде  $u$  шешіміне ұмтылмайды. Бастапқы нүктенің осындай нүктелерден тұратын маңайы *шекаралық қабат* деп аталады. Шекаралық қабаттың пайда болу себебі, табиғаты мен жүріс-тұрысы теорияда жеткілікті дәрежеде зерттелінген. Алайда іс жүзінде шекаралық қабаттың ұзындығын (қалыңдығы деп те атайды) дәлме дәл өлшеп анықтау техникалық тұрғыдан күрделі есептердің қатарына жатады. Мақалада біз осындай есептерді шешудің компьютерлік технологияларға сүйенген тәсілдерін көрсетеміз.

**Белгілі теориялық нәтижелер.** (1)-(2) есебінің шешімі белгілі:

$$u_\varepsilon(x) = e^{-ax/\varepsilon} \left( b + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x f(t) e^{at/\varepsilon} dt \right).$$

Сонда  $d_\varepsilon(x) = u_\varepsilon(x) - u_0(x)$  айырымы:

$$d_\varepsilon(x) = e^{-ax/\varepsilon} \left( b + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x f(t) e^{at/\varepsilon} dt \right) - \frac{f(x)}{a}.$$

Осыдан (4) формуладағы  $\limsup_{\varepsilon \rightarrow 0} \sup_{x \in D} \|u_\varepsilon(x) - u_0(x)\| = 0$  шарты орындалмайтынын тұжырымдаймыз. Ол үшін ең болмағанда  $d_\varepsilon(0) = u_\varepsilon(0) - u_0(0) = b - \frac{f(0)}{a}$  мәні жалпы жағдайда нөлге тең болмай

қалуы мүмкін екенін байқау жеткілікті. Демек, бастапқы  $x = 0$  нүктесінің қандайда бір маңайында (1)-(2) дифференциалдық есебін (3) алгебралық

есебімен ауыстыруға болмайды. Мысал ретінде (1)-(2) есебін  $a = 1$ ,  $b = 1$  және  $f(x) = e^{-x/12} \sin x$  функциясы үшін қарастырайық:

$$> f := \exp\left(-\frac{x}{12}\right) \cdot \sin(x) : a := 1 : b := 1 :$$

$$deq := \varepsilon \cdot \frac{d}{dx} u(x) = -u(x) + f; \quad init := u(0) = 1$$

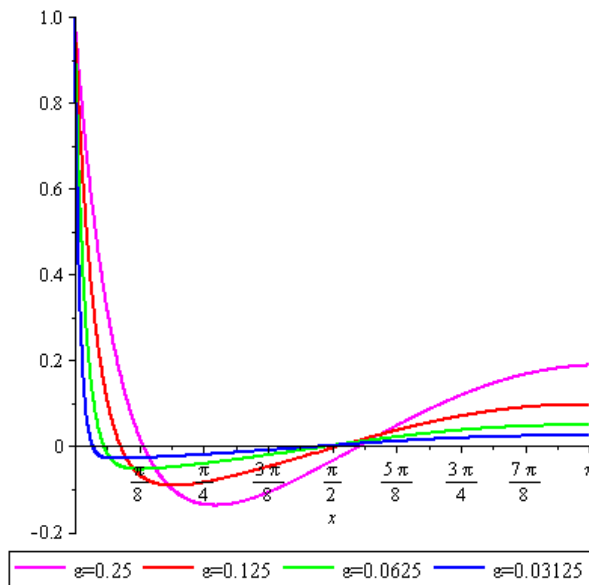
Ары қарай  $d_\varepsilon(x) = u_\varepsilon(x) - u_0(x)$  айырымын табатын болсақ:

$$> u_\varepsilon := rhs(dsolve(\{deq, init\})) : d := simplify(u_\varepsilon - f);$$

$$d := -\frac{1}{145\varepsilon^2 - 24\varepsilon + 144} \left( 145 e^{-\frac{1}{12}x} \sin(x) \varepsilon^2 + 144 \varepsilon \cos(x) e^{-\frac{1}{12}x} - 145 \varepsilon^2 e^{-\frac{x}{\varepsilon}} - 12 \varepsilon \sin(x) e^{-\frac{1}{12}x} - 120 \varepsilon e^{-\frac{x}{\varepsilon}} - 144 e^{-\frac{x}{\varepsilon}} \right)$$

$\varepsilon = \frac{1}{2^i}$ ,  $i = 2, \dots, 5$ , кезіндегі нәтижелер 1-суретте бейнеленген. Суретте

жоғарыда айтылған теориялық қорытындылар тағы да бір рет расталынады: Бастапқы  $x = 0$  нүктесінің қандайда бір  $[0, \delta]$  маңайында жататын  $x \in [0, \delta]$  аргументтерінде  $u_\varepsilon(x) - u(x)$  айырымы нөлге ұмтыла алмайды. Демек,  $x = 0$  нүктесінің осындай маңайы шекаралық қабаттың мысалы болады.



Сурет 1.  $d_\varepsilon(x) = u_\varepsilon(x) - u_0(x)$  айырымының графиктері

**Негізгі нәтижелер.** Енді (1)-(2) Коши есебінің шешімін

$$\Sigma(x, \varepsilon) := u_0(x) + \varepsilon u_1(x) + \varepsilon^2 u_2(x) + \dots + \varepsilon^k u_k(x) + \dots \quad (4)$$

дәрежелі қатарының қосындысы ретінде іздеп көрейік. Осындай әдісті шешімнің асимптотикалық жіктелінуі деп атайды. Асимптотикалық әдістің басты идеясына сай (4) қатарын (1) тендеуіне апарып қоямыз да,

қосылғыштарды  $\varepsilon$  дәрежелері бойынша топтастырамыз. Дәрежелері бірдей мүшелерді теңдей отырып, алгебралық теңдеулердің рекуррентті жүйесін аламыз. Осындай жүйеден (4) қатарының қосылғыштары кезегімен табылып отырады:

$$u_0(x) = \frac{f(x)}{a},$$

$$u_1(x) = -\frac{1}{a} \frac{du_0(x)}{dx} = -\frac{f'(x)}{a^2}, \quad (5)$$

$$u_k(x) = \frac{(-1)^k}{a^{k+1}} \frac{d^k f(x)}{dx^k},$$

Нақтысында бұл әдісті іске асыру да ұзақ есептеулерді талап етеді. Біз мұнда аналитикалық есептеу жүйелерінің артықшылығын көрсетпекпіз. Ол үшін жоғарыдағы  $a=1$  және  $f(x) = e^{-x/12} \sin x$  деректеріне қайтып оралайық та, (4) қатарының алғашқы төрт мүшесімен шектелік. Компьютер бізге асимптотикалық жіктеудің  $\varepsilon$  бойынша дәрежелері бірдей мүшелерін топтастырып береді. Ары қарай рекуррент жүйені жазу оңай. Осы рекуррент жүйеден алатынымыз:

$$> u_0 := \frac{f}{a};$$

$$> u_1 := \text{factor}\left(-\frac{d}{dx} u_0\right);$$

$$> u_2 := \text{factor}\left(-\frac{d}{dx} u_1\right);$$

$$> u_3 := \text{factor}\left(-\frac{d}{dx} u_2\right);$$

$$> \Sigma := u_0 + \varepsilon \cdot u_1 + \varepsilon^2 \cdot u_2 + \varepsilon^3 \cdot u_3$$

$$\Sigma := -\frac{1}{1728} \varepsilon^3 e^{-\frac{1}{12}x} (431 \sin(x) - 1692 \cos(x)) - \frac{1}{144} \varepsilon^2 e^{-\frac{1}{12}x} (143 \sin(x) + 24 \cos(x)) + \frac{1}{12} \varepsilon e^{-\frac{1}{12}x} (\sin(x) - 12 \cos(x)) + e^{-\frac{1}{12}x} \sin(x)$$

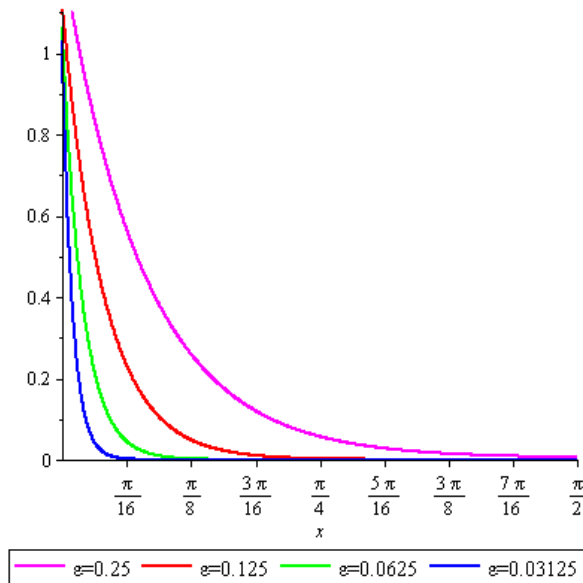
Асимптотикалық жіктеудің қалдық мүшесі болатын

$$\xi(x, \varepsilon) = u_\varepsilon(x) - \sum_{k=0}^3 \varepsilon^k u_k(x) \quad \text{функциясы келесі түрде болады:}$$

$$> \xi := \text{simplify}(u_\varepsilon - \Sigma);$$

$$\xi := -\frac{1}{1728} \frac{1}{145 \varepsilon^2 - 24 \varepsilon + 144} \left( 245340 \cos(x) e^{-\frac{1}{12}x} \varepsilon^5 - 62495 e^{-\frac{1}{12}x} \sin(x) \varepsilon^5 - 82368 \cos(x) e^{-\frac{1}{12}x} \varepsilon^4 - 238476 e^{-\frac{1}{12}x} \sin(x) \varepsilon^4 - 250560 \varepsilon^2 e^{-\frac{x}{\varepsilon}} - 207360 \varepsilon e^{-\frac{x}{\varepsilon}} - 248832 e^{-\frac{x}{\varepsilon}} \right)$$

Теориялық болжамдарға сай  $x > \delta$  болғанда ғана  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $\xi(x, \varepsilon)$  функциясы нөлге бірқалыпты ұмтылады:  $\limsup_{\varepsilon \rightarrow 0} \|\xi(x, \varepsilon)\| = 0$ . Алайда  $0 \leq x \leq \delta$  шекаралық қабатында  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $\xi(x, \varepsilon) \rightarrow 0$  ұмтылуы болмайды. Осы айтылғандарды 2-суреттен  $\varepsilon = \frac{1}{2^i}$ ,  $i = 2, \dots, 5$ , мәндерінде көруге болады. Демек, (4) асимптотикалық жіктеуі  $0 \leq x \leq \delta$  шекаралық қабатында тиімсіз.



Сурет 2.  $\xi(x, \varepsilon)$  қалдық мүшесінің графиктері

Аталып өткен кемшілікті жойу мақсатында (1)-(2) Коши есебінің шешімін енді мынадай қосынды түрінде іздеп көрейік:

$$\begin{aligned} \Omega(x, \varepsilon) := & u_0(x) + \Pi_0(\tau) + \varepsilon(u_1(x) + \Pi_1(\tau)) + \varepsilon^2(u_2(x) + \Pi_2(\tau)) + \dots \\ & \dots + \varepsilon^k(u_k(x) + \Pi_k(\tau)) + \dots, \end{aligned} \quad (6)$$

мұндағы  $\tau = \frac{x}{\varepsilon}$ , ал  $\Pi_k(\tau)$  функциялары  $u_0(0) + \Pi_0(0) = b$ ,  $u_k(0) + \Pi_k(0) = 0$  шарттарын қанағаттандырады.

Егер  $\Pi(\tau, \varepsilon) := \Pi_0(\tau) + \varepsilon\Pi_1(\tau) + \varepsilon^2\Pi_2(\tau) + \dots + \varepsilon^k\Pi_k(\tau) + \dots$  белгілеуін қабылдайтын болсақ,  $\Omega(x, \varepsilon) = \Sigma(x, \varepsilon) + \Pi(\tau, \varepsilon)$  екенін байқаймыз.

(6) қатарын (1) теңдеуге қойғанда (5) формулада табылған  $u_0(x), u_1(x), \dots, u_k(x), \dots$  функциялары қайтадан алынады.

$\frac{d\Pi}{dx} = \frac{d\Pi}{d\tau} \frac{d\tau}{dx} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\Pi}{d\tau}$  болғандықтан,  $\Pi_k(\tau)$ ,  $k = 0, 1, \dots$ , функциялары үшін Коши есептерінің мынадай жүйесін аламыз:

$$\frac{d\Pi_0(\tau)}{d\tau} = a\Pi_0(\tau), \quad \Pi_0(0) = b - u_0(0) = b - \frac{f(0)}{a},$$

$$\frac{d\Pi_k(\tau)}{d\tau} = a\Pi_k(\tau), \quad \Pi_k(0) = -u_k(0) = \frac{(-1)^{k+1}}{a^{k+1}} \frac{d^k f(0)}{dx^k}, \quad k = 1, 2, \dots$$

Бұлардың шешімдері

$$\Pi_0(\tau) = \Pi_0(0)e^{-a\tau} = (b - u_0(0)) e^{-a\tau},$$

$$\Pi_k(\tau) = \Pi_k(0)e^{-a\tau} = -u_k(0) e^{-a\tau}, \quad k = 1, 2, \dots$$

болатыны айқын. Сонымен қатар, (6) жіктеуі  $u_\varepsilon(0) = b$  бастапқы шартын орындайтынын байқаймыз.

(6) жіктеуін ұсынудың негізгі идеясын түсіну үшін (1)-(2) есебі шешімін беретін формуладағы интегралды екі рет бөліктеп есептеп көрейік. Сонда

$$u_\varepsilon(x) = be^{-ax/\varepsilon} + \left( \frac{f(x)}{a} - \varepsilon \frac{f'(x)}{a^2} \right) + \left( -\frac{f(0)}{a} + \varepsilon \frac{f'(0)}{a^2} \right) e^{-ax/\varepsilon} + \frac{\varepsilon}{a^2} \int_0^x f''(t) e^{-\frac{a(x-t)}{\varepsilon}} dt.$$

$$\int_0^x f''(t) e^{-\frac{a(x-t)}{\varepsilon}} dt = \frac{\varepsilon}{a} \left( 1 - e^{-\frac{ax}{\varepsilon}} \right) = O(\varepsilon) \quad \text{болғандықтан, (5) шарттарын еске}$$

алсақ, онда

$$u_\varepsilon(x) = be^{-ax/\varepsilon} + (u_0(x) + \varepsilon u_1(x)) + (-u_0(0) - \varepsilon u_1(0)) e^{-ax/\varepsilon} + O(\varepsilon^2)$$

алынады. Осыдан  $u_\varepsilon(x) = u_0(x) + \Pi_0(\tau) + \varepsilon(u_1(x) + \Pi_1(\tau)) + O(\varepsilon^2)$ . Демек, (6) жіктеуінің қалдық мүшесі  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде барлық  $x \geq 0$  үшін нөлге бірқалыпты ұмтылады.

Жоғарыдағы біздің мысалда  $k = 3$  кезінде алатынымыз:

$$> \Pi_0 := (b - \text{subs}(x=0, u_0)) \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot x}{\varepsilon}\right):$$

$$> \Pi_1 := -\text{subs}(x=0, u_1) \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot x}{\varepsilon}\right):$$

$$> \Pi_2 := -\text{subs}(x=0, u_2) \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot x}{\varepsilon}\right):$$

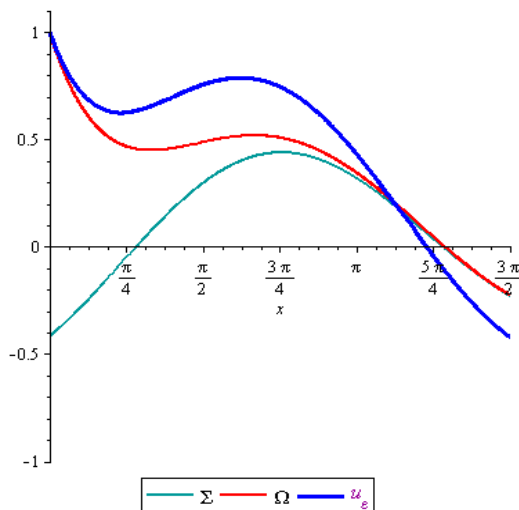
$$> \Pi_3 := -\text{subs}(x=0, u_3) \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot x}{\varepsilon}\right):$$

$$> \Pi := \text{collect}\left(\Pi_0 + \varepsilon \cdot \Pi_1 + \varepsilon^2 \cdot \Pi_2 + \varepsilon^3 \cdot \Pi_3, e^{-\frac{x}{\varepsilon}}\right)$$

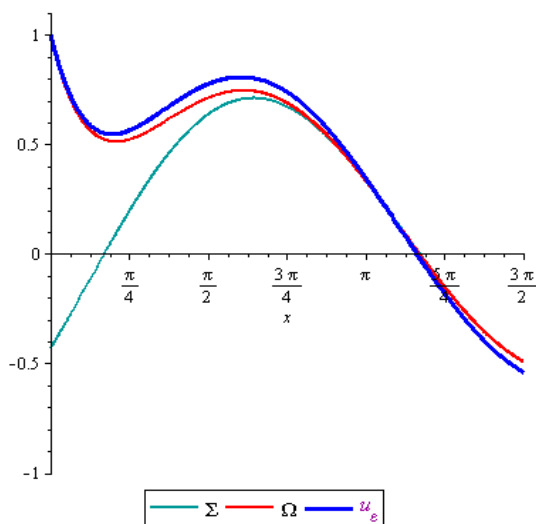
$$> \Omega := \Sigma + \Pi$$

$$\Omega := -\frac{1}{1728} \varepsilon^3 e^{-\frac{1}{12}x} (431 \sin(x) - 1692 \cos(x)) - \frac{1}{144} \varepsilon^2 e^{-\frac{1}{12}x} (143 \sin(x) + 24 \cos(x)) + \frac{1}{12} \varepsilon e^{-\frac{1}{12}x} (\sin(x) - 12 \cos(x)) + e^{-\frac{1}{12}x} \sin(x) + \left( -\frac{47}{48} \varepsilon^3 + \frac{1}{6} \varepsilon^2 + \varepsilon + 1 \right) e^{-\frac{x}{\varepsilon}}$$

(4) және (6) жуықтауларын 3-6-суреттерде салыстыруға болады:

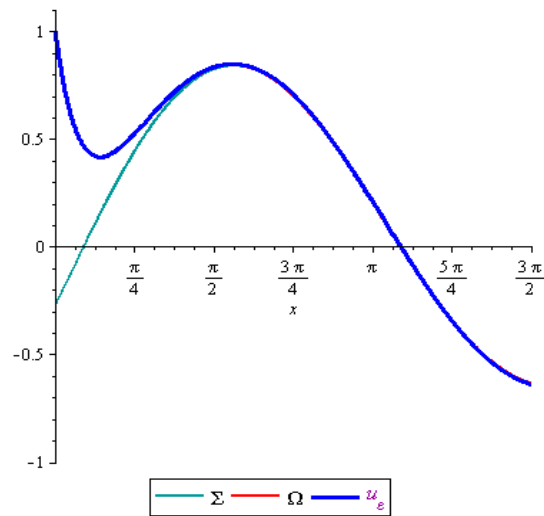


Сурет 3.  $\varepsilon = 25/32$  кезіндегі  $\Sigma(x, \varepsilon)$ ,  $\Omega(x, \varepsilon)$ ,  $u_\varepsilon(x)$  функциялары

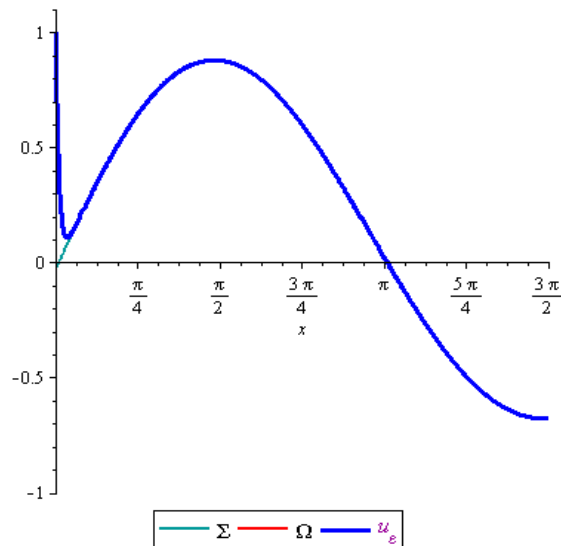


Сурет 4.  $\varepsilon = 17/32$  кезіндегі  $u_\varepsilon(x)$ ,  $\Sigma(x, \varepsilon)$ ,  $\Omega(x, \varepsilon)$  функциялары





Сурет 5.  $\varepsilon = 9/32$  кезіндегі  $\Sigma(x, \varepsilon)$ ,  $\Omega(x, \varepsilon)$ ,  $u_\varepsilon(x)$  функциялары



Сурет 6.  $\varepsilon = 1/32$  кезіндегі  $\Sigma(x, \varepsilon)$ ,  $\Omega(x, \varepsilon)$ ,  $u_\varepsilon(x)$  функциялары

Мақала соңында шекаралық қабаттың өлшемі болатын  $\delta > 0$  санын іс жүзінде табу есебіне тоқтала кетейік. Осындай есепті  $x$  аргументінің қандай мәндерінде  $\sup_{x \in [0,1]} \|u_\varepsilon(x) - u_0(x)\| \geq \Delta$  теңсіздігі орындалады деген сұрақпен жалғастырайық, мұндағы  $\Delta > 0$  - алдын ала берілген сан. Бұл сұрақ

$$e^{ax/\varepsilon} \left( b + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x f(t) e^{-at/\varepsilon} dt \right) + \frac{f(x)}{a} = \Delta \quad (7)$$

теңдеуін қанағаттандыратын  $x$  аргументінің мәнін табу есебіне пара-пар. Айталық, (7) теңдеуінің түбірі  $x = \delta$  болсын. Сонда  $0 \leq x \leq \delta$  интервалында (1)-(2) есебінің  $u_\varepsilon$  шешімінің (3) есебінің  $u$  шешімінен ауытқуы  $\Delta$  санынан кем болмайды.

Көрініп тұрғандай,  $f(x)$  функциясының жалпы жағдайында (5) теңдеуін тіпті бірінші ретті сызықтық дифференциалдық теңдеулер үшін де ешқандай аналитикалық жолмен шеше алмаймыз. Мұндай есеп алғашқы рет [3] жұмысында  $f(x) = x$  қарапайым дербес жағдайында қарастырылғанын айта кетейік.

Енді осындай күрделі (7) теңдеуін шешуге аналитикалық есептеулер жүйесінің қолданысын көрсетейік. Нақтысында бізді (7) теңдеуіне түбір болатын  $x = \delta$  санының асимптотикалық шамасы ғана қызықтырады:

>  $\delta := \text{solve}(d - \Delta, x) : \text{series}(\delta, \varepsilon, 3)$

$$-\ln(\Delta) \varepsilon + \frac{\Delta - 1}{\Delta} \varepsilon^2 + O(\varepsilon^3)$$

Демек,  $\delta \approx -\ln(\Delta)\varepsilon$ . Осыдан  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде шекаралық қабаттың жойылуын байқаймыз. Сандық эксперименттер үшін  $\Delta$  санының  $\Delta_0 = 0.1$  мәнін таңдап алайық.  $\varepsilon$  аз шамасы үшін  $\varepsilon = \varepsilon_0 = 1/4$  дейік:

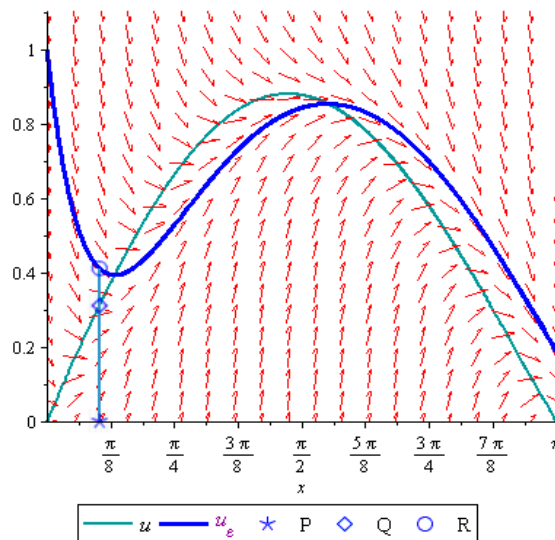
>  $\Delta_0 := 0.1 : \varepsilon_0 := \frac{1}{2^2} :$

Сонда шекаралық қабаттың қалыңдығы  $\delta = \delta_0$  мынадай болады:

>  $\delta_0 := \text{evalf}(\text{subs}(\varepsilon = \varepsilon_0, \Delta = \Delta_0, \delta))$

$$\delta_0 := 0.3255038473$$

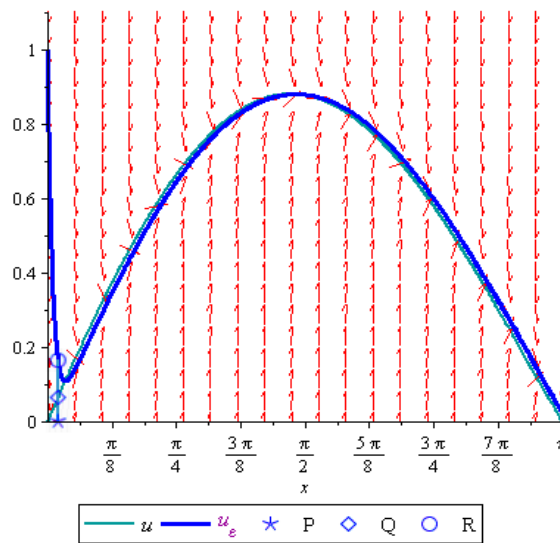
Есептеу нәтижелері 7-суретте бейнеленген:



Сурет 7.  $\varepsilon = 0.25$  кезіндегі фазалық портрет,  $u_0(x)$ ,  $u_\varepsilon(x)$  функциялары және шекаралық қабат

Мұндағы  $P, Q, R$  нүктелерінде  $x = \delta_0$  түзуі сәйкесінше  $u = 0$  түзуін және  $u_0(x)$ ,  $u_\varepsilon(x)$  функцияларының графиктерін қиып өтеді.

$\varepsilon = \frac{1}{2^5}$  мәніне сәйкес келетін нәтижелер 8-суретте келтірілген.



Сурет 8.  $\varepsilon = 0.03125$  кезіндегі фазалық портрет,  $u_0(x), u_\varepsilon(x)$  функциялары және шекаралық қабат

Есептеулер көрсеткендей,  $\varepsilon = 0.03125$  кезіндегі шекаралық қабаттың қалыңдығы:

$$> \varepsilon_0 := \frac{1}{2^5}; \delta_0 := \text{evalf}(\text{subs}(\varepsilon = \varepsilon_0, \Delta = \Delta_0, \delta))$$

$$\delta_0 := 0.06447226944$$

**Қорытынды.** Алынған нәтижелерден мынаны қорытындылаймыз:

1) (4) асимптотикалық жіктеуіне салыстырмалы (6) жіктеуі артықшылыққа ие, себебі мұның құрамындағы  $\Pi_k(\tau)$  функциялары шекаралық қабатта  $u(0) = b$  бастапқы шартының орындалуына әсер етеді. Ал шекаралық қабаттың сыртында  $\Pi_k(\tau)$  функциялары нөлге  $\varepsilon$ -ның кез-келген оң дәрежесінен тезірек ұмтылып кетеді. Расында да,  $x > \delta$  кезінде кез-келген  $n$  үшін  $e^{-ax/\varepsilon} < e^{-a\delta/\varepsilon} = o(\varepsilon^n)$ . Осы айтылғандарды 3-6-суреттерден де көруге болады:  $\varepsilon$  параметрінің аз мәндерінде (6) жіктеуінің қосындысы болатын  $\Omega(x, \varepsilon)$  функциясы мен  $u_\varepsilon(x)$  функциясы барлық  $x \in [0, 1]$  үшін беттеседі, ал (4) жіктеуінің қосындысы болатын  $\Sigma(x, \varepsilon)$  функциясы  $u_\varepsilon(x)$  функциясына  $x \in (\delta, 1]$  кезінде (яғни шекаралық қабаттың сыртында) ғана ұмтылады.

2)  $\varepsilon$  параметрінің мәнін азайту арқылы шекаралық қабатты да азайтуға болады. Табылған  $\delta = -\ln(\Delta)\varepsilon + \frac{\Delta-1}{\Delta}\varepsilon^2 + O(\varepsilon^3)$  теориялық формуламыз сандық эксперименттер үстінде расталынады, мұндағы  $\Delta = \Delta_0 = \text{const}$  (7-8-суреттерді де қараңыз).

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Berglund N. Perturbation Theory of Dynamical Systems. Switzerland, Zurich, 2001. Also available at: <https://arxiv.org/abs/math/0111178v1>.

2. Васильева, А.Б. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений [Текст] / А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.
3. Абиев, Н.А. Сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулердегі шекаралық қабаттың қалыңдығын компьютерде бағалау [Мәтін] / Н.А. Абиев, Ш.Т. Сейдалиева // Механика және технологиялар. – 2017. – №3. –Б.148-156.

*Материал редакцияға 19.12.18 түсті.*

**Н.А. Абиев, А.Е. Пернебаева**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ**

Изучение сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений является одной из актуальных задач в теории и ее приложениях. Настоящая работа посвящена демонстрации эффективности системы аналитических вычислений при осуществлении асимптотических разложений решений подобных уравнений. Была разработана соответствующая Maple программа.

**Ключевые слова:** сингулярно возмущенное дифференциальное уравнение, асимптотическое разложение, пограничный слой.

**N.A. Abiev, A. Pernebayeva**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan*

### **USING COMPUTER TECHNOLOGIES TO SINGULARLY PERTURBED DIFFERENTIAL EQUATIONS**

Studying of singularly perturbed differential equations is one of important problems of the theory and its applications. The present work is devoted to the demonstration of efficiency of system of analytic computations in realizing asymptotic expansions of solutions of such equations. A corresponding Maple program was prepared.

**Keywords:** singularly perturbed differential equation, asymptotic expansion, boundary layer.

ӘОЖ 517.938

**Н.А. Абиев<sup>1</sup>, А.Е. Пернебаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Физ.-мат. ғылым. канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### **СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ТИХОНОВ ТЕОРЕМАСЫНЫҢ КОМПЬЮТЕРДЕ ИНТЕРПРЕТАЦИЯЛАНУЫ**

Жұмыс сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер жүйелерінің баяу көпбейнелерін зерттеуге арналған. Сингулярлы ауытқыған теңдеулердің асимптотикалық теориясының белгілі әдістерін аналитикалық есептеу жүйелерінде іске асыру біздің негізгі көздеген мақсатымыз болып табылады. Жұмыста Тихоновтың классикалық теоремасы Марле жүйесінде интерпретацияланған.

**Тірек сөздер:** сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер жүйесі, шекаралық қабат, асимптотикалық жіктеу, баяу көпбейне.

**Кіріспе.** Сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер теориясы аспан механикасы, тербелістер механикасы және де электротехника сияқты ғылым салаларында орын алатын құбылыстардың жалпы заңдылықтарын зерттеуге арналған математиканың маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Бұл теорияның пайда болуына және дамуына ықпалын тигізген алғашқы теңдеулердің қатарына Ван дер Поль осцилляторы теңдеуін жатқызуға болады. Бүгінгі таңда бұл бағытта көптеген ірі ғылыми нәтижелер белгілі. Сөйтсе де, есептеулерді жүргізу кезінде техникалық тұрғыдан күрделі амалдарды орындау қажеттілігі туады. Мұндай жағдайда зерттеушілер ұзақ уақыт талап ететін есептеулерді орындауға мәжбүр. Бұл жұмыста біз сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулер жүйесінің жуық шешімін қамтамасыз ететін әдістерге тоқтала отырып, оларды компьютердің көмегімен іске асырудың жолдарын ұсынамыз.

$\varepsilon > 0$  аз параметрлі дифференциалдық теңдеулердің мынадай жүйесін қарастырайық:

$$\varepsilon \frac{dx}{dt} = f(x, y), \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = g(x, y), \quad (2)$$

мұндағы  $t \geq 0$ ,  $(x, y) \in D \subset \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ ,  $f, g \in C^r(D)$ ,  $r \geq 2$ , ізделінді  $x, y$  функцияларының әрбіреуі өздеріне сәйкес нормаланған сызықтық кеңістіктерде жатады деп болжайық. (1)-(2) есебінен  $\varepsilon = 0$  кезінде

$$0 = f(x, y), \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = g(x, y), \quad (4)$$

есебі алынады. Егер  $0 = f(x, y)$  теңдеуінен айнымалылардың біреуін екіншісі арқылы, мысалға,  $x = x^*(y)$  түрінде табуға мүмкін болса, онда соңғы өрнекті (4) теңдеуіне әкеліп қойып, бір белгісізді

$$\frac{dy}{dt} = g(x^*(y), y) := G(y) \quad (5)$$

теңдеуін алар едік. Әрине, (5) теңдеуін шешу арқылы (3)-(4) жүйесін шешу бастапқы (1)-(2) жүйесін шешуге салыстырмалы әлдеқайда оңай. Дегенмен,  $\varepsilon > 0$  шамасының нөлге жуық екеніне сүйенген осындай идея қаншалықты заңды деген сұрақты назардан тыс қалдырмауымыз тиіс. Мақалада біз осы

сұраққа жауап табатын теориялық жобаларды қарастырамыз және қажетті есептеулерді компьютерде іске асырудың тәсілдерін ұсынамыз.

**Белгілі теориялық нәтижелер.**  $0 = f(x, y)$  теңдеуін қанағаттандыратын  $(x, y) \in D \subset R^n \times R^m$  нүктелерінің жиыны (1)-(2) жүйесінің баяу көпбейнесі деп аталады.

*Айқын емес функция жайлы теорема.* Айталық,  $f(x_0, y_0) = 0$  шарты

$$\text{орындалсын және } J_{x^0}(y^0) = \left( \begin{array}{cc} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{array} \right)_{(x,y)=(x^0,y^0)} \quad \text{Якоби матрицасының}$$

анықтаушы нөлден өзгеше болсын дейік. Сонда  $(x_0, y_0)$  нүктесінің  $U \subset D$  ашық маңайы табылып, барлық  $(x, y) \in U$  үшін  $0 = f(x, y)$  теңдеуі бірден-бір  $x = x^*(y)$  шешіміне ие болады. Сонымын қатар,  $x_0 = x^*(y_0)$  және  $x^* \in C^r(U_0)$  шарттары орындалады, мұндағы  $U_0$  жиыны-  $y_0$  нүктесінің қандайда бір маңайы.  $J_{x^*(y)}(y)$  матрицасын  $J(y)$  деп белгілеуге келісейік.

Сингулярлы ауытқыған теңдеулер теориясының іргетасы А.Н.Тихоновтың [1,2] еңбектерінде қаланғанын айта кетейік те, [2] жұмысында дәлелденген теоремаға тоқталайық. Айталық, (5) теңдеуіндегі  $G(y)$  функциясы  $L > 0$  тұрақтысымен Липшиц шартын қанағаттандырсын дейік.

*Тихонов теоремасы*  $(x^*(y), y) \in U$  кезінде  $\det J_{x^*(y)}(y) \neq 0$  болсын және  $J_{x^*(y)}(y)$  матрицасының  $\lambda_1(y), \dots, \lambda_n(y)$  меншікті мәндерінің нақты бөліктері үшін мынадай теңсіздіктер орындалсын:  $\text{Re } \lambda_i(y) \leq -\lambda_0$ , мұндағы  $\lambda_0 = \text{const} > 0$ . Сонда  $\varepsilon_0, c_1, \dots, c_4, K$  оң сандары табылып,  $0 < \varepsilon < \varepsilon_0$  және  $(x(t), y(t)) \in U$  шарттарын қанағаттандыратын  $\varepsilon$  мен  $t$  кезінде келесі тұжырымдар ақиқат болады:

1) Бастапқы  $(x_0, y_0) \in U$  шарты  $\|x_0 - x^*(y_0)\| \leq c_0$  теңсіздігін қанағаттандыратын (1)-(2) жүйесінің  $x(t, \varepsilon)$ ,  $y(t, \varepsilon)$  шешімі үшін

$$\|x(t, \varepsilon) - x^*(y(t))\| \leq c_1 \varepsilon + c_0 c_2 e^{-\frac{Kt}{\varepsilon}}; \quad (6)$$

2)  $\frac{dy}{dt} = G(y)$ ,  $y(0) = y_0$  Коши есебінің шешімі  $y^*$  болсын. Сонда

$$\|y(t, \varepsilon) - y^*(t)\| \leq c_3 \varepsilon e^{Lt} + c_0 c_4 e^{-\frac{Kt}{\varepsilon}}. \quad (7)$$

Тихонов теоремасындағы (6),(7) өрнектерінен практикалық тұрғыдан аса маңызды мынадай қорытындылар алынады:

$$x(t, \varepsilon) = x^*(y^*(t)) + O(\varepsilon), \quad (8)$$

$$y(t, \varepsilon) = y^*(t) + O(\varepsilon), \quad (9)$$

$$\text{мұндағы } \frac{1}{K} \varepsilon |\ln \varepsilon| \leq t \leq \frac{1}{L}. \quad (10)$$

Тихонов теоремасынан кіріспе бөлімінде қойылған сұрақтың оң жауабы келіп шығады және (1)-(2) есебінің шешімін (3)-(4) есебі шешімі арқылы жуықтап табудың мынадай алгоритмі алынады: тәуелсіз аргументтің (10) шартына бағынған мәндерінде (5) теңдеуі үшін қойылған  $\frac{dy}{dt} = G(y)$ ,  $y(0) = y^0$  Коши есебінің  $y^*(t)$  шешімін анықтап аламыз. Мұны (3) алгебралық теңдеуінің шешімі болатын  $x^*(y)$  функциясына апарып қоямыз. Сонда (8),(9) формулаларынан (1)-(2) есебі үшін  $(x_0, y_0)$  бастапқы шарттарымен қойылған Коши есебінің жуықталған шешімі табылады:

$$y(t) \approx y^*(t), \quad x(t) \approx x^*(y^*(t)).$$

Ары қарай біз сипатталған алгоритмнің компьютерде іске асырылуын көрсетеміз.

**Негізгі нәтижелер.** Тихонов теоремасынан келіп шығатын алгоритмнің негізінде біз ұсынатын компьютерлік программаны [3] жұмысында берілген мынадай жүйенің мысалында сынақтан өткізейік:

$$\varepsilon \frac{dx}{dt} = -x + \sin y, \quad x(0) = x_0, \quad (11)$$

$$\frac{dy}{dt} = 1, \quad y(0) = y_0, \quad (12)$$

мұндағы  $(x, y) \in R^2$ . Жүйеде  $J_x(y) = \frac{\partial(-x + \sin y)}{\partial x} = -1$  болғандықтан, бір өлшемді Якоби матрицасы Тихонов теоремасындағы шарттарды түгелімен қанағаттандырады. (3) теңдеуінің аналогы  $x = x^*(y) = \sin y$  шешіміне ие болады. Демек, (11)-(12) жүйесінің баяу көпбейнесі  $x = \sin y$  жазық қисығымен анықталады. (12) есебіне қойылған Коши есебінің тура шешімі  $y^*(t) = t + y_0$  болатыны түсінікті. Осылардан және (8) формуласынан (11) теңдеуінің жуықталған шешімін алуымызға болады:  $x(t, \varepsilon) \approx \sin y^*(t)$ . (12) теңдеуі үшін (9) формуласы біздің есептің жағдайында дәлме-дәл орындалаты айқын:  $y(t) = y^*(t)$ .

(11) теңдеуінің  $x(t, \varepsilon)$  тура шешімін де аналитикалық түрде табуға болады. Алайда біз мұны компьютерде оңай-ақ таба аламыз:

$$> \text{deq} := \varepsilon \cdot \frac{d}{dt} x(t) = -x(t) + \sin(t + y_0); \quad \text{init} := x(0) = x_0;$$

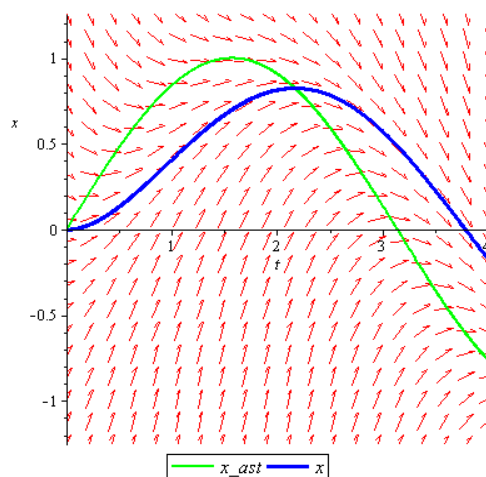
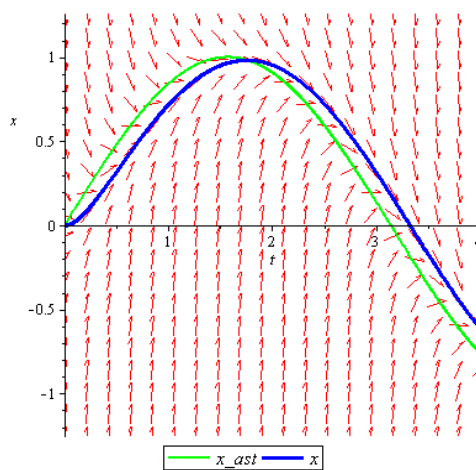
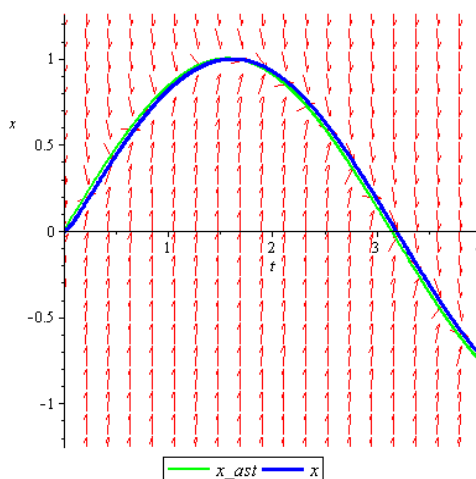
$$\text{deq} := \varepsilon \left( \frac{d}{dt} x(t) \right) = -x(t) + \sin(t + y_0)$$

$$> x := \text{rhs}(\text{dsolve}(\{\text{deq}, \text{init}\}));$$

$$x := e^{-\frac{t}{\varepsilon}} \left( x_0 + \frac{\cos(y_0) \varepsilon - \sin(y_0)}{\varepsilon^2 + 1} \right) - \frac{\cos(t + y_0) \varepsilon - \sin(t + y_0)}{\varepsilon^2 + 1}$$

$$\varepsilon = \frac{3}{4^i}, \quad i = 1, 2, 3, \quad \text{мәндерінде алынған нәтижелерді 1-3-суреттерден}$$

көруге болады.

Сурет 1.  $\varepsilon = \frac{3}{4}$  кезіндегі  $x^*(t)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функцияларыСурет 2.  $\varepsilon = \frac{3}{16}$  кезіндегі  $x^*(t)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функцияларыСурет 3.  $\varepsilon = \frac{3}{64}$  кезіндегі  $x^*(t)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары



$x(t, \varepsilon)$  функциясын мына түрде жазуға болады:

$$x(t, \varepsilon) = x_{reg}(t, \varepsilon) + e^{-\frac{t}{\varepsilon}} (x_0 - x_{reg}(0)), \quad (13)$$

$$x_{reg}(t, \varepsilon) := \frac{\sin(t + y_0) - \varepsilon \cos(t + y_0)}{\varepsilon^2 + 1}. \quad (14)$$

(13),(14) формулаларын тереңірек талдауға көшейік. Көрініп тұрғандай,  $x(t, \varepsilon)$  функциясы  $x_{sing}(t, \varepsilon) := e^{-\frac{t}{\varepsilon}} (x_0 - x_{reg}(0))$  сингулярлы және (14) формуласымен берілген  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  регулярлы қосылғыштарынан құрастырылған. Бұларды келесі командалар арқылы бөліп көрсетуге болады:

>  $x_{sing} := op(1, x)$

$$x_{sing} := e^{-\frac{t}{\varepsilon}} \left( x_0 + \frac{\cos(y_0) \varepsilon - \sin(y_0)}{\varepsilon^2 + 1} \right)$$

>  $x_{reg} := op(2, x)$

$$x_{reg} := -\frac{\cos(t + y_0) \varepsilon - \sin(t + y_0)}{\varepsilon^2 + 1}$$

$x_{reg}(t, \varepsilon)$  қосылғышын регулярлы деп атаудың себебі

>  $series(x_{reg}, \varepsilon, 1)$

$$\sin(t + y_0) + O(\varepsilon)$$

болғандықтан,  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  функциясы  $x^*(t) = \sin(t + y_0)$  баяу көпбейнесіне  $t$  бойынша бірқалыпты ұмтылады.

(13) формуласындағы  $x_{sing}(t, \varepsilon)$  сингулярлы қосылғышы (10) шартын қанағаттандыратын  $t$  аргументінің мәндерінде ғана  $O(\varepsilon)$  дәлдігін беретіні теоремада айтылған еді. (5) теңдеудегі  $G(y)$  функциясы біздің мысалдың жағдайында тұрақты:  $G(y) \equiv 1$ . Сондықтан ол Липшиц шартын кез келген  $L \rightarrow +0$  тұрақтысымен орындайды:  $0 = \|G(y_2) - G(y_1)\| \leq L \|y_2 - y_1\|$ . Демек, (10) жинақтылық интервалы оң жағынан шектелмеген:  $\frac{1}{L} \rightarrow +\infty$ . Интервалдың

сол жағынан шекарасы үшін  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon |\ln \varepsilon| = 0$  болғандықтан, жинақтылық  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $0 \leq t < +\infty$  интервалында орын алуы тиіс. Осыдан  $\varepsilon$  параметрінің басқа мәндерінде  $0 \leq t < \varepsilon |\ln \varepsilon|$  шекаралық қабаты пайда болады да, осы интервалда  $x(t, \varepsilon)$  шешімі  $x^* = \sin(t + y_0)$  функциясына жақындалмайды деген қорытындыға келеміз.

*Шешімнің асимптотикалық жіктелінуі.* Жалпылықты кемітпей-ақ,  $y_0 = 0$  деп қабылдайық. Сонда  $x_0 = \sin(y_0) = 0$ . Енді (1)-(2) жүйесінің шешімінің асимптотикалық жіктелінуін қарастырайық. Асимптотикалық талдаудың жалпы тақырыптарына арналған теориялық сұрақтардың кеңірек баяндалуы мен тереңірек талдануы [4] жұмысында толығырақ қарастырылғанын айта кетуге тиіспіз. Мұнда біз техникалық тұрғыдан

күрделі асимптотикалық жіктеу үрдісін автоматтандырылған түрде компьютерде іске асыратын тәсілдерді ұсынамыз.

Жоғарыда айтылғандай, (12) есебінің шешімі белгілі:  $y(t) = y^*(t) = t + y_0$ . Ал (11) есебінің  $x(t, \varepsilon)$  шешімін асимптотикалық жолмен іздеу үшін регулярлы және сингулярлы мүшелерден құрастырылатын қатарды жазайық:  $\Omega(t, \varepsilon) = R(t, \varepsilon) + S(\tau, \varepsilon)$ , мұндағы  $R(t, \varepsilon) := \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon^i u_i(t)$ ,  $S(\tau, \varepsilon) := \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon^i \Pi_i(\tau)$ ,  $\tau = \frac{t}{\varepsilon}$ ,  $\Pi_k(\tau)$  функциялары  $u_0(0) + \Pi_0(0) = \sin y_0$ ,  $u_k(0) + \Pi_k(0) = 0$  бастапқы шарттарын қанағаттандырады. Егер қатардың алғашқы  $k+1$  мүшесімен шектелуді тура тапсақ, онда программаға  $k$  мәнін енгізіп,  $R_k(t, \varepsilon) := \sum_{i=0}^k \varepsilon^i u_i(t)$  және  $S_k(\tau, \varepsilon) := \sum_{i=0}^k \varepsilon^i \Pi_i(\tau)$  дербес қосындыларын табамыз:

**for**  $i$  **from** 1 **to**  $k$  **do**

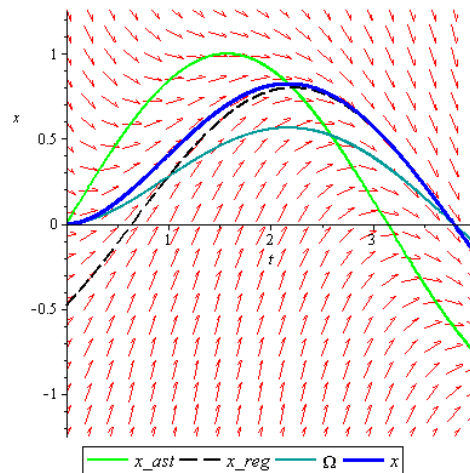
$$u_i := \text{factor}\left(-\frac{d}{dt}u_{i-1}\right) : R := R + \varepsilon^i \cdot u_i :$$

$$\Pi_i := -\text{subs}(t=0, u_i) \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot t}{\varepsilon}\right) : S := S + \varepsilon^i \cdot \Pi_i$$

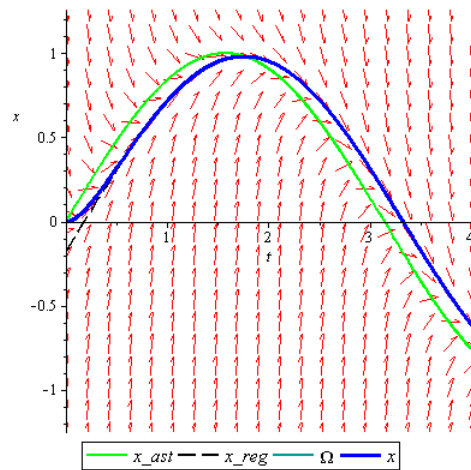
**end do**:

Мысалы,  $k=3$  болғанда  $\Omega_3(t, \varepsilon)$  дербес қосындысы үшін мынаны аламыз:  $\Omega := \sin(t) - \varepsilon \cos(t) - \varepsilon^2 \sin(t) + \varepsilon^3 \cos(t) + (-\varepsilon^3 + \varepsilon) e^{-\frac{t}{\varepsilon}}$

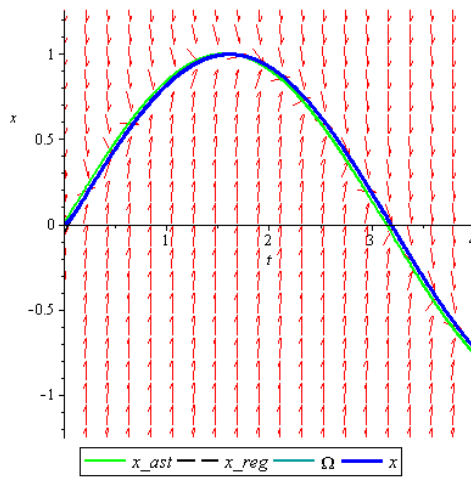
4-6-суреттерде  $\varepsilon = \frac{3}{4^p}$ ,  $p=1,2,3$ , мәндеріндегі нәтижелер бейнеленген.



Сурет 4.  $\varepsilon = \frac{3}{4}$ :  $x^*(t)$ ,  $x_{reg}(t, \varepsilon)$ ,  $\Omega_3(t, \varepsilon)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары



Сурет 5.  $\varepsilon = \frac{3}{16}$ :  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon), \Omega_3(t, \varepsilon)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары



Сурет 6.  $\varepsilon = \frac{3}{64}$ :  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon), \Omega_3(t, \varepsilon)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары

Алынған нәтижелерге талдау жүргізейік. Теорияға сай  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon), \Omega_3(t, \varepsilon)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары бірі-біріне ұмтылуы тиіс.

Расында да, мысалы, 6-суреттен бұл функциялар  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{3}{64}$  мәнінде дерлік беттесіп қалғандарын көруге болады. Ал  $x_{reg}(t, \varepsilon_0), \Omega_3(t, \varepsilon_0)$  және  $x(t, \varepsilon_0)$  функцияларының компьютерде табылған өрнектері сәйкесінше мынадай:

> subs( $\varepsilon = \varepsilon_0, x_{reg}$ ); subs( $\varepsilon = \varepsilon_0, \Omega$ ); subs( $\varepsilon = \varepsilon_0, x$ );

$$-\frac{192}{4105} \cos(t) + \frac{4096}{4105} \sin(t)$$

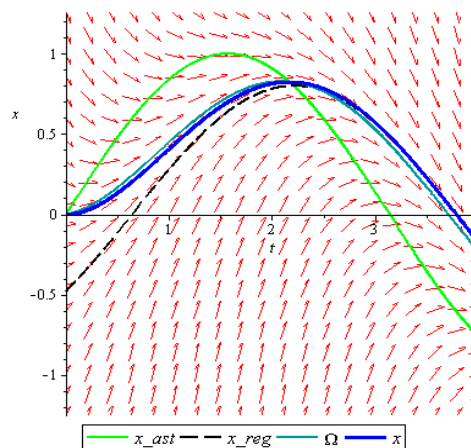
$$\frac{4087}{4096} \sin(t) - \frac{12261}{262144} \cos(t) + \frac{12261}{262144} e^{-\frac{64}{3}t}$$

$$\frac{192}{4105} e^{-\frac{64}{3}t} - \frac{192}{4105} \cos(t) + \frac{4096}{4105} \sin(t)$$

$\varepsilon$  параметрінің нөлден алшақ мәндерінде, мысалы,  $\varepsilon = \frac{3}{4}$  мәнінде 4-суреттен  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon), \Omega_3(t, \varepsilon)$  және  $x(t, \varepsilon)$  функциялары бірі-бірімен үлкен айырмашылықта болатынын байқаймыз. Дегенмен, айта кететін жағдай,  $\Omega(t, \varepsilon)$  асимптотикалық қатарында қосылғыштардың  $k$  санын арттыру арқылы мұның  $\Omega_k(t, \varepsilon)$  дербес қосындылары мен  $x(t, \varepsilon)$  ізделінді шешімін талап етілген дәлдікке дейін жақындатуға мүмкін. Мысалы,  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{3}{4}$  мәнін сақтай отырып, қатардың алғашқы мүшелерінің санын  $k = 8$  дейін өсіріп көрейік. Сонда  $\Omega_8(t, \varepsilon_0)$  қосындысы  $x(t, \varepsilon_0)$  функциясын жеткілікті дәлдікте жуықтайды да, ал қалған  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon_0)$  функциялары ешқандай өзгерусіз қалады, себебі бұлар  $k$  санынан тәуелсіз (4-суретті 7-суретпен салыстырыңыз).

$\Omega_8(t, \varepsilon_0)$  үшін мынадай өрнек алынады:

$$\frac{280857857395105}{281474976710656} \sin(t) - \frac{205706438517}{4398046511104} \cos(t) + \frac{205706438517}{4398046511104} e^{-\frac{64}{3}t}$$



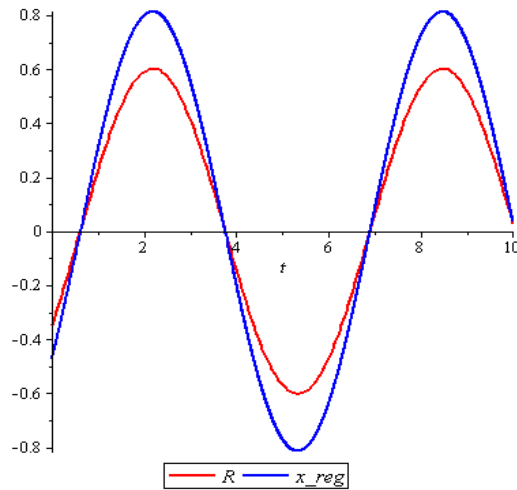
Сурет 7.  $\varepsilon_0 = \frac{3}{4}$ :  $x^*(t), x_{reg}(t, \varepsilon_0), \Omega_8(t, \varepsilon_0)$  және  $x(t, \varepsilon_0)$  функциялары

Талдауымызды жалғастырайық. Нақтысында регулярлы мүшелердің  $R(t, \varepsilon)$  қосындысы шешімнің  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  регулярлы бөлігінің бірқалыпты асимптотикалық жуықтауы болатындығы теорияда айтылады. Осыны тексере кетейік.  $k = 3$  болсын. Сонда  $R_3(t, \varepsilon) = \sin t + O(\varepsilon)$  болатыны айқын. Сонымен бірге,  $x_{reg}(t, \varepsilon) = \sin t + O(\varepsilon)$  теңдігін де білеміз. Айталық, мысалға,  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{5}{7}$  болсын. Сонда  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  және  $R_3(t, \varepsilon)$  функциялары сәйкесінше келесі түрде болады:

$$\begin{aligned} &> \text{subs}(\varepsilon = \varepsilon_0, x_{reg}); \text{subs}(\varepsilon = \varepsilon_0, R); \\ &- \frac{35}{74} \cos(t) + \frac{49}{74} \sin(t) \end{aligned}$$

$$\frac{24}{49} \sin(t) - \frac{120}{343} \cos(t)$$

$x_{reg}(t, \varepsilon)$  және  $R_3(t, \varepsilon)$  функцияларының графиктері 8-суретте келтірілген.



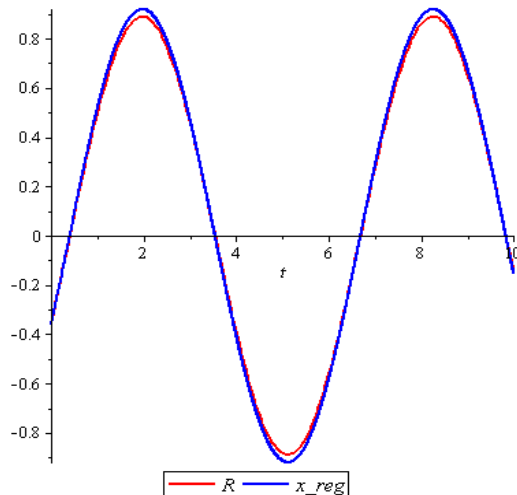
Сурет 8.  $\varepsilon = \frac{5}{7}$ :  $R_3(t, \varepsilon)$  және  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  функциялары

$\varepsilon$  параметрін азайтып көрейік:  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{3}{7}$  болсын. Сонда  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  пен  $R_3(t, \varepsilon)$  мына түрге келеді:

$$-\frac{21}{58} \cos(t) + \frac{49}{58} \sin(t)$$

$$\frac{40}{49} \sin(t) - \frac{120}{343} \cos(t)$$

Бұлардың графиктері 9-суретте келтірілген.



Сурет 9.  $\varepsilon = \frac{3}{7}$ :  $R_3(t, \varepsilon)$  және  $x_{reg}(t, \varepsilon)$  функциялары

Тура осылайша сингулярлы мүшелердің  $S(\tau, \varepsilon)$  қосындысы сәйкесінше шешімнің  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  сингулярлы бөлігінің бірқалыпты асимптотикалық жуықтауы болады. Расында да

$$S_3(\tau, \varepsilon) = (\varepsilon - \varepsilon^3)e^{-\tau} = O(\varepsilon)e^{-\tau}, \quad x_{\text{sing}}(t, \varepsilon) = \frac{\varepsilon e^{-\frac{t}{\varepsilon}}}{\varepsilon^2 + 1} = O(\varepsilon)e^{-\tau}.$$

Параметрдің  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{5}{7}$  мәнінде  $S_3(\tau, \varepsilon)$  және  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  функциялары келесі түрде болады (графиктерін 10-суреттен қараңыз):  
> `subs(ε = ε0, x_sing); subs(ε = ε0, S)`

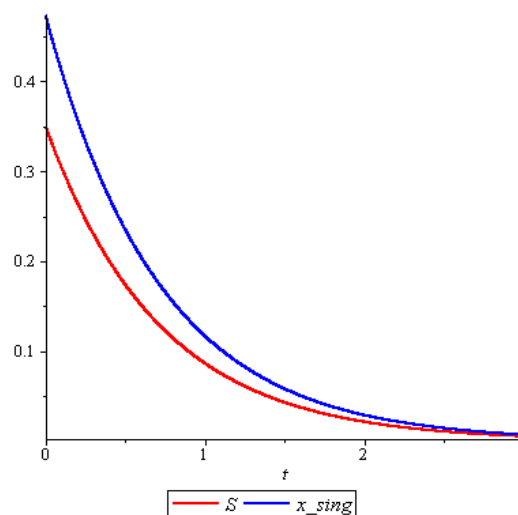
$$\frac{35}{74} e^{-\frac{7}{5}t}$$

$$\frac{120}{343} e^{-\frac{7}{5}t}$$

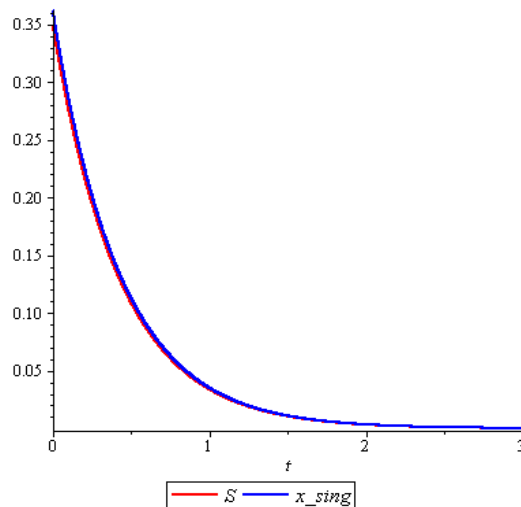
Сәйкесінше төменде  $\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{3}{7}$  кезіндегі  $S_3(\tau, \varepsilon)$  және  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  функциялары келтірілген (графиктерін 11-суреттен қараңыз):

$$\frac{21}{58} e^{-\frac{7}{3}t}$$

$$\frac{120}{343} e^{-\frac{7}{3}t}$$



Сурет 10.  $\varepsilon = \frac{5}{7}$ :  $S_3(\tau, \varepsilon)$  және  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  функциялары



Сурет 11.  $\varepsilon = \frac{3}{7}$ :  $S_3(\tau, \varepsilon)$  және  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  функциялары

**Қорытынды.** Алынған нәтижелерден мынаны қорытындылаймыз:

1) (11) есебінің  $x(t, \varepsilon)$  шешімін  $x_{\text{reg}}(t, \varepsilon) + x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  түрінде көрсетуге болады, мұндағы  $x_{\text{reg}}(t, \varepsilon)$  регулярлы қосылғышы  $\varepsilon \rightarrow 0$  кезінде  $x^*(t)$  функциясына  $0 \leq t < +\infty$  интервалында  $t$  бойынша бірқалыпты жинақталады.

2) Алайда  $x_{\text{reg}}(t, \varepsilon)$  функциясының  $x(t, \varepsilon)$  шешіміне бірқалыпты жинақталуына  $0 \leq t < \varepsilon |\ln \varepsilon|$  шекаралық қабаты кедергі жасайды. Мұндай жинақтылық тек  $\varepsilon |\ln \varepsilon| \leq t < +\infty$  интервалында сақталады.

3)  $R(t, \varepsilon)$  қосындысы  $x_{\text{reg}}(t, \varepsilon)$  функциясының  $0 \leq t < +\infty$  интервалындағы бірқалыпты асимптотикалық жуықтауы болып табылады. Сәйкесінше,  $S(\tau, \varepsilon)$  қосындысы  $x_{\text{sing}}(t, \varepsilon)$  сингулярлы бөлігін  $0 \leq t < +\infty$  интервалында бірқалыпты асимптотикалық жуықтайды.

4)  $\Omega(t, \varepsilon) = R(t, \varepsilon) + S(\tau, \varepsilon)$  қосындысы  $x(t, \varepsilon)$  функциясының  $0 \leq t < +\infty$  интервалындағы бірқалыпты асимптотикалық жуықтауы болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тихонов, А.Н. О зависимости решений дифференциальных уравнений от малого параметра [Текст] / А.Н. Тихонов // Матем. сборник. – 1948. – Т.22(64), №2. – С.193-204.
2. Тихонов, А.Н. Системы дифференциальных уравнений, содержащих малые параметры [Текст] / А.Н. Тихонов // Матем. сборник. – 1952. – Т.31(73), №3. – С.575-586.
3. Berglund, N. Perturbation Theory of Dynamical Systems. Switzerland, Zurich, 2001. Also available at: <https://arxiv.org/abs/math/0111178v1>.
4. Васильева, А.Б. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений [Текст] / А.Б. Васильева, В.Ф. Бутузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.

Материал редакцияға 21.12.18 түсті.

---

**Н.А. Абиев, А.Е. Пернебаева***Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан***КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕОРЕМЫ ТИХОНОВА  
ДЛЯ СИСТЕМ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Настоящая работа посвящена изучению медленных многообразий систем сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений. Основной целью является реализация асимптотических методов теории сингулярно возмущенных уравнений на системах аналитических вычислений. Осуществлена интерпретация классической теоремы Тихонова в системе Maple.

**Ключевые слова:** система сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений, пограничный слой, асимптотическое разложение, медленное многообразие.

**N.A. Abiev, A. Pernebayeva***M.Kh.Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan***COMPUTER INTERPRETATION OF TIKHONOV'S THEOREM FOR  
SYSTEMS OF SINGULARLY PERTURBED DIFFERENTIAL  
EQUATIONS**

This paper is devoted to the study of slow manifolds of systems of singularly perturbed differential equations. The main goal is to implement the asymptotic methods of the theory of singularly perturbed equations on systems of analytical calculations. The interpretation of Tikhonov's classical theorem in the Maple system is realized.

**Keywords:** systems of singularly perturbed differential equations, boundary layer, asymptotic expansion, slow manifold.



## Технология продовольственных продуктов

УДК 664.765

**Е.Н. Урбанчик<sup>1</sup>, М.Н. Галдова<sup>2</sup>, А.И. Масальцева<sup>2</sup>, Н.А. Горбатовская<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>2</sup>Аспирант, <sup>3</sup>Канд. техн. наук, профессор<sup>1,2</sup>Могилевский государственный университет продовольствия,  
г. Могилев, Республика Беларусь<sup>3</sup>Таразский государственный университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

### СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА

В последние годы учеными широко обсуждается проблема дефицита безглютеновых продуктов отечественного производства. На рынке страны представлены импортные продукты, имеющие высокую ценовую категорию и низкие потребительские свойства. С целью импортозамещения дорогостоящих безглютеновых продуктов актуальным является получение безглютеновых продуктов на основе местного растительного сырья. В статье представлена принципиальная схема получения биологически активной смеси на основе пророщенного зерна проса. Определены оптимальные режимы замачивания и проращивания зерна проса водно-воздушным способом. На основании полученных данных рекомендованы оптимальные режимы проращивания: температура +15 °С; продолжительность замачивания в пределах 7-8 ч, продолжительность проращивания - 78±1 ч. Подобраны режимы сушки, измельчения пророщенного зерна проса. На основании проведенных исследований разработаны требования к зерну проса, как к сырью для получения биологически активной смеси, используемой в производстве безглютеновых продуктов. Получен новый биологически активный продукт с высокой пищевой ценностью.

**Ключевые слова:** проращивание, зерно проса, биологически активная смесь, безглютеновые продукты, пищевая ценность, пищевая промышленность.

В настоящее время активно изучаются проблемы питания для лиц, страдающих генетически обусловленными и аллергическими заболеваниями. К таким заболеваниям относится целиакия. Целиакия является неизлечимым пищевым заболеванием и проявляется в непереносимости глютена – белка, который содержится в злаковых культурах [1]. С развитием диагностики данного заболевания стала проявляться тенденция распространения данной болезни среди разных групп населения, начиная преимущественно от детей и заканчивая взрослыми. Единственным лечением целиакии является строгое соблюдение безглютеновой диеты. Основным принципом безглютеновой диеты является исключение из рациона питания всех злаков, содержащих глютен, а также продуктов, которые могут их содержать.

Целью данного исследования является получение биологически активной смеси для производства безглютеновых продуктов на основе местного растительного сырья – проса.

Зерно проса является востребованной культурой продовольственного и кормового назначения, отличающееся невысокой требовательностью к почвенно-климатическим условиям. Кроме того, просо является ценной культурой с точки зрения ее высокой пищевой ценности. Зерно содержит большое количество клетчатки, которая очищает кишечник от токсинов и продуктов распада [2]. Просо входит в список наиболее популярных продуктов среди вегетарианцев. Меню данной категории людей включает огромное количество блюд с его использованием. Зерно применяют для приготовления биточков, галет, голубцов, кладут крупу в супы и другие первые блюда. Просо можно использовать для кулинарных экспериментов и соединять с другими ингредиентами, получая новые блюда [3].

На основании исследований, проведенных ранее [4], повышение биологической и пищевой ценности продукта достигается путем проращивания зерна проса. Уникальные изменения биохимического состава зерна связаны с процессом гидролиза запасных веществ эндосперма и синтезом новых веществ в зародыше. В литературе приведены некоторые сведения о биохимических изменениях биологически активных веществ зерна проса в процессе проращивания. В течение 48 ч проращивания выявлено значительное снижение количества крахмала и увеличение содержания сахара. При проращивании зерна проса в течение 96 часов отмечено уменьшение количества танинов и фитатов ниже предела обнаружения. Танины обладают дубильными свойствами и характерным вяжущим вкусом, который снижает потребительские свойства продукции на основе зерна проса. Фитаты – это антипитательное вещество, снижающее доступность содержащихся в рационе питательных веществ. Вред фитиновой кислоты заключается в том, что она способна связывать фосфор, магний, кальций, железо и другие минеральные вещества в пищеварительном тракте с помощью эфирных связей. В связи с этим поступление полезных микромакроэлементов в организм человека значительно уменьшается, что отрицательно сказывается на здоровье. При проращивании зерна проса в течение 96 часов активность ингибиторов трипсина уменьшалась, а количество усвояемого белка значительно увеличивалось.

Принципиальная схема получения биологически активной смеси на основе пророщенного зерна проса представлена на рисунке 1.

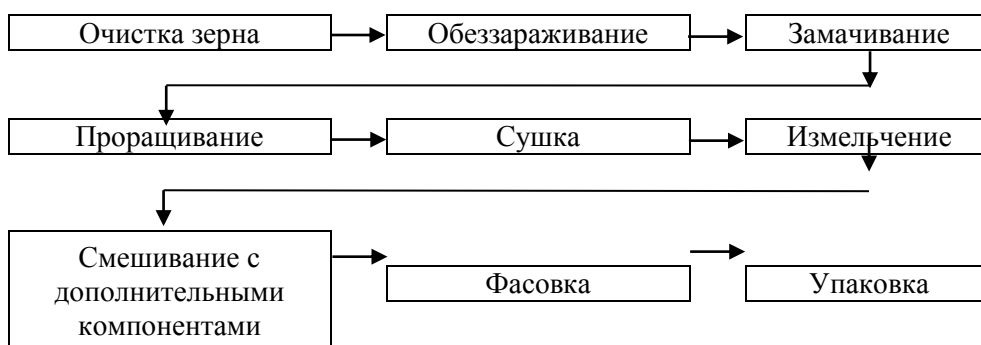


Рис. 1. Принципиальная схема получения биологически активной смеси на основе пророщенного зерна проса

Исследования выполнялись на базе кафедры технологии хлебопродуктов и научно-технологического центра «Техностарт» Могилевского государственного университета продовольствия.

Объектом исследований являлась партия зерна проса продовольственного 2017 года урожая.

На первом этапе исследований были отобраны пробы зерна проса продовольственного (ГОСТ 13586.3–83.). Образцы зерна в лабораторных условиях кафедры «Технологии хлебопродуктов» подвергали очистке на комплексной лабораторной зерноочистительной установке QC-123. Сорная примесь в пробе составила 2,0 % в том числе минеральная 0,3 %, вредная примесь – гелиотроп опушенноплодный и триходесма седая не обнаружены, зерновая примесь составила 5,0 %, зараженность вредителями хлебных запасов не обнаружена. Визуальная оценка показала, что в образцах исследуемого зерна не обнаружено проросшего в поле зерна, отсутствуют посторонние запахи, оболочки тонкие и бесцветные. На основании полученных данных разработаны нормы предельно допустимого содержания примесей в зерне проса, направляемого на проращивание. Оценка качества зерна перед проращиванием включала определение физико-химических показателей качества и семенных свойств зерна (таблица 1).

Таблица 1

Физико-химические показатели качества образцов зерна проса продовольственного

Показатель	Значение
Массовая доля влаги, %	13,0±1,5
Натура, г/л	840±2
Масса 1000 зерен, г	20,1±0,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,35±0,01
Объем зерновки, мм <sup>3</sup>	0,70±0,015
Энергия прорастания, %	55±2
Всхожесть, %	76±2

Исследуемые показатели натуры, массы 1000 зерен, плотности зерна, объема зерновки, лежат в пределах среднестатистических значений. Степень прорастания зерна проса оценивали по значению показателей энергии прорастания и всхожести. Анализ полученных данных показал, что зерно проса обладает невысокой энергией прорастания, которая составила 55±2 % и достаточно высоким значением всхожести – 76±2 %. В связи с этим исследуемое зерно можно отнести к пригодному для проращивания с целью получения биологически активной смеси.

Второй этап исследований включал оптимизацию условий проращивания зерна проса.

Во избежание протекания нежелательных процессов, таких как брожение и закисание зерна проса, процесс проращивания осуществлялся водно-воздушным способом. Данный способ заключался в чередовании водно-воздушных пауз. Проращивание зернового сырья проводили в термостате при температуре воздуха 15 °С и относительной влажности воздуха 85 %. Замачивание и проращивание зерна осуществлялось в водопроводной воде, температура которой составляла 10 ± 2 °С. Перед замачиванием проводили обеззараживание. В качестве дезинфицирующего

средства применяли марганцовокислый калий (KMgO<sub>4</sub>) из расчета 25 г на 1 м<sup>3</sup> воды.

Для оптимизации условий проращивания использовали показатель активности роста – критерий, комплексно характеризующий процесс прорастания [5].

Активность роста зерна (% · ч<sup>-1</sup>) определяли по формуле (1):

$$Ap = k_n / \tau_n, \quad (1)$$

где:  $k_n$  – количество проросших зерен с длиной ростка не более 5 мм, %;  $\tau_n$  – продолжительность прорастания зерна, ч [5].

Влага проникает внутрь зерна через микрокапиллярные отверстия зародыша и мякинную оболочку, обеспечивая активацию ферментов и жизнедеятельности зерна проса. Анализ полученных данных показал, что при замачивании зерна проса водой в течении 7-8 часов наблюдается максимальное количество проросших зерен – 78±2 % при наименьшей продолжительности проращивания – 78±1 ч. При продолжительности замачивания, 3-4 и 5-6 ч происходит свободное проникновение воды в пустоты, находящиеся под оболочкой. При последующем нахождении зерна на воздухе влага испаряется, не обеспечивая переход в раствор питательных веществ и миграцию их к зародышу. В следствии чего зерно подсыхает, а продолжительность его проращивания увеличивается. При продолжительности замачивания, 9-10 и 11-12 ч интенсифицируется процесс брожения, продуктами которого ингибируется зародыш, вследствие чего количество проросших зерен уменьшается.

На рисунке 2 представлена математическая зависимость продолжительности проращивания от продолжительности замачивания.

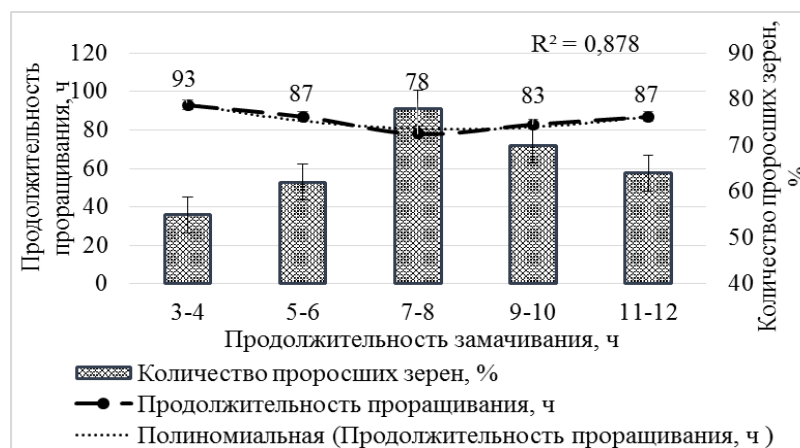


Рис. 2. Динамика процесса проращивания зерна проса

Получено уравнения регрессии, описывающее данную зависимость (формула 2):

$$y = 2,4286x^2 - 16,171x + 107,4, \quad (2)$$

где:  $y$  – продолжительность проращивания, ч;  $x$  – продолжительность замачивания, ч.

Изменения длины ростка зерна проса представлены в таблице 2. Длина ростка определялась с помощью металлической линейки ценой деления 1 мм.

Таблица 2

## Проращивание зерна проса

Продолжительность проращивания зерна, ч		Продолжительность замачивания зерна, ч				
		3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Характеристика зерна	0	без изменений				
	22±1	увеличение объема в 1,5 раза				
	36±1	увеличение объема в 2 раза				
	50±1	НЛК	НЛК	К = 1,5 мм	К = 1 мм	НБ
	64±1	К = 2,5 мм	Р = 2 мм	Р = 2,5 мм	Р = 1,5 мм	Р = 1 мм
	78±1	Р = 2 мм	Р = 3 мм	Р = 5 мм	Р = 5 мм	Р = 3 мм

Примечание: НЛК – наклонился корешок; НБ – набухло; К – корешок; Р – росток.

Сушка пророщенного зерна проса осуществлялась конвективным способом в лабораторной сушильной установке ЭЛВИН СУ-1 до влажности 10 %, при температуре агента сушки 60 °С. Продолжительность сушки составила 3,5 часа.

На рисунке 3 представлена математическая зависимость влажности зерна проса от продолжительности сушки.

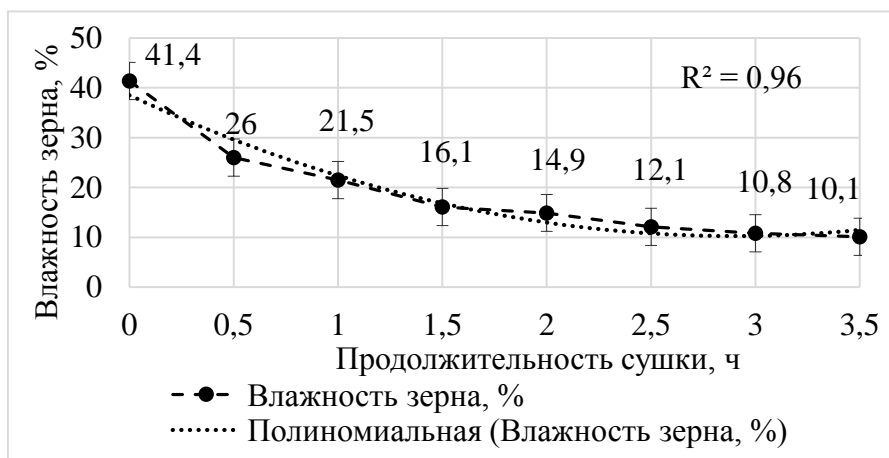


Рис. 3. Кривая сушки при температуре агента сушки 60 °С

Получено уравнения регрессии, описывающее данную зависимость (формула 3):

$$y = 3,369x^2 - 19,518x + 38,529, \quad (3)$$

где:  $y$  – влажность зерна, %;  $x$  – продолжительность сушки, ч.

Измельчение сухого пророщенного зерна проса проводили на лабораторной мельнице НК-820 с диаметром отверстий контрольного сита 0,8 мм. Определена гранулометрическая характеристика полученной смеси. Данные представлены на рисунке 4.

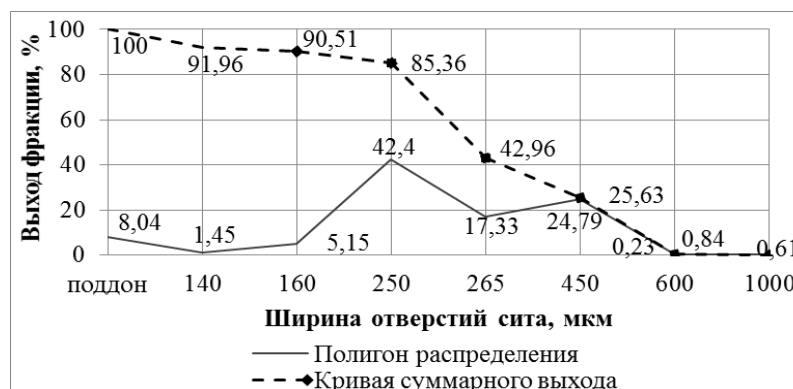


Рис. 4. Гранулометрическая характеристика смеси

Анализируя полученный полигон распределения, можно сделать вывод о том, что сито с размером отверстий 250 мкм делит исходную смесь на 2 потока (крупную и мелкую фракции). Крупная фракция смеси содержит большое количество клетчатки, микро- и макроэлементов. Мелкая фракция смеси содержит мелко измельченный эндосперм, а также в ней преобладает белково-углеводистый состав.

На основании проведенных исследований разработаны требования к зерну проса, как к сырью для получения безглютеновой биологически активной смеси.

По показателям безопасности (содержание токсичных элементов, пестицидов, микотоксинов) зерно проса должно соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции". Содержание радионуклидов в зерне не должно превышать действующих допустимых уровней, утвержденных в установленном порядке. Каждая партия сырья, поступающая для изготовления зернопродуктов из пророщенного зерна, должна сопровождаться соответствующими документами, подтверждающими его качество и безопасность.

Определены оптимальные режимы проращивания зерна проса при температуре 15 °С: продолжительность замачивания – 7-8 часов, продолжительность проращивания – 78±1 часа. Подобраны режимы сушки пророщенного зерна проса до влажности 10 %: продолжительность сушки составила 3,5 часа при температуре агента сушки 60 °С.

Крупность частиц измельченного продукта составила 250-450 мкм для 84,5 % продукта.

Полученный новый биологически активный продукт, отличается высокими пищевыми достоинствами и рекомендуется для использования в производстве безглютеновых продуктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыганова, Т. Формирование рецептур для производства безбелковых и безглютеновых продуктов [Текст] / Т. Цыганова, Д. Шнейдер, Е. Костылева [и др.] // Хлебопродукты. – 2011. – №12. – С. 44-46.
2. Урбанчик, Е.Н. Изучение семенных свойств зерна проса как основы для создания биологически активного сырья [Текст] / Е.Н. Урбанчик, А.И. Масальцева // Проблемы формирования здорового образа жизни у

- молодежи // Материалы XI Всеукраинской научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием (4-6 октября 2018 г.). – Одесса: ОНАПТ, 2018. – С. 65-66.
3. Разработка блюд и рецептур для больных целиакией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eduherald.ru/pdf/2017/2/17165.pdf>
  4. Урбанчик, Е.Н. Сухие зерновые смеси и оценка возможности их использования в производстве косметических масок [Текст] / Е.Н. Урбанчик, А.Е. Шалюта, М.Н. Галдова // Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана: материалы науч.-практ. конф., г. Минск, 13 октября 2016 г. / БНТУ. – Минск, 2016. – С. 228-229.
  5. Способ оптимизации проращивания зерна или семян по методу поэтапного воздушно-водяного замачивания [Текст]: пат. 20250 С2 Респ. Беларусь / Е.Н. Урбанчик, А.Е. Шалюта; заявитель Могил. гос. ун-т прод. – № а 20130033; заявл. 30.06.2013; опубл. 30.08.2016 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С.77 .

Материал поступил в редакцию 11.12.18.

**Е.Н. Урбанчик<sup>1</sup>, М.Н. Галдова<sup>1</sup>, А.И. Масальцева<sup>1</sup>, Н.А. Горбатовская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Могилев мемлекеттік азық-түлік университеті, Могилев қ., Беларусь Республикасы

<sup>2</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан

### ӨНГЕН ДӘН НЕГІЗІНДЕ ГЛЮТЕНСІЗ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ҚОСПАЛАР АЛУ ТӘСІЛІ

Мақалада өнген дән негізінде биологиялық белсенді қоспа алудың сұлбасы келтірілген. Тары дәндерінің сулы-ауалы тәсілмен ылғалдандыру және өсірудің оңтайлы режимдері анықталды. Алынған деректер негізінде өсірудің оңтайлы режимдері ұсынылды: температура +15 °С; ылғалдау ұзақтығы 7-8 сағат, өсіру ұзақтығы - 78±1 сағат. Өнген тары дәнін құрғату, ұнтақтау режимдері таңдалды. Орындалған зерттеу нәтижесінде глютенсіз өнімдер өндірісінде пайдаланылатын биологиялық белсенді қоспалар алу үшін тар дәніне қойылатын талаптар дайындалды. Тағамдық құндылығы жоғары жаңа биологиялық белсенді өнім алынды.

**Тірек сөздер:** өскіндеу, тары дәні, биологиялық белсенді қоспа, глютенсіз өнімдер, тағамдық құндылығы, тамақ өнеркәсібі.

**E.N. Urbanchik<sup>1</sup>, M.N. Galdova<sup>1</sup>, A.I. Masaltseva<sup>1</sup>, N.A. Gorbatovskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mogilev State Food University, Mogilyov, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

### METHOD OF OBTAINING A GUT-FREE BIOLOGICALLY ACTIVE MIXTURE BASED ON SPRINGED GRAIN

The article presents a schematic diagram of obtaining a biologically active mixture based on germinated grain. The optimal modes of soaking and germination of millet grains by water-air method are determined. On the basis of the data obtained, optimum germination regimes are recommended: temperature +15 ° C; soaking time is within 7-8 hours, germination time is 78 ± 1 h. The drying and grinding modes of the germinated millet grain are selected. Based on the research

conducted, requirements for millet grains were developed as raw materials for obtaining a biologically active mixture used in the production of gluten-free products. A new biologically active product with high nutritional value was obtained.

**Keywords:** germination, millet grain, biologically active mixture, gluten-free products, nutritional value, food industry.

УДК 627.54'65

С.В. Бондарь<sup>1</sup>, Л.У. Войцеховская<sup>2</sup>, Ю.И. Охрименко<sup>3</sup>, С.Б. Вербицкий<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Аспирант, вед. инженер, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, зав. отделом технологии мясных продуктов, <sup>3</sup>Гл. специалист, <sup>4</sup>Канд. техн. наук., зам. зав. отделом информационного обеспечения, стандартизации и метрологии

Институт продовольственных ресурсов Национальной академии аграрных наук Украины, г. Киев

Электронная почта: <sup>1</sup>svetlanabond-89@rambler.ru, <sup>2</sup>meat@ipr.net.ua, <sup>3</sup>ochrim878@gmail.com, <sup>4</sup>verb@ipr.net.ua

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕПАРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА КАЧЕСТВО МЯСА ПТИЦЫ, МЕХАНИЧЕСКИ ОТДЕЛЕННОГО

Нормативными документами Украины введены такие категории, как мясо птицы, отделенное с помощью механических средств, мясо механической обвалки (с существенно измененной структурой ткани) и мясо, механически отделенное (структура ткани которого не претерпела существенных изменений). Проведены исследования основных типов оборудования, применяемых для механического сепарирования мясокостного сырья из птицы, позволяющего получить продукт категории мяса, механически отделенного. Меньшим содержанием костных включений отличался продукт, полученный на ленточных сепараторах. Содержание костных включений в продукте было тем большим, чем больше был его установленный выход. По результатам исследований составлена база данных линейных размеров и фракционного состава костных включений в продукте, изготовленном с применением основных типов специализированного оборудования.

**Ключевые слова:** костные включения, мясо птицы отделенное с помощью механических средств, мясо птицы механически отделенное, мясо птицы механической обвалки, ленточный сепаратор, шнековый сепаратор.

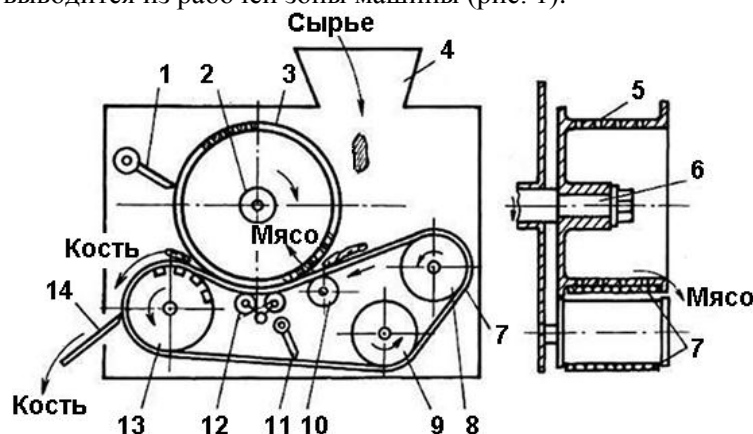
**Вступление.** Опережающие темпы развития в Украине промышленного птицеводства обеспечили значительный прирост производства мяса птицы и позволили обеспечить этим ценным белковым продуктом отечественных потребителей, а также поставлять его на экспорт. Соответственно, изменилась и сырьевая база мясной индустрии: на сегодня до 75 мяса, поступающего на переработку, является мясом птицы. Этот вид сырья все активнее применяется в рецептурах мясных изделий – как цельномышечных, так и фаршевых. Вместе с фаршами, получаемыми путем измельчения мяса после ручной и автоматической обвалки тушек птицы и их



частей, птицеперерабатывающие и мясоперерабатывающие предприятия производят значительные объемы мясных масс, образующихся при механическом сепарировании мышечной и костной ткани птицы [1]. Традиционно все эти массы называют мясом механической обвалки птицы, однако исследования показали, что массы, полученные с помощью сепарирующих устройств различной конструкции, а также в разных технологических режимах, существенно отличаются по своим свойствам – прежде всего, по степени разрушения мышечных волокон, по содержанию костных включений и по их размеру. Ранее в международной практике также использовались обобщенные термины Mechanically recovered meat (MRM) – механически восстановленное мясо и Mechanically deboned meat (MDM) – мясо механической обвалки, однако в Регламенте (ЕС) № 853/2004 Европейского парламента и Совета от 29 апреля 2004 г [2] терминология, относящаяся к массам, полученным в результате механической сепарации, была унифицирована. В положениях Регламентa (ЕС) № 853/2004 указывалось, что обозначение мяса механически отделенного ММО (mechanically separated meat – MSM) должно быть общим, чтобы охватить все методы механического отделения. Быстрый технический прогресс в этой отрасли стал причиной принятия более гибкого определения, поскольку технические требования к ММО должны быть разными – исходя из оценок рисков относительно продуктов, полученных с использованием разных методов. Определение мяса механически отделенного ММО (mechanically separated meat – MSM) характеризует продукт, как полученный путем снятия мяса с соответствующих костей или с тушек птицы в процессе обвалки с помощью механических средств без изменения либо разрушения структуры мяса. Требования к ММО, произведенному с применением технологии, не изменяющей структуры мяса и обеспечивающей содержание кальция, которое не превышает значительно содержание указанного вещества в фарше, должны определяться отдельно. Регламенту (ЕС) № 853/2004 полностью соответствует терминология, введенная Приказом Министерства здравоохранения Украины от 06. 08. 2013 № 694 [3]: термин «мясо птицы, отделенное с помощью механических средств – м'ясо птиці, відокремлене за допомогою механічних засобів – МВМЗ» распространяется на все мясо механической сепарации. Термин «Мясо птицы, механически отделенное – м'ясо птиці, механічно відокремлене – ММВ» определяет массу, полученную путем механического отделения мякотных тканей от костей, при этом содержание кальция в указанной массе не должно значительно отличаться от его содержания в измельченном мясе ручной обвалки. Если содержание кальция в полученной массе значительно выше, чем в измельченном мясе птицы, такую массу называют «мясом птицы механической обвалки – м'ясом птиці механічного обвалювання – ММО» [4]. Указанные термины и соответствующие им аббревиатуры являются общепринятыми в украинской практике мясопереработки, поэтому мы будем использовать их при дальнейшем изложении материала статьи.

Существует несколько конструктивных схем оборудования для механической сепарации мяса птицы. Наиболее распространены на практике шнековые прессы, принцип действия которых основан на сжатии сырья под действием высокого давления в отверстиях перфорации. Мышечная ткань отделяется витками рабочего винта и кромками отверстий, мясокостное сырье разделяется на жидкообразную (мышечная ткань) и твердую (костный остаток) фракции. Практика показала, что зачастую рабочие органы таких

машин вызывает перегрева обрабатываемого сырья и соответственно, ухудшение технологических свойств ММО [5], которое имеет характерный привкус жженой кости и содержит мелкие, но многочисленные, фрагменты костной ткани, опасные для здоровья потребителей [6]. Поршневые сепараторы периодического действия оснащают мощным гидравлическим приводом, загруженное в бункер такого устройства мясокостное сырье прессуют с помощью поршня, при этом кусочки мышечной ткани протискиваются сквозь отверстия перфорированного цилиндра, а твердая фракция спрессовывается и удаляется после окончания цикла. Излишнее силовое воздействие рабочих органов машин поршневого типа может вызвать замятия мышечной ткани с нарушением ее структуры, что приводит к нежелательной пастообразной консистенции полученного ММО [5]. Наименьшие изменения структуры мышечной ткани обеспечивают ленточные сепарирующие машины, так как при обработке мясокостного сырья с помощью указанных устройств мышечная ткань подвергается только кратковременному сжатию, и получается мясная масса фаршеобразной консистенции без чрезмерного нагрева. По названию немецкой фирмы, впервые представившей оборудование такой конструкции, указанный процесс также называют «баадерованием». Важнейшим конструктивным элементом машин указанного типа является непрерывная лента, выполненная из неметаллического материала и имеющая адгезионную поверхность. Лента мягко снимает мясо с кости, после чего мясная масса через перфорированный барабан выводится из рабочей зоны машины (рис. 1).



1, 11 – скребок; 2, 3 – барабан; 4 – горловина; 5 – отверстия перфорированного барабана; 6 – вал; 7 – полимерная лента; 8, 9 – оборотные ролики; 10 – поддерживающий ролик; 12 – регулировочный ролик; 13 – приводной ролик; 14 – скребок для удаления костей [11]

Рис. 1. Схема работы ленточного устройства для сепарации мяса и костей

Обзор конструкций устройств для механической обвалки приведен, например в [4, 5, 9, 10], иерархия распространенных на практике устройств указанного назначения проиллюстрирована рис. 2. Следует отметить, что авторы [10] оперируют иными терминами для обозначения получаемой мясной массы: фаршеподобную массу с малоизмененной структурой они именуют «ММО низкого давления», мясную массу с разрушенной структурой ткани – «ММО высокого давления».

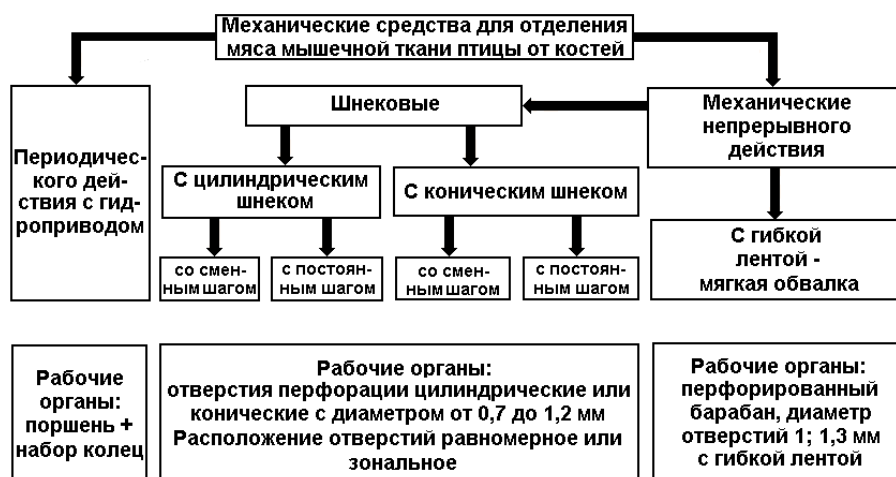


Рис. 2. Основные конструкции устройств для механической сепарации мяса птицы

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследований использовали тушки кур, цыплят-бройлеров второй категории и их части (каркасы цыплят-бройлеров, кур, спинки, окорочка, ножки, шеи без кожи).

Мясо птицы, механически отделенное, получали из указанного выше сырья на серийном технологическом оборудовании в промышленных условиях мясоперерабатывающих предприятий Украины:

- на ленточных сепараторах фирмы «Baader» (ЧП «Сегрос», Одесская обл.);
- на оборудовании системы «Reco Screen» (ЧАО «Мироновский хлебопродукт»);
- на оборудовании «AM2C» (ООО «Комплекс Агромарс», ЧАО «Кременчугмясо»);
- на шнековых сепараторах фирмы «Lima» (ЧП «Сегрос», Одесская обл.; Агрофирма «Столичная», Киевская обл.; ЧАО «Владимир-Волынская птицефабрика», Волынская обл.; ООО «Брусиловские колбасы», Житомирская обл. предоставило ММВ, импортированное из Польши).

Выделенные из образцов ММВ костные включения разделяли на фракции по размерам и определяли содержание каждой фракции в процентах. Выделение костных включений с ММВ выполняли путем растворения мышечной, жировой и, частично, соединительной ткани горячим слабо щелочным раствором. Нерастворенные частицы высушивали и промывали. Значения массовой доли костных включений имеют значительную погрешность по причине наличия в исследуемой пробе, кроме костных включений, также нерастворимых частиц сухожилий, соединительной ткани, измельченных стенок сосудов, остатков перьев и т.д. Для определения массовой доли костных включений была разработана и утверждена «Методика выполнения измерений массовой доли костных включений в мясопродуктах гравиметрическим методом МВИ 081 / 12-0690-10» [12], которая позволяет учитывать костные включения без указанных примесей. Полученные результаты измерений имеют более высокую точность и позволяют получить информацию касательно содержания костных включений не только в ММВ, а и в различных мясных изделиях,

изготовленных из него. Практическое использование указанной методики подробно описано в [13].

С помощью лабораторных сит с размерами отверстий решетки 1,6; 1,0; 0,5 мм костные включения разделяли на фракции по размерам – крупные (около 0,8 мм), средние (от 0,5мм до 0,8 мм), мелкие (менее 0,5 мм). Каждую фракцию взвешивали и определяли ее долю, %, к общей массе.

Размеры костных включений определяли путем фотографирования камерой «Саннон» с увеличительной функцией и наложением размерной сетки с ячейками 1 мм на изображение с помощью программы Photoshop CS6 (рис. 3).

Статистическую обработку полученных результатов проводили на основе подсчета среднеарифметических значений и средней квадратичной погрешности. Все экспериментальные данные являются результатами 3-5 параллельных определений.

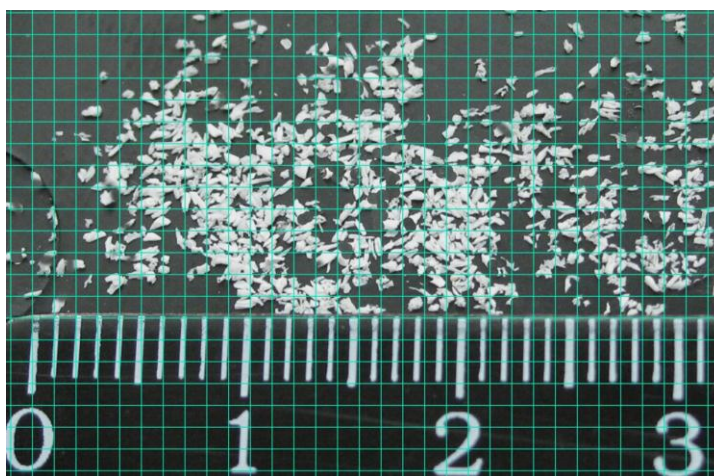


Рис. 3. Изображения выделенных костных включений с нанесенной размерной сеткой

**Результаты и обсуждение.** Проводили исследования ММВ, полученного на оборудовании «Baader» в промышленных условиях ЧП «Сегрос»: температура минус 2°C, выход 75%. На рис. 4 видно, что большая часть костных включений, выделенных из ММВ, произведенного на ленточных сепараторах марки «Baader», относится к средней фракции (от 0,5 мм до 0,8 мм), то есть почти половина костных включений (45,3%) , а вторая часть почти равномерно распределяется по другим фракциям – с наименьшим размером (менее 0,5 мм) и наибольшим размером (около 0,8 мм). Такое распределение костных включений по фракциям является характерной особенностью всех ленточных сепараторов (например, устройств «Seramatik»).

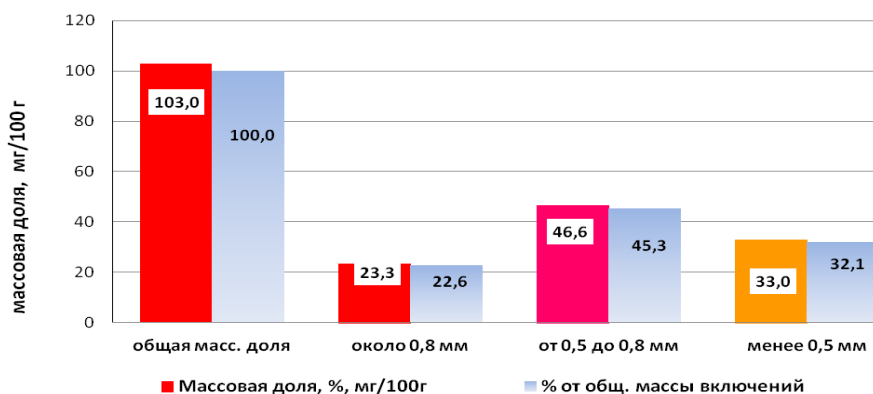


Рис. 4. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракции по размеру (ММВ выработано на оборудовании «Baader» в промышленных условиях ЧП «Сегрос»). Выход составлял 75%)

Костные включения, выделенные из ММВ, произведенного на шнековых сепараторах системы «Reco Screen» и «AM2C» (рис. 5-7), преимущественно относятся к фракции с наименьшим линейным размером (менее 0,5 мм), при минимальном выходе 66,5 -68,0% (ЧАО «Мироновский хлебопродукт», ООО «Комплекс Агромарс»). Увеличение выхода до 70% увеличивает фракцию костных включений среднего размера с 0,5 мм до 0,8 мм (ЧАО «Кременчугмясо»).

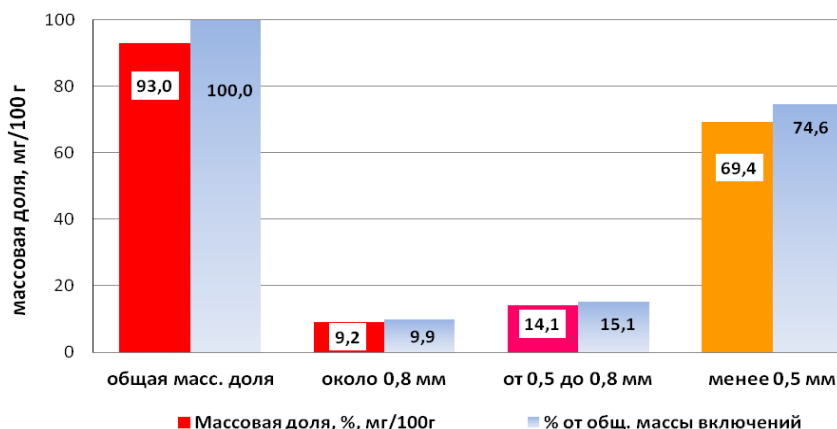


Рис. 5. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракции по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «Reco Screen» в промышленных условиях ЧАО «Мироновский хлебопродукт»). Выход составлял 66,5 %)

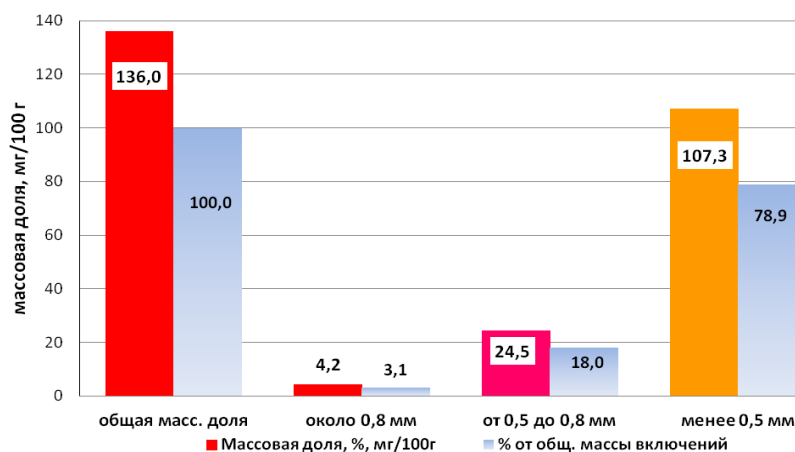


Рис. 6. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракциях по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «AM2C» в промышленных условиях ООО «Комплекс Агромарс»). Выход составлял 68%)

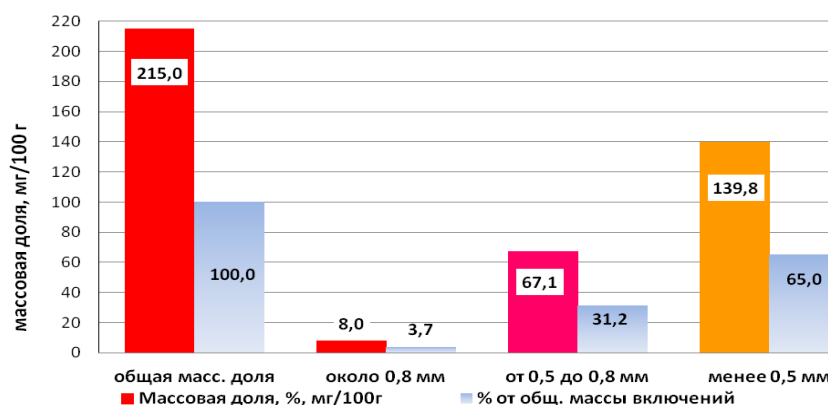


Рис. 7. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракциях по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «AM2C» в промышленных условиях ЧАО «Кременчукмясо». Выход составлял 70%)

Костные включения, выделенные из ММВ, произведенного на шнековых сепараторах фирмы «Lima» (рис. 8-10), относятся, преимущественно, к средней фракции с линейным размером от 0,5 мм до 0,8 мм и с наименьшим линейным размером (менее чем 0,5 мм), в зависимости от выхода ММВ: польского производства (предоставлено ООО «Брусилевские колбасы») – 70%; выработанного в Агрофирме «Столичная» – 72%, и в ЧП «Сегрос» – 73%.

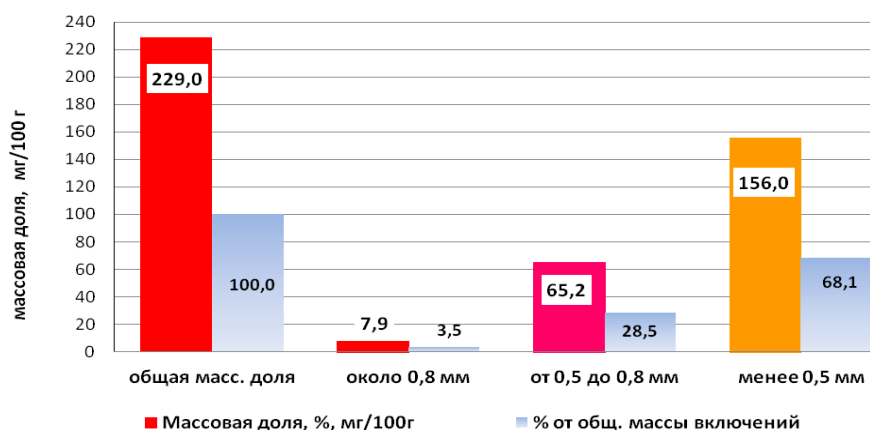


Рис. 8. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракции по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «Lima» в промышленных условиях ЧП «Сегрос». Для производства ММВ использовали части тушек цыплят-бройлеров при температуре минус 2°С, выход составлял 73 %)

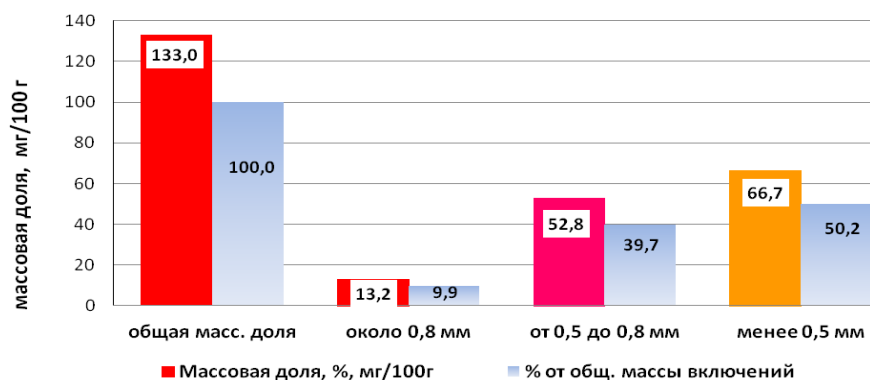


Рис. 9. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракции по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «Lima» в Польше и предоставлено ООО «Брусилковские колбасы». Для производства ММВ использовали тушки цыплят-бройлеров при температуре минус 1°С, выход 70 %)

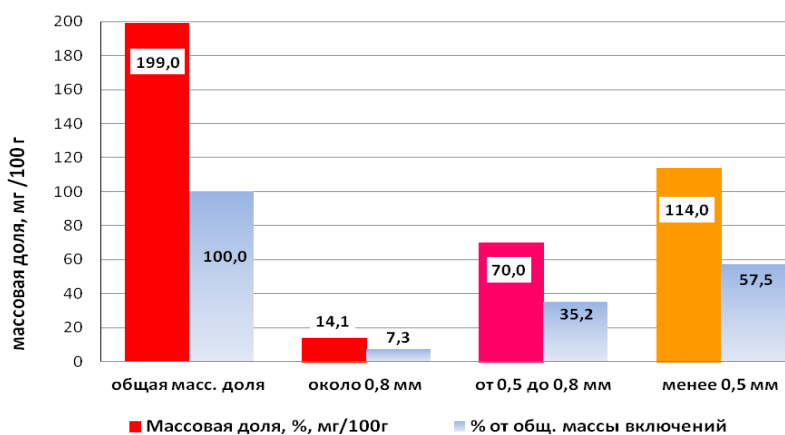


Рис. 10. Общее содержание костных включений, массовая доля, %, и распределение на фракции по размеру (ММВ выработано на шнековых сепараторах «Lima» в промышленных условиях Агрофирмы «Столичная». Для производства ММВ использовали части тушек цыплят-бройлеров при температуре минус 2°С, выход составлял 72 %)

Результаты исследований по определению массовой доли костных включений и разделение их на фракции по размерам стали основой для создания базы данных линейных размеров и фракционного состава костных включений ММВ, изготовленного на основных типах оборудования, используемого на предприятиях Украины (табл. 1). Результаты исследований зависимости выхода и содержания костных включений в ММВ от температуры и вида подвергаемого обработке сырья приведены в [9, 13].

Таблица 1

База данных линейных размеров и фракционного состава костных включений в ММВ, изготовленном с применением основных типов специализированного технологического оборудования

№	Название и вид оборудования	Выход ММВ, %	Массовая доля костных включений (общая), %	Фракционный состав по размерам			Примечание
				до 0,5 мм, %	от 0,5 до 0,8 мм, %	около 0,8 мм, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vaader ленточный сепаратор	75,0	0,103	32,1	45,3	22,6	ЧП «Сегрос»
2	Lima шнековый сепаратор	73,0	0,229	68,1	28,5	3,5	ЧП «Сегрос»
3	Lima шнековый сепаратор	70,0	0,133	50,2	39,7	9,9	Производство Польша
4	Lima шнековый сепаратор	72,0	0,199	57,5	35,2	7,3	Агрофирма «Столичная»
5	Reco Screen шнековый сепаратор	66,5	0,093	74,6	15,1	9,9	ЧАО «Миرونский хлебопродукт»
6	AM2C шнековый сепаратор	70,0	0,215	65,0	31,2	3,7	ЧАО «Кременчук-мясо»
7	AM2C шнековый сепаратор	68,0	0,136	78,9	18,0	3,1	ООО «Комплекс «Агромарс»
8	AM2C шнековый сепаратор	45,0	0,025	78,9	18,0	3,1	ЧАО «Владимир-Волынская птицефабрика»
9	AM2C шнековый сепаратор	50,0	0,023	77,3	21,9	3,8	ЧАО «Владимир-Волынская птицефабрика»



**Выводы.** Гармонизация национального законодательства Украины с нормативными документами Европейского Союза в сфере пищевой безопасности продуктов животного происхождения и введенная, в связи с этим, новая классификация пищевых масс, получаемых в результате механического сепарирования мясокостного сырья из тушек птицы и их частей, обусловила введение такой товарно-технологической категории, как мясо птицы, отделенное с помощью механических средств (МВМЗ), и его подкатегории – мясо механической обвалки (ММО) с существенно измененной структурой ткани и мясо, механически отделенное, (ММВ), структура ткани которого не претерпела существенных изменений.

В рамках комплексных исследований физико-химических и технологических свойств указанных продуктов проведено изучение основных типов оборудования, применяемого для механического сепарирования мясокостного сырья из птицы на профильных предприятиях Украины. Исследования показали, что мясо птицы, механически отделенное на установках ленточного типа, отличалось меньшим содержанием костных включений, чем указанный продукт, полученный на шнековых сепараторах. Результаты исследований также показали существенное влияние выхода мясной массы на содержание в ней костных включений: чем большим был выход, тем большим содержанием костных включений продукт отличался. Практические исследования машин для механической сепарации на предприятиях Украины позволили составить Базу данных линейных размеров и фракционного состава костных включений в ММВ, изготовленном с применением основных типов специализированного технологического оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондар, С.В. Результати порівняльних досліджень властивостей різних видів м'яса птиці, відокремленого за допомогою механічних засобів / С.В. Бондар, Ю.І. Охріменко, Т.Ю. Клишова, С.Б. Вербицкий // Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. / НААН України: Ін-т прод. ресурсів НААН України. – К.: ННЦ «ІАЕ», 2015. – № 5. – С. 64-71.
2. Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific rules for the organization of official controls on products of animal origin intended for human consumption / Official Journal of the European Union L 139, 30 April 2004.
3. Наказ про затвердження гігієнічних вимог до м'яса птиці та окремих показників його якості від 06. 08. 2013 № 694 / Міністерство охорони здоров'я України. – Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 серпня 2013 р. за № 1379/23911.
4. Вербицкий, С.Б. Отделенное с помощью механических средств [Текст] / С.Б. Вербицкий, Ю.И. Охрименко, С.В. Бондарь // Мясной бизнес. – 2015. – № 11 (150). – С. 44-46.
5. Вербицкий, С. Б. Інґредієнти успіху / С. Б. Вербицкий // Наше птахівництво. - 2012. - №2. - С. 80-82.
6. Nagy, J. Comparison of the quality of mechanically deboned poultry meat after different methods of separation / J. Nagy, et al. // Meso. – 2007. – Volume IX, br. 2, 92-95.
7. Домненко, А. О некоторых преимуществах мягких сепараторов [Текст] / А. Домненко // Мясной бизнес. – 2006. – № 3 (43). – с. 66.

8. Bibwe, B.R. Development of meat-bone separator for small scale fish processing / B.R. Bibwe, S. Hiregoudar, U.R. Nidoni, M., B. Shrestha // Journal of Food Science and Technology. – 2013. - Volume 50, No. 4, 763–769.
9. Бондар, С.В. Дослідження залежності виходу та вмісту кісткових включень м'яса птиці механічно відокремленого від температури та виду сировини / С.В. Бондар, Л.І. Войцехівська, С.Б. Вербицкий, Ю.І. Охріменко, Т.Ю. Клишова, С.Я. Соколова // Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. / НААН України: Ін-т прод. ресурсів НААН України. – В.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – № 8. – С. 86-92.
10. Дацук, И.Е. Современные направления в получении мяса птицы механической обвалки [Текст] / И.Е. Дацук, А.А. Бренч // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III Международной научно-практической конференции, Минск, 23-24 марта 2017 г. – Минск: БГАТУ, 2017. – С. 193-195.
11. Шершунов, В.А. Технологическое оборудование мясокомбинатов [Текст] / В.А. Шершунов, И.М. Кирик. – Минск: Мисанта, 2012. – 984 с.
12. Методика виконання вимірювань масової частки кісткових включень гравіметричним методом. Свідоцтво про атестацію МВВ 081/12-0690-10 від 30.06.2010 р. К., 2010. – 28 с.
13. Yeresko, G. Effect of raw materials nomenclature and their temperature upon safety and quality parameters of mechanically separated poultry meat / G. Yeresko, G. Cherednichenko, S. Bondar, S. Verbytskyi // Ukrainian Journal of Food Science. – 2017. – Volume 5, Issue 1. – P. 6-16.

*Материал поступил в редакцию 14.12.18.*

**С.В. Бондарь, Л.У. Войцеховская, Ю.И. Охрименко, С.Б. Вербицкий**

*Украина Аграрлық ғылымдар ұлттық академиясының  
Азық-түлік ресурстары институты, Киев қаласы*

### **МЕХАНИКАЛЫҚ БӨЛІНГЕН ҚҰС ЕТІ САПАСЫНА СЕПАРАЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР КОНСТРУКЦИЯСЫ МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІНІҢ ӘСЕРІ**

Украиналық заңнамада механикалық құралдармен бөлінген құс еті, механикалық өңделген ет (тіндер құрылымы едәуір өзгертілген) және механикалық бөлінген ет (тіннің құрылымы елеулі өзгерістерге ұшырамаған) сияқты санаттар енгізілген. Механикалық бөлінген ет өнімін алуға мүмкіндік беретін құстың етті-сүйекті шикізатын механикалық сепарациялау үшін қолданылатын негізгі жабдықтарға зерттеу жүргізілген. Ленталық сепараторларда алынған өнім сүйекті заттардың құрамының аз болуымен ерекшеленді. Өнімнің шығымы көп болған сайын, ондағы сүйек заттарының мөлшері де арта түскен. Зерттеу нәтижелері бойынша жабдықтың негізгі түрлерін қолдана отырып, өнімдегі сүйек қосындыларының сызықтық өлшемдері мен фракциялық құрамы туралы мәліметтер базасы құрастырылды.

**Тірек сөздер:** сүйек қосындылары, механикалық құралдармен бөлінген құс еті, механикалық бөлінген құс еті, механикалық өңделген құс еті, ленталы сепаратор, бұрандалы сепаратор.

S. Bondar, L. Voitsekhivska, Yu. Okhrimenko, S. Verbytskyi

*Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine, Kyiv*

### EFFECT OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL REGIMES OF FUNCTIONING OF SEPARATING APPLIANCES ON QUALITY OF MECHANICALLY SEPARATED POULTRY MEAT

Ukrainian norms in force have introduced such categories as poultry meat separated by mechanical means, mechanically deboned meat (with a significantly modified tissue structure) and mechanically separated meat (the structure of the tissue of which has not undergone significant changes). Studies have been conducted on the main types of equipment used for mechanical separation of meat and bone raw materials from poultry, which makes it possible to obtain a product of the category of mechanically separated meat. A lower content of bone inclusions differed product obtained with the use of belt separators. The content of bone inclusions in the product grew with the growth of its established output. According to the results of the research, a database of linear dimensions and fractional composition of bone inclusions in the product made using the main types of equipment was compiled.

**Keywords:** bone inclusions, poultry meat separated by mechanical means, poultry meat mechanically separated, poultry meat, mechanically deboned, belt separator, screw separator.

УДК 664.

Д.А. Шаймерденова<sup>1</sup>, Ж.М. Чаканова<sup>2</sup>, М.Б. Бекболатова<sup>3</sup>,  
Х.А. Абдрахманов<sup>4</sup>, А.Ю. Боровский<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, ученый секретарь, <sup>2</sup>Зав. лабораторией, <sup>3</sup>Канд. техн. наук,  
гл. науч. сотр., <sup>4</sup>Ст. науч. сотр., <sup>5</sup>Магистрант, науч. сотр.

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт переработки  
сельскохозяйственной продукции», г. Астана, Казахстан

Электронная почта: <sup>1</sup>darigash@mail.ru, <sup>2</sup>janara\_78@mail.ru,  
<sup>3</sup>meru\_bolatovna@mail.ru, <sup>4</sup>xake57@mail.ru, <sup>5</sup>rol\_roler@mail.ru@mail.ru

### ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР КАЗАХСТАНА КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Представлена классификация области применения зерновых ингредиентов как основ. По проведенному химическому анализу отобраны из 18 образцов зерна наиболее предпочтительные виды зерновых и зернобобовых культур для дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** зерновые основы, продукты питания, зерновые, зернобобовые культуры.

В последнее время проблема полноценной пищи стала одной из самых важных для человечества, которая не может быть решена простым увеличением количества потребляемых продуктов [1,2]. Ученые констатируют, что пища современного человека не соответствует биологическим требованиям его организма. Пороки современного питания - потребление больше, чем надо, мяса, жиров, сахара, соли, раздражающих приправ, алкогольных напитков и т.д. [3]. Применяемая высокотемпературная обработка продуктов лишает их витаминов и других биологически ценных веществ [4].

Перспективной группой продуктов для полноценного питания являются продукты на зерновой основе, которые могут рассматриваться как источники углеводов, водорастворимых растительных белков, минеральных веществ, витаминов и других физиологически активных соединений [1].

В соответствии с рекомендуемыми объемами потребления пищевых продуктов, годовое потребление продуктов на зерновой основе (в пересчете на муку, крупы и бобовые, всего) должно составлять 95-105 кг на человека. Считается, что взрослый человек за счет зерновых продуктов должен потреблять в среднем 680 ккал/сутки, что соответствует 30-40% общей калорийности пищи [3].

Зерновые продукты в рационе казахстанцев представлены в виде традиционных крупяных, макаронных, хлебобулочных, кондитерских изделий. Однако, сфера использования зерновых основ значительно шире ввиду их разнообразного химического состава.

Проведенная классификация области применения зерновых основ показала, что, в зависимости от потребности в крахмальной, белковой или целлюлозной составляющей, зерновые основы используются, наряду с традиционными сферами применения, в производстве молочных, соусных, мясных изделий (рис. 1).

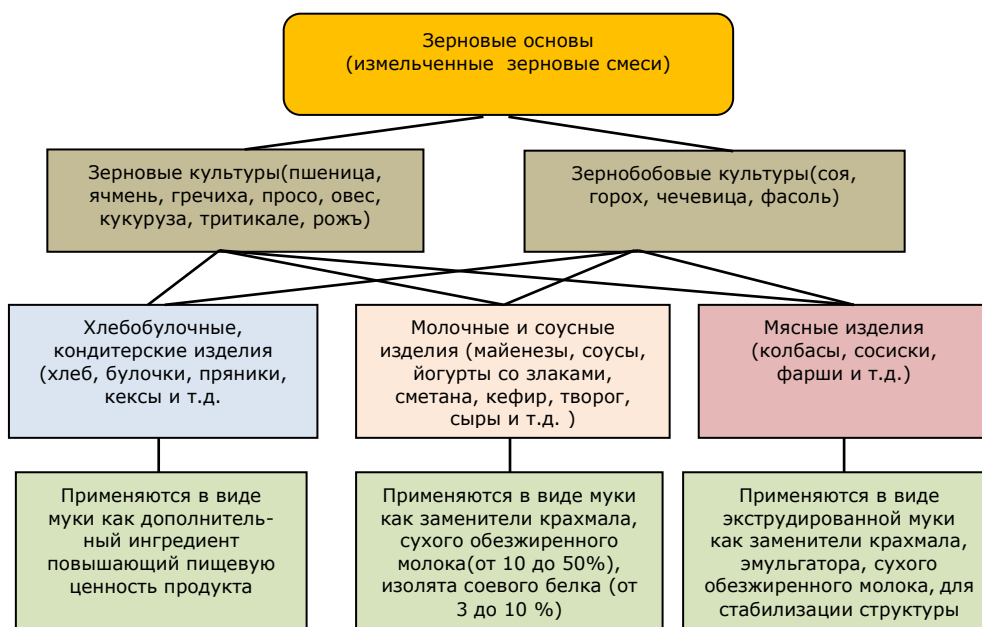


Рис. 1. Классификация области применения зерновых основ

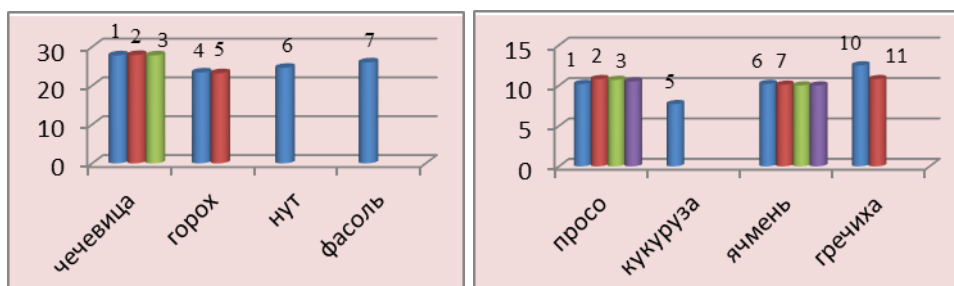
В то же время, проведенный анализ техники и технологии получения зерновых основ для продуктов питания показывает, что возможно значительное расширение их ассортимента за счет полного использования ресурсов зерновых культур, при этом наиболее перспективными технологиями переработки являются экструзия и микронизация. Однако, недостаточность сведений о режимах переработки на зерновые и зернобобовые культуры требуют дополнительных экспериментальных исследований.

По результатам исследований, наиболее распространенными зерновыми культурами для производства зерновых основ являются традиционные зерновые и зернобобовые культуры, тогда как проводимая в стране диверсификация зернового производства позволяет значительно расширить перечень производимых культур [5].

Таким образом, ставится задачей изучение возможности использования производимых в Казахстане зерновых и зернобобовых культур в качестве зерновых основ и разработка технологий их переработки с максимальным выходом и с сохранением функциональных свойств для продуктов питания.

В результате исследований были отобраны 18 проб зерна как традиционных для Казахстана культур – гречихи, ячменя, проса, кукурузы, гороха, фасоли, так и получивших распространение в последнее время – нута и чечевицы.

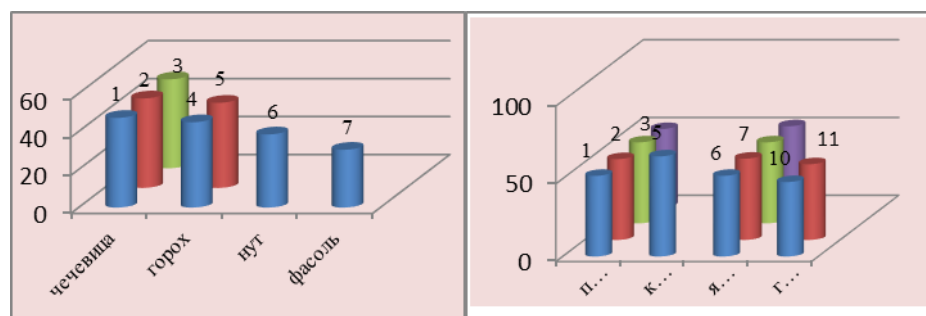
Выполненный химический анализ (рис. 2-4) и дальнейшая статистическая обработка в программе SPSS software позволила выбрать зерновые и зернобобовые культуры, наиболее предпочтительные по содержанию белка, крахмала и жира (рис. 5).



1-сорт «Алматинская», 2-сорт «Крапинка» (Акм.обл), 3-сорт L-4400 (Кост. обл), 4-сорт «Аксары» (Алм.обл), 5-сорт «Оріс», 6-сорт «Ерсултан» (Алм.обл.), 7-сорт «Грузинская»

1-сорт «Янтарная» (Алм.обл), 2-сорт Памяти Берсиева (Акт.обл), 3-сорт «Яровая 6» (Акт.обл.), 4-сорт «Кормовое» (Акм.обл., ), 5-кукуруза, 6-сорта «Арпа Элита» (Алм.обл), 7-сорт «Яровая: Илек 9» (Акт.обл), 8-сорт «Яровая: Илек 36» (Акт.обл), 9-сорт «Сабир» (Акм.обл), 10-сорт гречихи из Алм.обл., 11 –сорт гречиха (Акм.обл.)

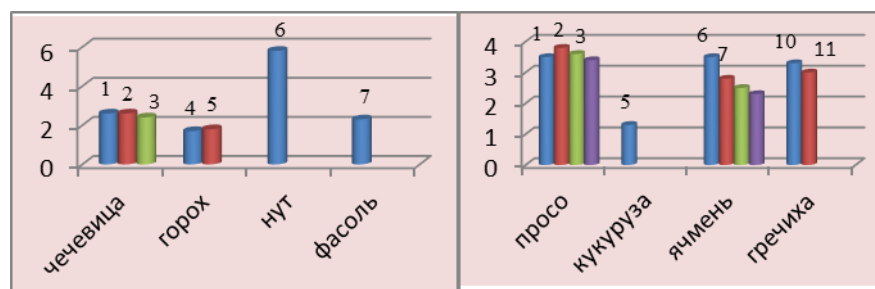
Рис. 2 Сравнительный анализ зерновых и зернобобовых культур Казахстана по содержанию белка, %



1-сорт «Алматинская», 2-сорт «Крапинка» (Акм.обл), 3-сорт L-4400 (Кост. обл), 4-сорт «Аксары» (Алм.обл), 5-сорт «Оріс», 6-сорт «Ерсултан» (Алм.обл.), 7-сорт «Грузинская»

1-сорт «Янтарная» (Алм.обл), 2-сорт Памяти Берсиева (Акт.обл), 3-сорт «Яровая 6» (Акт.обл.), 4-сорт «Кормовое» (Акм.обл.), 5-кукуруза, 6-сорта «Арпа Элита» (Алм.обл), 7-сорт «Яровая: Илек 9» (Акт.обл), 8-сорт «Яровая: Илек 36» (Акт.обл), 9-сорт «Сабир» (Акм.обл), 10-сорт гречихи из Алм.обл., 11 –сорт гречиха (Акм.обл.)

Рис. 3. Сравнительный анализ зерновых и зернобобовых культур Казахстана по содержанию крахмала, %



1-сорт «Алматинская», 2-сорт «Крапинка» (Акм.обл), 3-сорт L-4400 (Кост. обл), 4-сорт «Аксары» (Алм.обл), 5-сорт «Оріс», 6-сорт «Ерсултан» (Алм.обл.), 7-сорт «Грузинская»

1-сорт «Янтарная» (Алм.обл), 2-сорт Памяти Берсиева (Акт.обл), 3-сорт «Яровая 6» (Акт.обл.), 4-сорт «Кормовое» (Акм.обл.), 5-кукуруза, 6-сорта «Арпа Элита» (Алм.обл), 7-сорт «Яровая: Илек 9» (Акт.обл), 8-сорт «Яровая: Илек 36» (Акт.обл), 9-сорт «Сабир» (Аки.обл), 10-сорт гречихи из Алм.обл., 11 –сорт гречиха Шорт.район

Рис. 4. Сравнительный анализ зерновых и зернобобовых культур Казахстана по содержанию жира, %



Рис. 5. Результаты статистического выбора зерновых и зернобобовых культур

Результаты статистической обработки определили наиболее предпочтительными следующие культуры: 2 вида зерновых - гречиха

«Саулық» (Алматы облысы), просо «Памяти Берсиева» (Актюбинская обл.) и 2 вида зернобобовых культур - чечевица сорта «Крапинка» (Акмолинская обл.), нут «Ерсултан» (Акмолинская обл.).

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку технологических режимов экструдирования и микронизации, так как результаты анализа литературных источников позволили установить, что данные технологические операции позволяют получить максимальный выход с сохранением функциональных свойств продуктов переработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.A. Shaimerdenova, Zh.M. Chakanova, M.Zh. Sultanova, A.Yu. Borovsky, P.R. Shaimerdenova, Kh.A. Abdrakhmanov. Instat cereals enriched with carboxylates. International Journal of Engineering and Technology, 7(2.13) (2018) 140-144.
2. Послание Президента РК - Лидера нации Н.Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strategy2050.kz/>.
3. Кочеткова, А.А. Продукты на основе зерновых культур в фокусе приоритетов здорового питания [Текст] / А.А. Кочеткова. – М.: ФГБУ «НИИ питания» РАМН.
4. Коновалов, К.Л. Создание качественно новых продуктов с заданными свойствами [Текст] / К.Л. Коновалов, А.И. Лосева, М.Т. Шульбаева, Н.В. Печеник // Журнал «Молочная СФЕРА». – 2010. – №4 (34).
5. Шорабаев, Е.Ж. Перспективность выращивания зернобобовых культур в условиях северного Казахстана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article>.

Материал поступил в редакцию 19.11.18.

**Д.А. Шаймерденова, Ж.М. Чаканова, М.Б. Бекболатова,  
Х.А. Абдрахманов, А.Ю. Боровский**

*Қазақ ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өндеу ҒЗИ» ЖШС, Астана қ., Қазақстан*

#### **ҚАЗАҚСТАННЫҢ ДӘНДІ ЖӘНЕ ДӘНДІ-БҰРШАҚТЫ ДАҚЫЛДАРЫН АЗЫҚ-ТҮЛІК ҮШІН НЕГІЗ РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ**

Дәнді ингредиенттерді негіз ретінде қолдану саласының жіктелуі ұсынылған. Зерттеу үшін дәнді және дәнді-бұршақты дақылдардың неғұрлым қолайлы түрлері астықтың 18 үлгісінен іріктеліп алынды.

**Тірек сөздер:** астық негіздері, азық-түлік өнімдері, дәнді дақылдар, дәнді-бұршақты дақылдар.

**D.A. Shaimerdenova, Zh.M. Chakanova, M.B. Bekbolatova,  
H.A. Abdrakhmanov, A.Yu. Borovskii**

*LLP «Kazakh research Institute of processing agricultural products», Astana, Kazakhstan*

#### **A STUDY OF THE POTENTIAL USE OF GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS IN KAZAKHSTAN AS A BASIS FOR FOOD**

The classification of the field of application of grain ingredients as bases is presented. The most preferred types of grain and leguminous crops were selected from 18 grain samples for further research.

**Keywords:** grain bases, food, grain, legumes.



---

## Энергетика

---

ӘОЖ 621.311

С.Ә. Орынбаев<sup>1</sup>, М.М. Бекмұратов<sup>2</sup>, Н.Ш. Абдлахатова<sup>3</sup>, Е. Алтынбеков<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Д-р Ph, доцент, <sup>2</sup>Техн. ғылым. канд., доцент, <sup>3</sup>Аға оқытушы, <sup>4</sup>Магистрант  
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан

Электрондық пошта: <sup>1</sup>seitzhan\_74@mail.ru, <sup>2</sup>bekmuratov1963@mail.ru,  
<sup>3</sup>addlakhatova@list.ru, <sup>4</sup>altynbekov@mail.ru

### БІРФАЗАЛЫҚ ҚЫСҚА ТҰЙЫҚТАЛУ ТОГЫНЫҢ ШАМАСЫНА ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫҢ ТАЛДАУЫ

Мақалада бірфазалық қысқа тұйықталу тогының шамасына әсер ететін факторлар қарастырылған. Әрбір фактордың бірфазалық қысқа тұйықталу ток шамасына әсері, бірфазалық қысқа тұйықталу тогы минималды мәнде болған кездегі шарттармен анықталады. Осы шарт релелік қорғанысқа қойылатын негізгі талаптардың бірі – сезімталдық, немесе апатты токтың минималды шамасын анықтап ажырату.

**Тірек сөздер:** кернеу, ток, қысқа тұйықталу, кедергі, әуелік желі, трансформатор.

Бірфазалық қысқа тұйықталу (БҚТ) тогының шамасына факторлардың әсер ету мәні БҚТ тогы минималды мәнді қабылдаған кездегі шартқа байланысты анықталатын болады. Бұл релелік қорғауға ұсынылған негізгі талаптарының бірі – сезімталдыққа негізделген, яғни қабілеттілікті анықтау және апаттық токтың минималды мәнін өшіру.

БҚТ тогының шамасына әсер ететін факторларды атап өтейік:

- 1) 1 кВ жоғары электр жүйесімен қоректендірілетін кедергі;
- 2) Кернеуі 6-10/0,4 кВ болатын күштік трансформатор орамының қосылу схемасы, қуаты және типі;
- 3) Кернеуі 380 В болатын әуе желісінің құрылымдық ерекшеліктері: фазалық пен нөлдік сымдардың қимасы мен маркасы; нөлдік сымдарда қайта жерлендірудің болуы, тіректе сымдардың орналасуы;
- 4) Тұйықталу орнындағы кедергінің доғасы;
- 5) Қысқа тұйықталу тогымен қыздыру кезінде ол сымның активті кедергісінің өсуі.

Кернеуі 380 В болатын желідегі БҚТ токтарын есептеу кезінде, 1 кВ жоғары кернеу желісімен қоректенетін кедергілерді тіркеу кернеуі 6-10/0,4 кВ болатын күштік трансформатор мен 1 кВ жоғары электр тасымалдау желілерінің параметрлерін дәл есептеу дәрежесінің қажеттілігіне тәуелді. 1 кВ-тан жоғары электр тасымалдау желілерінің кедергісі оның ұзақтығы мен сымдардың қимасына тәуелді болады (1). [1] жұмыста энергожүйенің кедергісімен ( $X_c$ ) мына шарттың орындалуында ескермеуге болатындығы көрсетілген:

$$X_c < 0,1 X_T$$

(1)

мұндағы  $X_T$  – күштік трансформатордың индуктивті кедергісі.

Бізге белгілі болғандай, БҚТ тогының шамасына айтарлықтай әсерді кернеуі 6-10/0,4 кВ болатын күштік трансформатор орамының қосылу схемасы мен қуаты және типі көрсетеді.

Күштік трансформатордың түзу тізбектелген активті кедергісі ең алдымен оның қуаты мен типі арқылы анықталады (табиғи майлаумен немесе ауа арқылы салқындатумен). Симметриялық құраушылар әдісіне сәйкес БҚТ тогының шамасын анықтау кезінде күштік трансформаторлардың түзу, сондай-ақ нөлдік тізбектегі кедергілердің шамасын білу қажет. Тікелей тізбектелген кедергілердің шамасын анықтауда қиындықтар туғызбайды және трансформатордың анықтамалық мәндеріне немесе төлқұжаты бойынша есептеледі.

[2, 3 (2.1.2 п.)] нормативтік құжаттарда трансформаторлардың нөлдік тізбегіндегі кедергінің шамасы өндіруші-зауыттардың мәліметі бойынша алыну керектігі туралы айтылған. Бұл қуаты 6300 кВА болатын трансформаторлардың квалификациялық сынау кезіндегі нөлдік тізбектегі кедергінің өзгерісі туралы талаптар [4] стандартқа енгізілуіне негізделген. Бұл өлшеулердің нәтижелері тұтынушыларға ақпарат беру үшін барлық тізбектегі трансформаторлардың төлқұжаттарына енгізілуі қажет. Осы кедергінің нормаланған мәндері мен стандартпен сыналған нәтижелердің бағалау критерилері анықталмаған, алайда [5] жұмыста өлшеу жүргізілетін ток бейтарап токтың мүмкін шегінде болуы керек екендігін көрсетеді, сонымен қатар трансформатор құрылымының металдық бөліктерінің айтарлықтай қызуын болдырмау үшін өлшеуді жылдам жүргізудің қажеттілігін ерекшелеп көрсетеді.

Тәжірибеде нөлдік тізбектелген конденсатордың кедергілерін өлшеудің қажеттілігіне қойылатын талаптар көп жағдайда орындалмайды. Бұл шама трансформаторлардың мамандандырылған мекемемен жүргізген жөндеуден кейін де өлшенбейді [6].

60-шы жылдардың аяғында Пястолов А.А., Найфельд М.Р. және Мәскеу энергетикалық институтпен (МЭИ) [7] жүргізген зерттеулер трансформатордың төлқұжатында көрсетілген нөлдік тізбектегі кедергінің мәні шындығында сәйкес келмейді және БҚТ токтарын есептеу үшін қолданылмайды, және нәтижесінде тоқтық қорғауды орнатуды таңдауда да. Бұл жұмыстарда нөлдік тізбектегі кедергілердің шамасы мен оны құраушылар өзектің магниттік жағдайына,  $Y/Y_N$  орамның жалғану схемасымен күштік трансформатор бағының құрылымдық орындалуына тәуелді екендігі көрсетілген. Авторлар көрсетілген мәндерді тек жуықталған есептеулерде қолдануға кеңес береді.

Нормативті әдебиеттер мен анықтамаларда келтірілген трансформаторлардың техникалық мәліметтерінің талдауы, [7] жұмыста,  $Y/Y_N$  орамның жалғану схемасы мен кернеуі 6-10/0,4 кВ болатын трансформатордың нөлдік тізбегіндегі кедергісі соңғы 50 жылда трансформаторлар құрылымының жетілдіруіне байланысты олардың өзгеру мүмкіндігін есепке алмасақ та қазіргі таңда қолданылатындығы көрсетілген.

Бізге белгілі, жоғары дәрежедегі  $Z_{от}$  нөлдік тізбектегі кедергісінің мәні трансформатордың құрамына тәуелді (қабырға қалыңдығы, бактің көлемі, салқындататын құбырлардың бар болуы мен құрылымы, болат өзектің ферромагниттік қасиеті). Ерттеректе оны есептеу айтарлықтай қиындықтар

туғызған және тәжірибеде  $R_{0T}$ ,  $X_{0T}$ , және  $Z_{0T}$  мәндерін есептеуде тәжірибелі анықтауға сүйенетін едік. МЭИ тәжірибелерінде көрсетілгендей,  $Z_{0T}$  шамасы трансформатордың магниттік сымының қанығуына байланысты өзгереді, ал ол өз кезегінде жеткізілген кернеуге тәуелді. Сыналатын кернеудің өсуінен болаттағы шығынның өсуі салдарынан активті құраушылар  $R_{0T}$  өседі және ферромагниттік бөліктердің қанығуы салдарынан  $X_{0T}$  индуктивті құраушылар кемиді. Жалпы трансформатордың нөлдік тізбектегі кедергісінің толық мәні түседі.  $Z_{0T}$  ең кіші мәні номиналды кернеуге сәйкес келеді.

[6] жұмыста  $I_0$  аз токтар ( $0,25 I_{T,ном}$ ) кезінде  $Z_{0T}$  кедергінің мәні фаза бойынша жүктеменің асимметриялы режиміне қарағанда 1,5-2 есе жоғары болатындығын көрсеткен еді. Дәл осы жұмыста алғашқы ажырату кезінде нөлдік тізбектегі кедергіні анықтау бойынша тәжірибедегі екінші орам арқылы өтетін токпен өзектегі индукцияның мәні анықталатындығына қорытынды жасаған және сәйкесінше бұл  $R_{0T}$  мен  $X_{0T}$  шамаларына әсер етеді. Бұл шама қаныққан өзек үшін  $Z_{0T}$  мәніне асимптотикалық жақындайды. Бірақ шектен тыс жергілікті қыздыруды болдырмау және ток мәндерін сынау процессінде трансформатордың істен шығуы көбінесе сыналатын кернеуді азайту жолымен тоқтатылады.

[7] мәліметі бойынша қуаттар мен бір типті трансформаторлар үшін нөлдік тізбектегі толық кедергінің тәжірибелік шамасының айырмашылығы 30-35% құрайды.

Мұндай үлкен шашу өзектерді сапалы шихталаумен, электр техникалық болаттың түрлі қасиеттерімен, габариттер айырмашылығымен, дайындауға жіберулерді қамтамасыз етумен және жобалы-құрылымдық ерекшеліктермен түсіндіріледі. Трансформатордың нөлдік тізбектегі кедергіні анықтауда негізі тәжірибе болу керек деп есептелді және осы шаманы анықтаудың әдістемесі мен өзінің схемасын ойлап табуға әрекеттер жасалды. Ескеру керек, зауыт-өндірушілермен берілген  $Z_{0T}$  шамасы зауыттық зертханаларда қажетті қуаттың болмауы салдарынан төменгі сыналатын кернеуде өлшенген [7].

Трансформаторлардың нөлдік тізбектегі кедергінің тәжірибелік шамасын МЭИ [7] еңбекте өлшенген, «жұлдыз-нөлдік жұлдыз» орамымен жалғанған схемамен салыстырғанда, зауыт-өндірушілерден ертеректе алынғандар, 35 (20) кВ болатын кернеу кезінде 0,7-0,8 және 6-10 кВ кернеуде трансформаторлар үшін 0,5-0,55 реттегі төмендететін коэффициентпен соңғылары қабылдану керектігін көрсеткен.

Берілген зауыт-өндірушілердің мәліметтері мен түзету коэффициенттерін ескеріп, [7] жұмыста жалпы кедергілердің есептік мәні мен МЕСТ-12022-66 мен МЕСТ 11920-66 бойынша шығарылатын жаңа трансформаторлар үшін 400 (230) В болатын екінші ретті кернеу кезіндегі оны құраушылар көрсетілген, сонымен қатар МЕСТ 9680-61 мен МЕСТ 405-41 бойынша шығарылатын, ескі трансформаторлар бойынша түзету енгізілген мәліметтер. Трансформатордың толық кедергісінің қосындысы  $Z_T$  нөлдік тізбектегі және кері, тура кедергілердің қосындысы сияқты анықталады, яғни

$$Z_T = \sqrt{(2R_{1T} + R_{0T})^2 + (2X_{1T} + X_{0T})^2} \quad (2)$$

Күштік трансформатордың нөлдік тізбектегі кедергісінің кедергіге қатынасы орамдарды жалғаудың түрлі схемасы үшін 1-кестеде көрсетілген.

Кесте мәндерін талдап, мынадай қорытынды шығаруға болады, «жұлдыз-нөлді жұлдыз» орамның жалғау схемасымен күштік трансформаторлар нөлдік тізбектің ең үлкен кедергісіне ие болады, соның салдарынан осы трансформаторлармен БҚТ тогы ең төменгі мәнге ие болады. БҚТ токтарын есептеу кезінде «жұлдыз - нөлді жұлдыз» орамның жалғау схемасымен, 6-10/0,4 трансформаторлардың нөлдік тізбектегі кедергісі туралы төлқұжаттық мәліметтерін қолдану кезінде міндетті түрде оларды 0,5-0,55 [7] түзету коэффициентіне көбейту керек.

Кесте 1

Нөлдік тізбектелген кедергінің орамды жалғаудың түрлі схемасы кезінде 6-10/0,4 кВ ( $Z_{0T}/Z_{1T}$ ) түзу күштік трансформаторларға шамамен алынған мәнінің қатынасы

6-10/0,4 кВ күштік трансформатордың орамын жалғаудың схемасы		
$\Delta/Y_H$	Y/ $Y_H$	Y/ $Z_H$
$\approx 1$	7-9	0,24-0,27

Әуелік желілерде (ӨЖ) 380 В нөлдік тізбек пен тура кедергілерге фазалық пен нөлдік сымдардың қимасы және маркасы әсер етеді; тіректе сымдардың орналасуы, қайта жерлендірілген нөлдік сымдардың болуы.

[6] сәйкес кернеуі 380 В болатын әуе желісі үшін параметрлерді есептеу келесі түрде жүргізіледі:

- түзу тізбектің активті кедергісі, мОм,

$$R_{1L(\Phi)} + \frac{\rho}{F} * L * 10^{-3} \quad (3)$$

мұндағы  $\rho$  – максималды мүмкін болатын 70 °С дейінгі температураға дейін сымның қызуын есепке алумен сымдар материалының меншікті кедергісі; мыс үшін  $\rho = 0,021$  Ом·мм<sup>2</sup>/м, алюминий үшін  $\rho = 0,034$  Ом·мм<sup>2</sup>/м; F – сымның көлденең қимасының ауданы, мм<sup>2</sup>; L – әуе желісінің ұзындығы, км.

- түзу тізбектің индуктивті кедергісі, мОм,

$$X_{1L(\Phi)} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \frac{\mu}{4} + \ln\left(\frac{D}{R}\right) \right] * L * 10^{-3}, \quad (4)$$

мұндағы  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  Гн/м – вакуумнің абсолюттік магниттік өтімділігі;  $\mu$  - сымның материалының салыстырмалы магниттік өтімділігі – алюминий мен мыс үшін  $\mu = 1$ ;  $D = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{CA}}$  – фазалық сымдар арасындағы орташа геометриялық арақашықтық (1-сурет, а), см;  $D_{AB}$ ,  $D_{BC}$ ,  $D_{CA}$  – фазалық сымдардың осьтерінің арасындағы арақашықтық, см; R- сымның радиусы, см.

Ілмекте орналасқан сымдарда (1-сурет, а) траверсада орналасқан сымдарға қарағанда 6-11% кем индуктивті кедергілері болады (1-сурет, г, д).

Әуе желісінің фазалық және нөлдік сымдарындағы нөлдік тізбектің меншікті активті кедергісі (3) сәйкес, мОм,

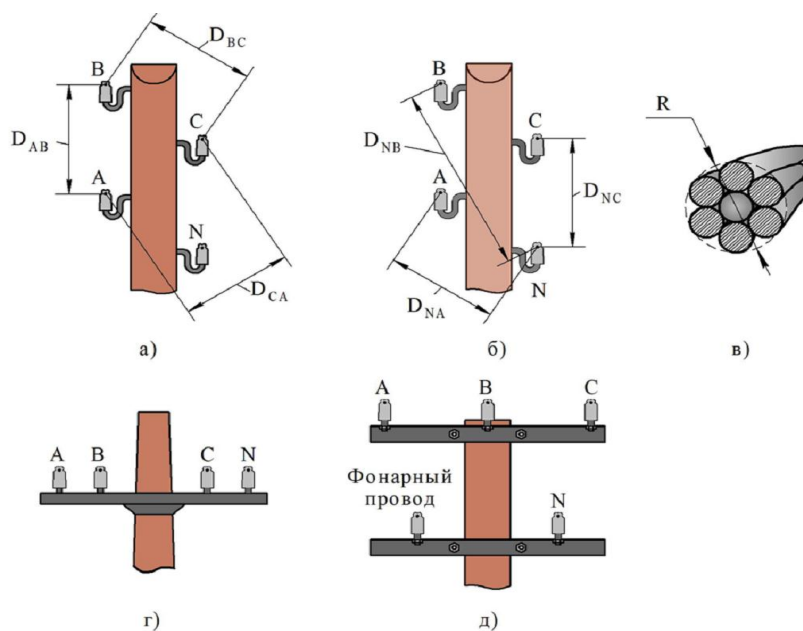
$$R_{0L(\Phi)} = R_0(H) = \left( \frac{\rho}{F} + 3 \frac{\omega \mu_0}{8} \right) * L * 10^{-3}, \quad (5)$$

Әуе желісінің фазалық және нөлдік сымдарындағы нөлдік тізбектің меншікті индуктивті кедергісі (4) сәйкес, мОм,

$$X_{0L(\Phi)} = X_0(H) = \left[ \left( \frac{\mu_0}{4} + \ln\left(\frac{Dm}{R}\right) \right) \right] * L * 10^{-3} \quad (6)$$

мұндағы  $Dm = \sqrt[3]{D_{NA} D_{BD} D_{NC}}$  – фазалық сымдар А, В, С мен нөлдік жұмыс жасайтын N сымдар арасындағы орташа геометриялық арақашықтық (1-сурет, б).

Ескеру керек, нормативті құжаттарда ӘЖ 380 В нөлдік тізбектің активті кедергісін анықтауда дәлсіздік жіберілген. Нөлдік тізбектегі активті кедергіні түсіндіруде нөлдік сымның кедергісін есепке алмаған ( $R_{0ВЛ} = R_{1ВЛ}$ ), бұл жарамайды.



а) фазалық сымдар арасындағы арақашықтық; б) фазалық және нөлдік сымдар арасындағы арақашықтық; в) АС маркалы сымдардың құрылымдық орындалуы; г) бір траверсадада сымдардың орналасуы; д) екі траверсадада сымдардың орналасуы

Сурет 1. Ағаш тіреулерде орналасқан сымдардың мысалы

Электртехника заңдарына сәйкес БҚТ кезінде электр тасымалдау желісінің нөлдік тізбегінің кедергісі фазалық сымның нөлдік тізбегінің кедергісіне  $R_{0Л(\Phi)}$  және фазалық сымның нөлдік тізбегінің кедергісінің үш есе мәніне  $3 \cdot R_{0Л(N)}$  негізделеді.

Нөлдік тізбектің активті (индуктивті) кедергісін анықтауда өзгертулер енгізуді ұсынады және оларды келесі теңдеумен есептеу:

$$R_{0ВЛ} = R_{0Л(\Phi)} + 3 \cdot R_{0Л(N)} \quad (7)$$

$$X_{0ВЛ} = X_{0Л(\Phi)} + 3 \cdot X_{0Л(N)} \quad (8)$$

мұндағы  $R_{0Л(\Phi)}$  және  $X_{0Л(\Phi)}$  – кернеуі 380 В болатын электр тасымалдаудың әуе желісіндегі фазалық сымның активті және индуктивті кедергілері, мОм;  $R_{0Л(N)}$  және  $X_{0Л(N)}$  – кернеуі 380 В болатын электр тасымалдаудың әуе желісіндегі нөлдік сымның активті және индуктивті кедергілері, мОм.

Қысқа тұйықталу тогына қайта жерлендірудің әсерін тек МЕСТ 28249-93 ескеруді ұсынады.

Қайта жерлендірілген нөлдік сымдарды есепке алу сұрағына [5, 6] жұмыстары арналған, оларды талдау келесідей қорытынды жасауға мүмкіндік берді:

- қайта жерлендірудің бар болуы жерлендіретін қондырғының кедергісін есепке алмай, БҚТ тоғын есептеу қатынасы бойынша фазалық сымда 1%-дан 35% дейін БҚТ тоғының өсуіне әкеліп соқтыруы мүмкін. БҚТ тоғының мұндай өсуі қайта жерлендірулердің үлкен санының болуы кезінде (7 және одан да көп), фазалық және нөлдік сымдардың кішкентай қималарында, қайта жерлендірулер арасындағы арақашықтық 100 м және олардың әрқайсысы 10 Ом кедергілерден [5] болған кезде жететін болады;

- нөлдік сымдағы қайта жерлендірудің кедергісін есепке алу бойынша ортақ пікір жоқ, бұл осы мәселенің қиындығын көрсетеді;

- [5] жұмыста келтірілгендерді есептеуде 10 Ом-ға тең, қайта жерлендіру кедергісінің минималды мәндері алынды, ал жерлендіретін қондырғы ҚТС- 1 Ом, әдеттегідей нақты жағдайға сәйкес келмейді.

[6]-шы жұмыста сымдар қимасына, қайта жерлендіру санына, түзету коэффициенттеріне ұқсас мерзімдік коэффициенттеріне, МЕСТ 28249-93 келтірілгендерге тәуелді PEN сым кедергісінің төмендеуін ескеретін, түзету коэффициенттерінің өзгеруінің графиктері көрсетілген.

Көрсетілген түзету коэффициенттері «фаза –нөл» тұзақ әдісінде келесідей түрде ескеріледі:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{I_k^{(1)} + \sqrt{\left(K_{R^*} (R_{1\phi} + R_{1H})\right)^2 + \left(K_X * X_{II}\right)^2}} \quad (9)$$

мұндағы  $K_R$  – «фаза–нөл» тұзағының активті кедергісін нақтылаудағы түзету коэффициенті;  $K_X$  – «фаза–нөл» тұзағының индуктивті кедергісін нақтылаудағы түзету коэффициенті.

[3] жұмыста нөлдік сымдарда қайта жерлендірудің болуы 35% дейін БҚТ режимінде токтың нөлдік сымдар бойынша өтудің төмендеуіне әкелуі мүмкін екендігі көрсетіледі, бұл нөлдік сымдағы токқа әрекет ететін қорғауды баптау үшін маңызды.

Айтылғандарды жинақтап, мынандай қорытынды жасауға болады, жерлендіретін қондырғылардың арасындағы арақашықтық 100 м асатындықтан, тәжірибелік есептеулерде қайта жерлендіру кедергісін ескермеуге болады, ал олардың кедергісі, қағида бойынша, 30 және одан да көп Ом-нан құралады, бұл олардың БҚТ тогына әсерін айтарлықтай төмендеуіне әкеп соқтырады. Бұдан басқа, қайта жерлендірудің болуы БҚТ тоғының өсуіне және фазалық сымдағы токқа әреке ететін қорғаудың қосылу ықтималдылығына әкеп соқтырады.

Электрлік доға құбылысын 1802 жылы ресей ғалымы В.В. Петров ашқан болатын және айтарлықтай жақсы зерттелген. Бірақ әлі күнге дейін қысқа тұйықталу токтарын есептеуде электрлік доғаны есепке алу туралы ортақ пікір жоқ.

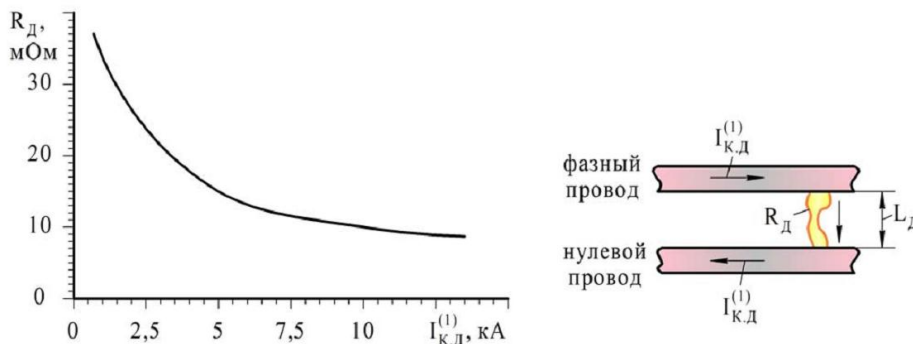
Доға арқылы қысқа тұйықталу металдыққа қарағанда жиі пайда болатыны белгілі. Тұйықталу орнындағы кедергі БҚТ тоғының шамасын айтарлықтай төмендетеді және қорғаудың сезімталдығына ықпал ете алады. Сондықтан БҚТ токтарының минималды мәндерін анықтау кезінде тұйықталу орнындағы кедергіні ескеру қажет.

Кернеуі 380 В болатын электр желісінде бірфазалық қысқа тұйықталу кезіндегі доғалық бағананың кедергісін есепке алу мәселесіне жеткілікті үлкен көлемде жұмыстар арналған, олардың ішінен атасак [1-7]. Олардың ішінде кедергі доғасына үлкен мөлшерде әсер ететін факторлар көрсетілген, атап өтсек, жел күші, электродинамикалық күштер, доғалық бағанада пайда болатын, желі элементтерінің ток бастаушы бөліктерінің арасындағы арақашықтық және т.б., олардың жартысының негізінен ықтималдылық қасиеттері болады.

МЕСТ 28249-93-те тұйықталу орнындағы доғаның кедергісін 400-ден 2500 кВА дейін трансформатор қуатымен қоректенетін желі үшін екі түрлі әдістемемен анықтауды ұсынады. Бірінші әдістемеді доғаның кедергісі эмпирикалық формула (10) бойынша есептеледі, талдау арқылы БҚТ орнын алыстанқан сайын доғаның кедергісі сонша көбейе беретіндігін көруге болады (2-сурет, а) [7]

$$R_D = 16 \frac{\sqrt{L_D}}{I_{\text{под}}^{0.85}} \quad (10)$$

мұндағы  $L_D$  - доғалық бағананың ұзындығы, см;  $I_{\text{под}}$  - доғаның кедергісін есепке алумен анықталатын, ҚТ орнында токтың периодты құраушыларына бастапқы әсер ететін мәні, кА.



а)  $R_D = f(I_{к.д}^{(1)})$ ; б) доғаның жану процесі

Сурет 2. Доғалық бағананың тогынан ( $I_{к.д}^{(1)}$ ) айнымалы токтың электрлік доғасының кедергісіне тәуелділігі

Екінші әдістемеді БҚТ тогының шамасына доға кедергісінің әсері, түзету коэффициентінің  $K_C$  БҚТ тоғын анықтау бойынша есептеу теңдеуін енгізу жолымен ескеріледі, яғни  $K_C = f(Z_K)$ . Түзету коэффициентінің мәні  $K_C$  БҚТ доғалық орнатылған процесс үшін мына формула бойынша анықтау ұсынылады:

$$K_C = 0.55 * Z_K^{(1)} - 0.002 * \sqrt{Z_K^{(1)}} + 0.1 \sqrt{Z_K^{(1)}}, \quad (11)$$

мұндағы  $Z_K^{(1)}$  - қысқа тұйықталу тізбегінің кедергісі, мОм, БҚТ үшін мына теңдеу бойынша анықталады:

$$Z_K^1 = \frac{1}{3} * \sqrt{2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 + 2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2} \quad (12)$$

Авторы Шиша М.А. болып табылатын, аталған электр станциялары мен желілерін іске қосу және технологияларды жетілдіру мен жөндеу бойынша фирма жұмысымен өзара байланыстырылған. Бірақ уақыттың өтуі бойынша, оларға эксперименттік тәуелділікті дәл сипаттайтын жаңа формула ұсынған болатын.

Тұйықталу орнындағы доғаның кедергісін есепке алудың екі әдістемеден де доғаның жануының физикалық процесстеріне сәйкес келеді. Басқаша айтқанда, екі әдістемеден БҚТ токтан сызықтық тәуелділік түрінде доғалық бағананың кедергісін береді, яғни БҚТ тогының өсуі кезінде доғалық бағананың кедергісі азаяды [6]. Бұл сонымен қатар [7] жұмыста келтірілген доғаның кедергісінің мәндерімен расталады. Ескереміз, БҚТ тогы шамасының кемуі кезінде (яғни, трансформаторлық қосалқы станциядан (ТҚС) ҚТ көзінен ажырату кезінде), доғаның кедергісі артады, бірақ сонымен қатар қысқа тұйықталу тізбегінің жалпы кедергісі көбінесе сымның кедергісінің өсуі есебінен өседі. 200 м және оданда көп арақашықтыққа ҚТ нүктесін қашықтату кезінде, тұйықталу орнындағы доғаның кедергісі фазалық және нөлдік сымдардың жалпы кедергісімен салыстырғында аз болып қалады.

Ауылдық электр желісі мен қала типтес ауылдарда үшін кернеуі 380 В болатын әуе желілерінің салыстырмалы үлкен ұзақтығы тән және қуаты салыстырмалы үлкен емес трансформаторлы шағын станциялар қолданылады. Сондықтан бірфазалық қысқа тұйықталу тогындағы электр желісінің кедергісі 200 мОм асатын шамаға жете алады.

[3] еңбекте баяндалған, бірфазалық қысқа тұйықталу тогын есептеу әдістемесінде қуаты 250 кВА дейінгі трансформаторлардың сыртындағы қысқа тұйықталу кезіндегі доғаның кедергісі бірфазалық қысқа тұйықталу тогының шамасына әсер етпейді. Бұл тағы [5] жұмыста да баяндалады. Сонымен қатар, сипатталған тәжірибелер, тіпті көрсетілген трансформаторлардың қуаттарында, күштік трансформатордан қысқа тұйықталу нүктесінің үлкен емес арақашықтығына қатысты доғаның кедергісін ескерудің дұрыстығын айғақтайды.

МЕСТ 28249-93 [7] қысқа тұйықталу тогының минималды мәндерін есептеу кезінде «жылулық түсу» эффектісі ескеріледі, яғни қысқа тұйықталу тогының сол арқылы өтуі нәтижесінде сымдардың активті кедергісі артады. Сонымен бірге сымдардың активті кедергісі оларды ҚТ токпен қыздырылуын есепке алумен, мына өрнек бойынша анықтау ұсынылады:

$$R_{л.θ} = K_θ * R_л \quad (13)$$

мұндағы  $R_л$  - 20 °С бастапқы температурадағы желінің кедергісі;  $K_θ$  - түзету коэффициенті, сымның материалы мен оның қимасына, қысқа тұйықталу тогының шамасына тәуелді.

Бұған қоса бұл тәуелділіктер тек кабельдік желілер мен 0,2, 0,6, 1,0 және 1,5 тең қорғаудың жұмыс істеу уақыттары үшін келдіріледі.

Ашық сымдармен орындалған, әуе желісінің сымдарын салқындату процесі оқшауланған сымдар мен кабельдегі салқындату процесінен едәуір ерекшеленеді. Олардың оқшаулануы жылулық тосқауыл болып табылады.



Сондықтан қысқа тұйықталу тогының сол бойынша өтудің соңында, әуе желісінің кедергісін анықтау кезінде кабельдік желілер үшін түзету коэффициенттерін  $K_\theta$  қолдану әлбетте қате нәтижелер беретін болады, әсіресе қорғаудың жұмыс істеу уақытының үлкен мәндерінде. Сонымен қатар, жоғарыда айтылғандай, БҚТ тогының минималды мәнін анықтау кезінде «жылулық түсу» эффектісінің шамасына да әсер ететін, БҚТ орнындағы доғалық бағананың кедергісін ескеру керек. Өз кезегінде, қысқа тұйықталу тізбегінің активті кедергісінің өзгерісі доғаның кедергісінің өзгеруіне әкеп соқтырады, сондықтан ол доға тоғынан сызықты емес тәуелді. Жоғарыда келтірілген МЕСТ 28249-93 берілген факторлардың өзара әсерін есепке алу бойынша ұсыныстар келтірілмейді.

Берілген жұмыста жоғарыда баяндалғанға байланысты [3] жұмыс істеу уақытының қатынасы (5с), ЭЖЕ-нің 7-ші шығарлымының талаптарын орындау үшін ЭЖ 380 В-қа БҚТ тогының минималды мәнін есептеуде түзету енгізу ұсынылады.

БҚТ токтарының жылулық түсуі БҚТ тогының екі уақытша өшіру диапазондарын қарастыруды ұсынады. Трансформаторлы шағын станцияға жақын (50 м дейін) БҚТ токтарының еселік зақымдалуы номиналды қорғау аппараттарына қатынасы бойынша (8-10)· $I_{FH}$  құрайды, ал олардың ажырату уақыты 0,2-0,5 с аспайды. Қорғаудың іске қосу уақыты, сымдардың қызу уақыты бойынша қорды есепке алумен осы электр желісінің бөліктерінде 1,5 с қабылданды. 50 м аса арақашықтықтағы шағын станциялы трансформатордан зақымдалған жерін жою кезінде БҚТ еселік токтары кемиді, бірақ қорғау аппараттарының өшу уақыты 5 с аспауы керек. Бұл уақыт ЭЖ 380 В тізбек бөліктерінде БҚТ тогының жылулық түсуін есептеу үшін қабылданған. Бұл толықтырулар кернеуі 380 В болатын электр желісінің түрлі бөліктерінде БҚТ тогының «жылулық түсу» эффектісін дифференциалды анықтауға мүмкіндік береді. БҚТ тогының шамасына тәуелді активті кедергісінің өсуін анықтау үшін және оның сым арқылы өту уақыты [4] жұмыста ұсынылған формула қолданылады, сымның қызу процесі жағдай үшін адиабаталық болып табылады [3], яғни қоршаған ортаға жылу бермейді.

[3] әдебиетке сәйкес «жылулық түсуді» есепке алумен фазалық және нөлдік сымдардың кедергісін анықтау үшін есептеу өрнегі көрсетілген, сондай-ақ түзу және де нөлдік тізбектер үшін.

Бірфазалық доғалық қысқа тұйықталу тогы арқылы өтетін  $t$  уақыт моменті кезінде фазалық және нөлдік сымдардың активті кедергісінің шамасын келесі формуламен анықталады.

Фазалық сымның түзу және нөлдік тізбектерінің активті кедергісі, Ом

$$R_{1л.ф.г} = R_{уд.ф} * L_\phi * \left[ 1 + \frac{56,6 * I_K^{(1)2}}{F_\phi^2} \right]; \quad (14)$$

$$R_{0л.ф.г} = R_{1л.ф.г} + 0,15 * L_\phi \quad (15)$$

мұндағы  $I_K^{(1)}$  – нөлдік жұмыс жасайтын сымдағы бірфазалық қысқа тұйықталу тогы, кА;  $R_{уд.ф}$  - фазалық сымның бойлық кедергісі, Ом/км;  $F_\phi$  - фазалық сымның қимасы, мм<sup>2</sup>;  $L_\phi$  - фазалық сымның ұзындығы, км;  $t$  - бірфазалық қысқа тұйықталуда өтетін уақыт, с.

Нөлдік сымның активті кедергісі:

$$R_{H.9} = R_{Л.Н.9} + 0,15 * L_H, \text{ Ом}, \quad (16)$$

мұндағы  $R_{Л.Н.9}$  - БҚТ токтар сымның қызуын ескеретін, жұмыс жасайтын нөлдік сымның кедергілер құраушысы, Ом;  $L_H$  - нөлдік сымның ұзындығы, км.

[6] жұмыста БҚТ тогының шамасына жылулық түсудің әсеріне жүргізілген талдаулар, ТҚС қоректендіретін жақын ҚТ кезінде оның айтарлықтай әсері болатынын көрсетті. Сондықтан БҚТ тогының жылулық түсуін, қоректендірілетін ТҚС-дан 200 м және одан да көп арақашықтықтағы ҚТ кезінде ескермеуге болады.

Электрлік жүктеменің жиынтығы тұйықталу орнындағы БҚТ тогының өсуіне әкеп соқтырады [7] және, сәйкесінше, қорғаудың іске қосу уақытының кемуіне жағдай жасайды. Токтық қорғау параметрлерін таңдау үшін БҚТ тогының минималды мәнін есепке алу қажет. Сондықтан, айтылғандарды ескеріп, БҚТ тогының шамасына электр жүктемесінің кешенді әсері қарастырылмайды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Глазунов, А.А. О расчетах токов коротких замыканий в электрических сетях напряжением до 1000 В [Текст] / А.А. Глазунов // Электрические станции. – 1964. – №9. – С.64–68.
2. Беляев, А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ [Текст] / А.В. Беляев. – СПб.: ПЭИПК, 2008. – 230 с.
3. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 42 с.
4. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 38 с.
5. Каганович, Е.А. Испытания трансформаторов мощностью до 6300 кВА и напряжением до 35 кВ [Текст] / Е.А. Каганович. – М.: Энергия, 1980. – 312 с.
6. Богдан, В.А. Повышение эффективности защит сети 0,4 кВ при однофазных замыканиях [Текст]: дис. канд. техн. наук / В.А. Богдан. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000 – 167 с.
7. Найфельд, М.Р. Сопротивления трансформаторов в режиме однофазного замыкания в сетях до 1000 В [Текст] / М.Р. Найфельд // Промышленная энергетика. – 1968. – №11. – С.34-38.

*Материал редакцияға 20.12.18 түсті.*

**С.А. Орынбаев, М.М. Бекмуратов, Н.Ш. Абдлахатова, Е. Алтынбеков**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

#### **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

В статье рассмотрены факторы, влияющие на величину тока однофазного короткого замыкания. Значимость влияния того или иного фактора на величину тока однофазного короткого замыкания будет

определяться исходя из условий, при которых ток однофазного короткого замыкания принимает минимальное значение. Это обусловлено одним из основных требований, предъявляемых к релейной защите – чувствительности, т.е. способности выявлять и отключать минимальное значение аварийного тока

**Ключевые слова:** напряжение, ток, короткое замыкание, сопротивление, воздушная линия, трансформатор.

**S.A. Orynbayev, M.M. Bekmuratov, N.Sh. Abdlakhatova, E. Altynbekov**

*Taraz State University named after M. Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan*

#### **ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE AMOUNT OF SINGLE-PHASE SHORT-CIRCUIT**

In the article discusses factors that affect the amount of single-phase short circuit. The significance of the impact of a factor on the amount of single-phase short circuit will be determined on the basis of the conditions under which the current of single-phase short circuit takes MI-small dimensions-minimum value. This is due to one of the main demands of hygienic attested to relay protection-sensitivity, i.e. the ability to identify and excluding the minimum value of the fault current

**Keywords:** voltage, current, short circuit, resistance, air line transformer.

УДК 621.311.24

**В.А. Сон<sup>1</sup>, П.К. Сейтпанов<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Магистрант, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент*

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан*  
*Электронная почта: <sup>1</sup>mass\_v@bk.ru, <sup>2</sup>polatbekseitpanov@mail.ru*

#### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО ИСКУССТВЕННОГО ВЕТРОВОГО ПОТОКА С РАЗЛИЧНЫМИ СКОРОСТЬЮ И ДАВЛЕНИЕМ**

Разработано экспериментальное устройство, создающее равномерный поток ветра и позволяющее регулировать его скорость и давление. В результате экспериментальных исследований определены оптимальная длина (1000 мм) и диаметр (130 мм) трубы-стабилизатора.

**Ключевые слова:** ветровой поток, диффузор, клапан, стабилизатор, скорость ветра, давление ветра.

В XXI веке быт человека во многом зависит от обеспечения электроэнергией населения страны. Но, большая площадь Республики Казахстан и наличие отдаленных от населенных пунктов регионов затрудняют процесс электрификации всей территории страны. В настоящее время существующие ТЭЦ и ГЭС обеспечивают населённые пункты,

промышленность и сельское хозяйство. Но, остаются населённые пункты, не имеющие устойчивого электроснабжения, так как нецелесообразно тратить много времени и государственные деньги на обеспечение электроэнергией малонаселённые пункты.

Наиболее эффективным средством для энергообеспечения отдаленных потребителей является ветроэнергетика. По сравнению с традиционными источниками электрической энергии преимуществами ветроэнергетических установок являются локальное расположение, простота конструкции и эксплуатации [1].

Ветроэнергетическая установка - это универсальный альтернативный источник энергии. Вместо того, чтобы доставить небольшое количество энергии в отдаленные пункты потребления, эффективнее будет построить небольшой источник энергии.

Ветроэнергетические установки по конструкции бывают с вертикальной и горизонтальной осью вращения.

История ветроэнергетики насчитывает не менее 60-ти веков. В доисторический период самый примитивный парус появился в Древнем Египте: он представлял собой шкуру зверя, которую держал стоящий на лодке человек, в результате чего корабль перемещался. Со времени такой способ усовершенствовался (на лодках приделывались мачты, использовались более совершенные материалы), что стало толчком развития ветроэнергетики, появились парусные корабли.

Первые ветряные двигатели применялись в Китае и Египте. Около Александрии имеются остатки ветроэнергетических установок тех периодов (около двух веков до нашей эры) [2].

В VII веке нашей эры в Персии появляются ветроустановки. В то время ветродвигатель с вертикальной осью вращения использовался для размола зерна. Впоследствии в странах Ближнего Востока широкое распространение получили ветряные мельницы такого типа. В X веке ветряные мельницы появились в Европе, а в XIII веке ветряные установки применялись и на Руси. Следующим этапом развития ветроэнергетики была разработка ветряных мельниц с горизонтальной осью вращения.

Голландцы впервые начали использовать ветряные насосы, т.е. ветряные мельницы для подъёма воды. Позже их использовали для орошения засушливых полей Европы. В XIV веке те же голландцы были ведущими в разработках и усовершенствованиях ветряных установок. В результате именно в Голландии с целью расширения территорий осушили огромное количество озёр и болот (XIV-XVI века) с помощью ветряных насосов. К концу XIX века в Голландии уже эксплуатировались около 9 тысяч ветродвигателей. В эти периоды были усовершенствованы различные детали ВЭУ и повышалась их производительность.

В России до начала прошлого века насчитывалось около 200000 ветряных мельниц, и перемалывались более 2 млрд пудов зерна в год. А в 1918 году ветряками начал заниматься профессор В. Залевский, который создал теорию ветряной мельницы и сформулировал несколько принципов, которым должны отвечать ветроустановки. В 1925 году профессор Н.Е. Жуковский в Центральном аэрогидродинамическом институте организовал отдел ветряных двигателей, и в 1930-х годах Советский Союз был «впереди планеты всей» в области использования энергии ветра. Тогда выпускались целыми сериями разнообразные ветроустановки мощностью 3-4 кВт.

В 1960-80-е годы энергетическая отрасль СССР ориентировалась на строительство крупных ТЭС, ГЭС и АЭС, а ветряки оказались неконкурентоспособными с электроэнергетическими гигантами, и в конце 1960-х годов серийное производство ВЭУ было закрыто.

В XXI веке использование возобновляемых источников энергии оказалась необходимостью для всей планеты, так как, с каждым днем увеличиваются потребители электроэнергии и учеными прогнозируется истощение запасов угля, нефти и газа.

В связи с этим, на кафедре «Механика и машиностроение» Таразского государственного университета им. М.Х.Дулати проводятся НИР по разработке и созданию автономной мини ветроэнергетической установки, в результате чего планируется:

- уменьшить габаритные размеры ветроколеса;
- исследовать возможности работы лопастного ветродвигателя от обычного ветра со скоростью 3-5 м/с;
- упростить конструкцию механизма отбора мощности от лопастного ветроколеса.

Для решения вышеназванных задач предлагается снабдить ветроколесо лопастями, работающими силами сопротивления и пропускающими через себя поток ветра [3,4]. В этом случае энергию ветра передает не одна, а несколько лопастей, следовательно поток ветра действует одновременно на несколько лопастей ветроколеса.

Для исследования предлагаемого ветродвигателя на кафедре «Механика и машиностроение» разработана и создана экспериментальная ветроустановка, создающая искусственный ветер с различной скоростью.

Для исследования ветродвигателя необходимо создавать ветровые потоки круглого или квадратного поперечного сечения с различными площадью и скоростью. При этом, площадь поперечного сечения ветрового потока должна быть больше площади поперечного сечения приемного патрубка ветродвигателя.

Так как, клапан ветроустановки разделяет поток ветра на две части, лабораторное устройство для создания ветрового потока должно:

- преобразовать струи ветра в равномерный поток;
- создать равномерный поток ветра с заданной скоростью и площадью поперечного сечения.

Часть канала, где поперечное сечение ветрового потока увеличивается, называется диффузором. Форма диффузора для канала с круглым поперечным сечением будет типа усеченного конуса, а для канала с квадратным поперечным сечением – типа усеченной пирамиды. Поэтому, в качестве устройства лабораторного ветрового потока можно использовать диффузор.

Разделенные в ветроустановке струи ветра целесообразно преобразовать в равномерный поток ветра с помощью цилиндрической трубы. В этом случае струи ветра попадают в трубу-стабилизатор, который преобразовывает струи ветра в равномерный поток ветра. А диффузор в свою очередь, постепенно увеличивая площадь поперечного сечения равномерного ветрового потока, подаваемого трубой-стабилизатором, уменьшает его скорость. В этом случае, ветровой поток распределяется по всему объему диффузора, в результате чего поперечное сечение ветрового потока станет как поперечное сечение диффузора, т.е. получается ветровой поток с заданной скоростью и поперечным сечением.

И так, созданное нами экспериментальное устройство состоит из двух частей:

- цилиндрической трубы-стабилизатора, расположенного на выходе ветроустановки;
- диффузора с круглым или же квадратным поперечным сечением, который смонтирован на выходе трубы-стабилизатора.

Схема экспериментального устройства для получения искусственного ветрового потока представлена на рисунке 1. Оно состоит из диффузора 1 и трубы-стабилизатора 2. Диффузор установлен с помощью болтовых соединений на выходе трубы-стабилизатора, а само устройство – на выходе трубы 3 ветроустановки.

С помощью поворотника 5 открывается клапан 4 и ветропоток от ветроустановки разделяясь на две струи 6,7, направляется в трубу-стабилизатор.

В трубе-стабилизаторе струи ветра преобразовываются в равномерный поток ветра 8 и подается в диффузор, от которого выходит равномерный поток ветра с определенной скоростью и площадью поперечного сечения.

Объемный расход воздуха для создания нужного ветрового потока определяется по формуле:

$$Q = S_{\partial 1} \cdot V_p, \quad (1)$$

где  $S_{\partial 1}$  - площадь большой горловины диффузора, м<sup>2</sup>;  $V_p$  – расчетная скорость ветрового потока, м/с.

Площадь большой горловины диффузора:

а) для диффузора типа усеченного конуса

$$S_{\partial 1} = 0,785 D_1^2, \quad (2)$$

где  $D_1$  – диаметр большой горловины, м.

б) для диффузора типа усеченной пирамиды

$$S_{\partial 1} = a^2, \quad (3)$$

где  $a$  – длина грани большой горловины, м.

Ветроустановка должна обеспечить расход воздуха:

$$Q_g = \kappa \cdot Q, \quad (4)$$

где  $Q$  – производительность ветроустановки, м<sup>3</sup>/с;  $\kappa = 1,1 \div 1,2$  – коэффициент потерь.

При проведении экспериментальных исследований скорость ветрового потока колеблется в диапазоне  $V_{Pmin} - V_{Pmax}$ . Поэтому, потребность ветроустановки должна быть больше максимального расхода воздуха:

$$Q_{max} = \frac{Q_g}{\kappa}, \quad (5)$$

где  $Q_{max}$  – максимальное количество воздуха, расходуемого на формирование лабораторного ветрового потока, м<sup>3</sup>/с.

Максимальная скорость потока воздуха, подаваемого ветроустановкой

$$V_{P_{\max}} = \frac{Q_{\max}}{S_{\partial 1}}, \quad (6)$$

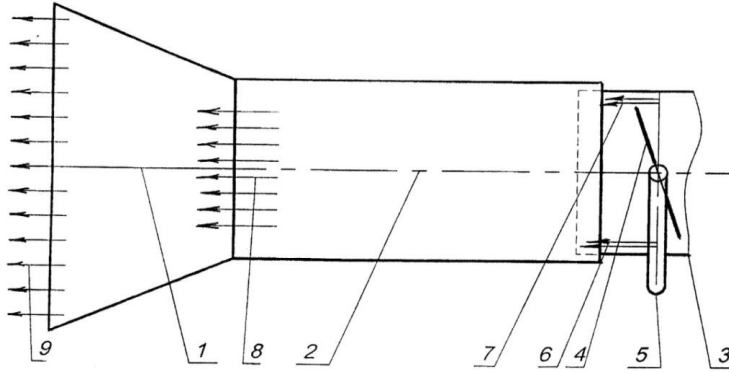


Рис. 1. Схема экспериментального устройства для создания искусственного ветрового потока

Предлагаемое экспериментальное устройство для формирования лабораторного ветрового потока было создано в результате определения длины трубы-стабилизатора, обеспечивающей преобразование струи ветра на равномерный поток. Для этого экспериментально исследована зависимость длины трубы-стабилизатора от количества подаваемого ветроустановкой воздушного потока. Оптимальная длина трубы-стабилизатора – 1000 мм, диаметр – 130 мм.

Следующим этапом исследований по созданию устройства для получения равномерного ветрового потока с регулируемой скоростью и давлением является разработка конструкции и создание устройства, схема которого показана на рисунке 2.

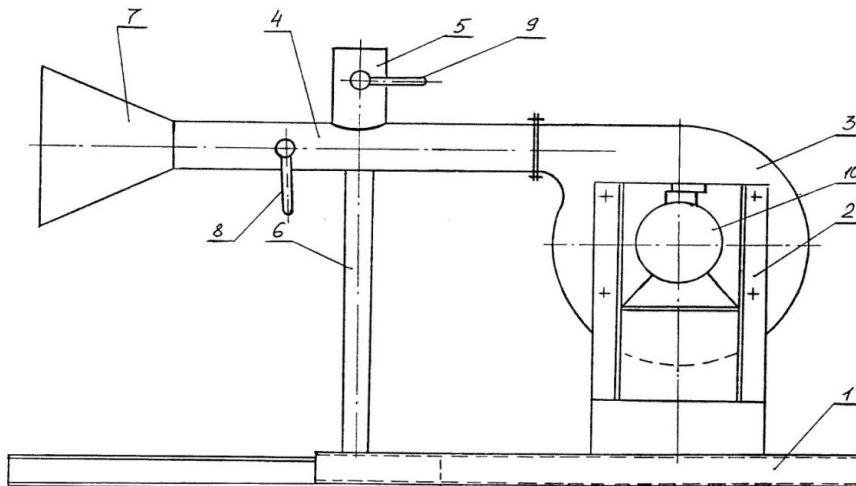


Рис. 2. Устройство для получения равномерного ветрового потока с регулируемой скоростью и давлением

Основные элементы устройства: труба-стабилизатор 4, труба 5 для выпуска лишнего ветрового потока, стойка 6, диффузор 7, клапан 8 для регулирования количества ветрового потока и вспомогательный клапан 9 для регулировки выпускаемого ветра.

Устройство же, подающее различные ветровые потоки состоит из станины 1, стойки электродвигателя 2, самого электродвигателя 10 и промышленного вентилятора 3.

В дальнейшем планируется создание вышеназванной установки и проведение экспериментальных исследований по определению оптимальной длины диффузора и угла его раскрытия, обеспечивающих формирование лабораторного равномерного ветрового потока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра [Текст] / Я.И. Шефтер. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 129 с.
2. Фатеев, Е.М. Как сделать самому ветроэлектрический агрегат [Текст] / Е.М. Фатеев. – М.: Госэнергоиздат, 1949. – 154 с.
3. Қойайдаров, Б.А. Ветроэнергетическая установка [Текст] / Б.А. Қойайдаров / Инновационный патент №28005 KZ.
4. Қойайдаров, Б.А. Өзінен желді өткізетін қарсылық күшті қалақтар жүйесімен жабдықталған желдөңгелектің қозғалысқа кіруі [Мәтін] / Б.А. Қойайдаров, Н.А. Сман, А.М. Байарыстанова // Механика және технологиялар. – 2016. – №4. – Б.13-21.

*Материал поступил в редакцию 22.10.18.*

**В.А. Сон, П.Қ. Сейтпанов**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### **ЖЫЛДАМДЫҒЫ МЕН ҚЫСЫМЫ ӘРТҮРЛІ БОЛАТЫН БІРКЕЛКІ ЖАСАНДЫ ЖЕЛ АҒЫМЫН АЛУҒА АРНАЛҒАН ҚҰРЫЛЫМ**

Жылдамдығы мен қысымы әртүрлі болатын біркелкі жел ағымын беретін эксперименттік құрылғы жасалған. Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде құбыр-стабилизатордың тиімді ұзындығы 1000 мм, диаметрі 130 мм болатыны анықталған.

**Тірек сөздер:** жел ағымы, диффузор, клапан, стабилизатор, жел жылдамдығы, желдің қысымы.

**V.A. Son, P.K. Seitpanov**

*Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan*

#### **A DEVICE FOR OBTAINING A UNIFORM WIND FLOW WITH DIFFERENT SPEEDS AND PRESSURES**

An experimental device has been developed that creates a uniform wind flow and makes it possible to regulate its speed and pressure. As a result of the experimental studies, the optimal length (1000 mm) and diameter (130 mm) of the stabilizer pipe were determined.

**Keywords:** wind flow, diffuser, gate valve, stabilizer, wind speed, wind pressure.



---

## Строительство

---

УДК 624.151.2; 624.151; 001.63

**Б.Б. Унайбаев<sup>1</sup>, Б.Ж. Унайбаев<sup>2</sup>, Е.Б. Совет<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Докторант, канд. техн. наук, доцент, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор,*

*<sup>3</sup>Магистр, ст. преподаватель*

*Екибастузский инженерно-технический институт  
имени академика К. Сатпаева, г.Екибастуз, Казахстан*

### **ЗАЩИТА СВАЙ В ЗАСОЛЕННЫХ АГРЕССИВНЫХ ГРУНТАХ**

Рассмотрены эффективные способы устройства защиты свай в засоленных агрессивных грунтах. Новизна, эффективность и практическая значимость отдельных технологий подтверждена авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

**Ключевые слова:** свая, агрессивная среда, засоленный грунт, оболочка, антикоррозионная защита.

Эффективным способом защиты конструкций нулевого цикла в засоленных грунтах является устройство защитного покрытия по их поверхности. Покрытие должно быть целостным и водонепроницаемым в течение всего срока эксплуатации здания; обладать хорошим сцеплением с бетоном, неизменяемостью защитных свойств во времени, трещиностойкостью, пластичностью; иметь невысокую стоимость.

Предлагаемые различными исследователями антикоррозионные мероприятия и материалы используемые при этом достаточно эффективны при устройстве фундаментов мелко заложения. При проектировании мероприятий по защите свай от коррозии возникают трудности создания защитных покрытий, обусловленные технологией устройства свайного фундамента, отсутствием надежных методов контроля качества выполнения антикоррозионных мероприятий по стволу сваи и пр. Сложность проектирования антикоррозионных мероприятий по защите забивных свай связана с их относительно малым поперечным сечением и развитой боковой поверхностью, большими динамическими нагрузками, трением сваи о грунт в процессе забивки, отсутствием доступа и трудностью реставрации защитного покрытия в процессе эксплуатации [1]. При забивке нарушается сплошность покрытия и развиваются трещина по поверхности, а в процессе бетонирования скважины (при изготовлении б/н свай), сложно добиться необходимой и равномерной плотности бетона по стволу. При устройстве сваи устройство защитного покрытия приводит к снижению несущей способности конструкции т.к. снижается трение между сваей и грунтом. Антикоррозионная защита и повышение несущей способности сваи в агрессивных засоленных грунтах предполагает совокупную разработку защитных мероприятий по трем принципиально различным направлениям:

- создание сплошной защитной изолирующей оболочки (прослойки) между конструкцией и грунтом, препятствующей прониканию агрессивных ионов в тело бетона (вторичная защита);

- улучшение свойств (повышение плотности, водонепроницаемости и пр.) окружающего конструкцию суффозионно и структурно-неустойчивого засоленного грунта (механическим либо химическим воздействием на него, понижением уровня грунтовых вод и пр.);

- усиление антикоррозионных свойств самого бетона путем применения специальных видов цемента, повышением плотности бетона, введением добавок и пр. (первичная защита).

Регламентируется [2] антикоррозионная защита свай, оптимально вязкими и сохраняющими сплошность материалами (битум, полимерные материалы, петролатум, мазут). Использование этих рекомендаций сопровождается неизбежным снижением несущей способности сваи по ее боковой поверхности. Так, например, при обмазке битумом свай погружаемых на глубину 13,3-22,7 м снижение их несущей способности составляет от 30 до 80% в зависимости от колебаний температуры грунта и воздуха [3]. К тому же со временем наблюдается «старение» битума, что сопровождается расслоением, крошением и потерей водонепроницаемости покрытия.

Примером создания комбинированного защитного и одновременно повышающего несущую способность покрытия может быть обмазка конструкций нулевого цикла полимерами, способными упрочнять окружающий грунт после забивки [4-5]. В качестве обмазки предлагается бентонитовая глина в смеси с фурфуроланилиновой смолой ФАС, полиакриламидом и карбамидной смолой. При этом полимеры взаимодействуют с грунтом путем обмена ионов  $H^+$  в полимере на ионы оснований (K, Ca и др.), содержащиеся в грунте. Вследствие этого взаимодействия  $Ca^{2+}$ , вытесняемый ионами  $H^+$  вызывает коагуляцию полимера, склеивающего минеральные частицы. Несомненный интерес создания подобного покрытия имеет следующая технология. В скважину диаметром 200 мм, пробуренную на глубину 0,75 длины сваи заливают раствор силиката натрия при температуре  $60^{\circ}C$ , после чего забивают в нее железобетонную сваю сечением  $30 \times 30$  см. В процессе забивки сваи раствор под давлением отжимается, фильтрует через стенки и дно скважины. При этом в окружающем конструкции грунте снижается водопроницаемость и повышается несущая способность. Сопротивление по боковой поверхности сваи возрастает в 1,5 раза, а под острием - в 1,4 раза [6].

Весьма простым способом реализации этого направления является способ подачи раствора в образующуюся после 2-3 ударов молота замкнутую щель между грунтом и сваей. В качестве раствора при этом используется 40%-ная карбамидная смола М-60 в сочетании с отвердителем - щавелевой кислотой. В процессе забивки сваи смесь перемешивается с окружающим грунтом, отжимается в грунт, схватывается и образует сплошную жесткую защитную оболочку.

Уплотненная оболочка на контакте с железобетонной конструкцией оказывает тормозящее влияние на скорость коррозии бетона конструкции пропорционально его плотности, удельному содержанию в нем глинистых частиц, а также ионов кальция.

В перечне многочисленных дорогостоящих способов закрепления грунта этого принципиального направления следует отметить способ одно-

растворной силикатизации с силикатно-алюмосернистой рецептурой, выгодно отличающейся от аналогов содержанием в его составе ионов  $SO_4$ , делающий его нейтральным по отношению к внешнему сульфатному агрессору [7-8].

Третье принципиальное направление по обеспечению защиты железобетонных конструкций от сульфатной агрессии заключается в придании антикоррозионных свойств самому бетону и включает в себя:

- использование сульфатостойкого цемента (ГОСТ 22266-76) либо шлакопортландцемента;
- обеспечение бетону водонепроницаемости ( $>W_6$ ) путем добавки в цемент бентонита в количестве 3...4% от его веса и других добавок;
- применение в качестве мелкого заполнителя кварцевого песка (ГОСТ 9759-83);
- использование фракционного щебня изверженных пород марки не ниже 800;
- обеспечение максимальной плотности бетона при формировании конструкции.

Повышение коррозионной стойкости бетона в результате применения специальных видов цемента основано в первую очередь на изменении минералогического состава цемента, а точнее разумном уменьшении в нем содержания тех компонентов, которые в цементном камне активно подвергаются разрушению вследствие химического взаимодействия с агрессивными минерализованными водами. Так, например, в сульфатных водах рекомендуется использовать сульфатостойкий цемент и портландцемент с умеренной экзотермией, которые характеризуются пониженным содержанием  $C_3A$  и  $C_3S$ .

Долговечность железобетонных конструкций нулевого цикла может быть обеспечена улучшением свойств бетона в объеме конструкций, т.е. объемной гидрофобизацией. Одним из способов повышения коррозионной стойкости бетона в сильно-агрессивных средах является повышение его плотности путем снижения пористости, создания замкнутой капиллярно-поровой структуры бетона, а также обеспечения совместной работы цементного камня и заполнителя. Плотность бетона определяется количеством воды, затраченной на изготовление единицы объема бетонной смеси. На этом положении технологии изготовления бетона основывается большинство методов повышения их плотности. Для создания плотной структуры в бетон вводят различные поверхностно-активные гидрофобизирующие добавки, такие как: сульфатно-спиртовая барда (ССБ), смола нейтрализованная вовлекающая (СВН), малонавт, кремнийорганические жидкости (ГКЖ-94 и др.). Гидрофобизирующие вещества изменяют знак смачиваемости поверхности капилляров, позволяют уменьшить водопоглощение и капиллярное всасывание, сокращают вещественный обмен между цементным камнем и окружающей агрессивной водно-солевой грунтовой средой, в результате чего повышается долговечность изделий. Суть гидрофобизации состоит в получении ориентированных хемсорбционных пленок добавки на гидрофильной поверхности зерен цемента, продуктах его гидратации и заполнителях [9-11].

Поверхностно-активные добавки (ПАВ), вводимые в бетон как пластифицирующие, позволяют снизить водоцементное отношение и тем самым уменьшить среднеэффективный радиус капилляров в цементном камне и сократить расход цемента.

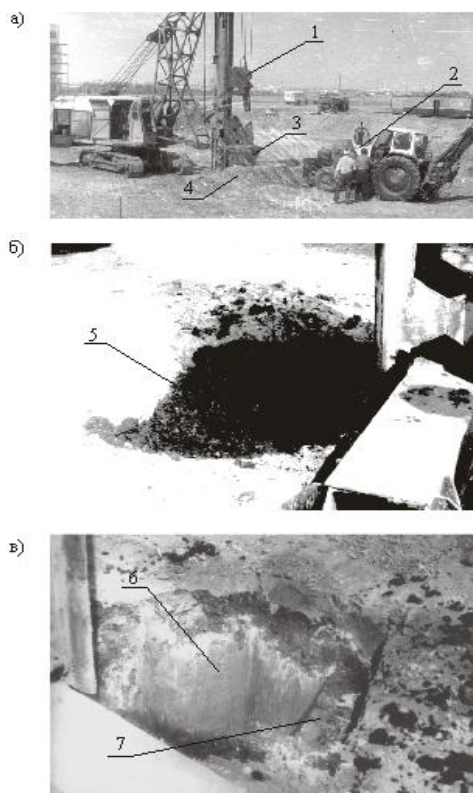
Воздухововлечение улучшает структуру цементного камня, повышает прочность, водонепроницаемость, сульфатостойкость, деформативную способность и стойкость к трещинообразованию.

При введении в состав бетона газовыделяющих и воздухововлекающих кремнийорганических добавок в бетоне происходит химическое взаимодействие и образуется сложное полимерное соединение с выделением водорода. Эти новообразования, не растворимые в воде, откладываются в порах и капиллярах, гидрофобируя их стенки и, тем самым, затрудняют подсос агрессивных вод в поры бетона. Выделяющийся при этом водород создает мелкопористую структуру цементного камня с замкнутыми порами.

Следует отметить, что в западном регионе Казахстана подтопленном сильноминерализованными (от 50 до 150 г/л) агрессивными водами (г. Атырау, Актау, Новый Узень, п.г.т. Кульсары и Тенгиз и др.) требуемая долговечность железобетонных конструкций нулевого цикла не может быть достигнута только лишь изменением свойств самого бетона. Из практики устройства б/п сваи в этом регионе известно, что через 8-10 лет эксплуатации в процессе коррозии наблюдается полное разрушение бетона. Коррозионную стойкость бетонной поверхности, конструкций нулевого цикла соприкасающуюся с сильно агрессивной водно-солевой грунтовой средой, можно достичь совокупным применением всех трех принципиально различных направлений по антикоррозионной защите, а именно, путем уплотнения либо закрепления грунта вокруг сваи, повышением коррозионной стойкости самой конструкции и нанесением на ее поверхность сплошного и устойчивого антикоррозионного покрытия по специальной технологии, предотвращающей в дальнейшем, по мере эксплуатации, ее отслаивание и старение. Как показали исследования, эффективность применения покрытий на основе природного битума, извлекаемого из перебитуминозных пород (киров) как гидроизоляционного, так и антикоррозионного назначения, обусловлено его сравнительно низкой стоимостью, недефицитностью и медленным «старением» в агрессивной водно-солевой грунтовой среде. Применение в качестве покрытия природного битума, обладающего в сравнении с промышленным битумом большей химической стойкостью, величиной сцепления, низкой стоимостью и недефицитностью, а также хорошей адгезией, проникающей способностью и пр., может существенно повысить долговечность конструкции [3].

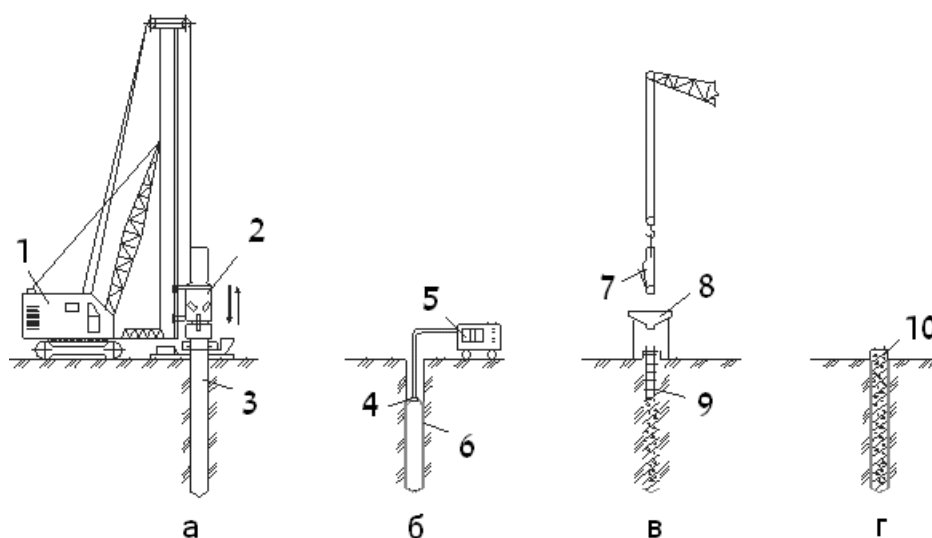
Эффективным представляется разработанная нами технология устройства защитной оболочки набивных свай в пробитых скважинах и фундаментах в вытрамбованных котлованах [3]. Надежная долговременная работа фундамента гарантируется комбинированным сочетанием всех трех принципиальных направлений по защите конструкции от коррозии и повышению ее несущей способности. Так при прохождении скважины или котлована под фундамент путем периодического сбрасывания снаряда в отличие от проходки скважины шнеком, наблюдается уплотнение грунта вокруг конструкции. Уплотнение приводит к улучшению физико-механических свойств грунта, а, следовательно, к повышению несущей способности основания. Водопроницаемость уплотненного слоя грунта вокруг конструкции при этом, в зависимости от вида уплотняемого грунта, снижается в десятки и сотни раз. Следует учесть, что в процессе устройства буронабивной сваи уплотнение грунта вокруг конструкции не происходит, в лучшем случае сохраняется его естественная структура, а в худшем – при нарушениях технологии наблюдается снижение фильтрационных и механических свойств грунта вокруг сваи, потому как при «сухом» бурении или устройстве уширения в забой скважины осыпается разрыхленный грунт.

Извлечь осыпавший на дно скважины грунт практически не представляется возможным. При этом в забое скважины, а следовательно в дальнейшем под буронабивной свайей образуется сильно сжимаемая, с увеличенной водопроницаемостью, прослойка грунта, которая приводит к снижению несущей способности фундамента. Так обследование скважин под буронабивные сваи глубиной до 30 м в г. Волгодонске показало, что толщина рыхлого грунта в забое скважины составляет от 0,5 до 1,5 м и более. Эффективным представляется предложенное нами формирование защитной оболочки фундамента в вытрамбованном котловане и пробитой скважине путем дополнительного втрамбовывания в стенки и основание пробитой скважины или котлована водонепроницаемых и коррозионно стойких материалов (киры, асфальт и пр.) (см. рис. 1) или нанесение на их поверхность путем набрызга разогретого природного или промышленного битума для дополнительной защиты конструкции от коррозии (см. рис. 2). При этом защитное покрытие после укладки и уплотнения бетона в конструкции оказывается герметично упакованными между железобетонной монолитной конструкцией фундамента и плотным водопроницаемым уплотненным трамбованием слоем грунта вокруг него. Последнее способствует сплошности, длительной сохранности и долговечности защитного покрытия, а, следовательно, долговечности и коррозионной стойкости бетонной конструкции фундамента [3].



а – общий вид производства свайных работ; б – заполнение вытрамбованного котлована кирпичами; в – вид защитной оболочки; 1 – оборудование ОВК-2 в комплексе с ЭО-2621; 2 – погрузчик на базе МТЗ-80; 3 – трамбовка; 4 – щебень; 5 – кирпичи; 6 – вытрамбованный котлован; 7 – защитная оболочка из кирпичей

Рис. 1. Устройство ФВК с защитной оболочкой из кирпичей  
 (п.г.т. Кульсары, 3 микрорайон)



а) погружение и извлечение снаряда; б) нанесение гидроизоляции из мастики на природном или промышленном битуме на стенки; в) армирование и бетонирование скважины; г) свая готовая;

1 – копёр свайный; 2 – дизель-молот; 3 – снаряд; 4 – форсунка; 5 – агрегат для нанесения битумной мастики; 6 – слой гидроизоляции из мастики; 7 – вибробадья; 8 – воронка приёмная; 9 – каркас арматурный; 10 – свая.

Рис. 2. Технологическая схема устройства свай в пробитых ПС или раскатанных скважинах (РС) с защитной оболочкой

И, наконец, дополнительное формование бетона в конструкции с повышенной плотностью на основе специальных видов цементов, таких как сульфатостойкий портландцемент, либо введение в бетон различных добавок, улучшающих технологические, прочностные и антикоррозионные свойства бетона, позволяет гарантировать надежную и долговременную работу конструкции в условиях водно-солевой агрессивной грунтовой среды основания. Защита фундаментной конструкции на контакте с агрессивной водно-солевой средой в засоленном грунтовом основании путем использования для этой цели различных коррозионностойких покрытий и материалов, изготовленных на основе некондиционных нефтебитуминозных пород и природного битума, извлеченного из него, существенно снижает материальные затраты. Технология извлечения битума из киров и технологические условия на использование киров в строительных целях нами были опробованы в промышленных условиях и положительно себя зарекомендовали [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михальчук, П.А. Защита железобетонных свай от коррозии [Текст] / П.А. Михальчук. – В кн.: Свайные фундаменты в строительстве. – М.: РОТО МДНТП, 1974. – 159 с.
2. СНиП 2.03.11-83 Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
3. Унайбаев, Б.Ж. Развитие технологического комплекса процесса фундаментосроения на основе адаптации к засоленным грунтам

- [Текст]: автореферат докт. техн. наук / Б.Ж. Унайбаев. – Астана, 2007. – 53 с.
4. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Трузев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
  5. Иванов, Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии [Текст] / Ф.М. Иванов. – М.: Изд-во «Транспорт», 1968.
  6. Зайцев, А.Г. Строительные материалы (опыт зарубежного строительства) [Текст] / А.Г. Зайцев, В.А. Васильев. – М.: Госстройиздат, 1968.
  7. Соколович, В.Е. Химическое закрепление грунтов [Текст] / В.Е. Соколович. – М.: Стройиздат, 1980. – 119 с.
  8. Ржаницын, Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве [Текст] / Б.А. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
  9. Батраков, В.Г. Стойкость бетонов с водорастворными кремний органическими полимерами в растворах солей высокой концентрации [Текст] / В.Г. Батраков, Э.И. Гусейнов. – М.: Тр. НИИЖБ, вып. 23, 1977.
  10. Батраков, В.Г. Применение кремний органических олигомеров в бетоне для интенсификации последующей пропитки его химически стойкими материалами [Текст] / В.Г. Батраков, П.А. Михальчук. – М.: Тр. НИИЖБ, вып. 23, 1977.
  11. Ребиндер, П.А. Поверхностно-активные вещества [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Знание, 1961.

*Материал поступил в редакцию 25.12.18.*

**Б.Б. Унайбаев, Б.Ж. Унайбаев, Е.Б. Совет**

*Академик Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты,  
Екібастұз қ., Қазақстан*

## **ТҰЗДАНҒАН АГРЕССИВТІ ТОПЫРАҚТАРДА ҚАДАЛАРДЫ ҚОРҒАУ**

Тұзданған агрессивті топырақтарда қадаларды қорғау құрылғыларының тиімді тәсілдері қарастырылған. Жеке технологиялардың жаңашылдығы, тиімділігі мен тәжірибелік маңыздылығы авторлық куәліктер мен өнертабыстар патенттерімен расталды.

**Тірек сөздер:** қада, агрессиялық орта, тұзданған топырақ, қабық, коррозияға қарсы қаптау.

**B.B. Unaibayev, B.Zh. Unaibayev, E.B. Sovet**

*Ekibastuz Institute of Engineering named after academician K. Satpayev,  
Ekibastuz, Kazakhstan*

## **PROTECTION OF PILES IN THE SALTED AGGRESSIVE SOILS**

Effective ways of the device of protection of piles in the salted aggressive soils are considered. The novelty, efficiency and the practical importance separate is confirmed to technology with copyright certificates and patents for inventions.

**Keywords:** a pile, a severe atmosphere, the salted soil, an envelope, anticorrosive protection.

ӘӨЖ 624.013:620.193.01

**Б.А. Алимбаев<sup>1</sup>, Б.Ж. Манапбаев<sup>2</sup>, Е.Н. Аманбаев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Техн. ғылым. д-ры, профессор, <sup>2</sup>Техн. ғылым. канд, доцент, <sup>3</sup>Аға оқытушы  
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан  
Электрондық пошта: <sup>1</sup>bazalim@mail.ru; <sup>2</sup>jiboj@mail.ru, <sup>3</sup>amanbaev68@inbox.ru

### СУ АҒЫСЫНЫҢ ҚҰБЫРЛАР ІШІНДЕГІ КОРРОЗИЯНЫҢ ДАМУЫНА ӘСЕРІ

Жұмыста болат құбырларында коррозияның даму жолдары қарастырылған. Су ағысының болат құбырлардың ішіндегі коррозияның дамуына әсері сипатталған. Құбырлардың бұрылған бөліктерінде коррозияның ерте басталуы негізделген.

**Тірек сөздер:** коррозия, болат құбырлар, су иондары, су ағысы.

Гидротехникалық құрылымдарда құбырлар желілері әртүрлі жағдайларда жердің рельефіне байланысты өздерінің атқару жұмыстарына қарай орналасады. Олар бірнеше бөліктерге бөлінеді: түзу сызықты, қисық сызықты және тік 90° бұрылу. Қисық сызықты және тік 90° бұрылатын құбырлар бөліктерінің ішінде коррозия сұйықтың ағысына қарай қатты дамидының біздің зерттеулер көрсетті [1-3]. Болат құбырлардағы коррозияның дамуына сұйық ағысының және ондағы иондар санының әсерін анықтау үшін келесідей мәселелерді қарастырдық.

Құбырлар желісінде су қозғалысының жылдамдығын келесідей анықталады [4]. Белгілі шығынның  $Q_i$  мәні және диаметрі  $d_i$  мәні бойынша әр бөліктерде ағынның орташа жылдамдығы мына формула бойынша анықталады

$$V_i = \frac{4Q_i}{\pi d_i^2}, \quad (1)$$

мұндағы:  $V_i$  – әр бөліктегі ағынның жылдамдығы (м/с);  $Q_i$  – бөліктер бойынша есептік шығын ( $m^3/c$ );  $\pi$  – Пи саны;  $d_i$  – бөліктер бойынша есептік диаметр (м).

Желіс бөліктерінде арынның жоғалуын есептеу Бернулли формуласы бойынша жүргізіледі. Су желілер жүйесі үшін салыстырмалы жіңішке қашықтық қолдануда ағыстың орташа жылдамдығы 0,6...3,0 м/с. Сондықтан Д.Бернулли теңдеуінде ағыс қимасында меншікті кинетикалық энергияны елемуге болады (ол 0,46 м аспауы керек). Құбырлар желісіндегі бөліктерде арынның жоғалу есебін жеделдету үшін қысқаша тәуелді Дарси-Вейсбах формуласын түрлендіру жолымен алынған (2) формуланы пайдалану керек [4].

$$h = k_i \cdot A_{кв} \cdot \theta \cdot Q_{\sigma}^2, \quad (2)$$

мұндағы:  $h$  – арынның жоғалуы (м);  $k_m$  – тұрғылықты қарсыласудың әсерін есепке алу коэффициенті, ол 5-10% ұзындығы бойынша қарсыласу аралығында болады ( $k_m=1,05-1,1$ );  $A_{кв}$  – квадрат аумағында құбырдың меншікті қарсыласуы,  $c^2/m^6$ ;  $\theta$  - түзету коэффициенті, квадраттық емес



аумағында қарсыласуды есепке алу;  $L$  – құбыр бөлігінің есептік ұзындығы, м;  $Q_p$  – құбыр бөлігінің есептік шығыны, м<sup>3</sup>/с.

Теңдеуде көрсетілген  $A_{кв}$  және  $\Theta$  тиісті мәндері арынның жоғалуын есептеу үшін қажет.

Коррозияның даму барысында құбырдың бұрылу бұрыштарында кедір-бұдырлық арта түседі. Бұл өзгерістерді мына (3) формуламен есептейміз [4].

$$k_t = k_0 + \alpha t, \quad (3)$$

мұндағы:  $k_t$  - абсолюттік кедір-бұдырлық, мм;  $\alpha$  - кедір-бұдырлықтың өсуін көрсететін коэффициент, мм/жыл;  $k_0$  - абсолюттік кедір-бұдырлық, мм;  $k_t$  - абсолюттік кедір-бұдырлық  $t$  біраз жыл пайдаланғаннан кейін;  $\alpha$  - коэффициентінің мәні материалға және сұйықтықтың құрамына байланысты. Тасымалданатын сұйықтықтың физикалық, химиялық қасиеттеріне байланысты мәндері келтірілген.

Құбырлар жатуына қарай әр түрлі бұрыштар құрап жатады және ондағы қабырғаға әсер ететін ішкі қысым келесідей болуы мүмкін.

**1-бөлік** – түзу құбыр, ондағы ағынның жылдамдығы (1) формулада келтірілген.

**2-бөлік** – бұрылған құбыр, онда құбыр қабырғасына жоғарыда келтірілген қысымдарға қосымша гидродинамикалық қысым (4) күші әсер етеді.

$$F = \frac{mv^2}{R}, \quad (4)$$

мұндағы:  $m$  - судың массасы;  $v$  - судың жылдамдығы (м/с);  $R$  - бұрылу бұрыш радиусы.

**3-бөлік** – құбыр 90° бұрылады,  $v=0$  ерітіндінің кинетикалық энергиясы түгел құбырдың қарсы жатқан беттеріне әсер етеді, сөйтіп сұйықтағы иондар саны құбырдың түзу бөліктеріне қарағанда артып кетеді, содан кейін коррозияның даму жылдамдығы өседі. Сұйықтық ерітінді 90° бұрылғанда құбырдың қарсы жатқан бетіне әсер ететін қысым келесі (5) формуламен табылады.

$$P = 2\gamma\delta \frac{v^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha, \quad (5)$$

мұндағы:  $\gamma$  – сұйықтық көлемдік салмағы (кг/м<sup>3</sup>);  $\delta$  – сұйықтық қимасының ауданы (м<sup>2</sup>);  $\sin^2 \alpha$  – қарсы бетпен жасалатын бұрыш.

Осыдан түрлендіру арқылы келесі (6) формуланы аламыз.

$$P = \frac{\pi d^2}{2} \cdot \frac{v^2 \gamma^2}{g}, \quad (6)$$

Біздің қисық сызықты және тік 90° бұрылатын құбырлар бөліктерінің ішіндегі коррозияның дамуын тәжірибелік зерттеулер көрсеткендей [2-3], құбырлардың түзу сызықты бөліктерінде коррозияның даму жылдамдығы –

$\omega_1=0,2$  мм/жыл тең, тік  $90^\circ$  бұрылатын құбырлар бөліктерінде –  $\omega_2=0,833$  мм/жыл тең, ал қисық сызықты бөліктерде –  $\omega_3=0,375$  мм/жыл тең. Салыстырып көрсек, қисық сызықты құбырлардың бөліктерінде коррозия түзу сызықты бөлікке қарағанда 1,875 есе, ал тік  $90^\circ$  бұрылатын құбырлардың бөліктеріне қарағанда 4,165 есе артық жүрген. Одан, қисық сызықты және тік  $90^\circ$  бұрылатын құбырлар бөліктеріне судың ағысы мен пайда болатын күштер, сәйкесінше судағы иондар санының артып кетуі коррозияның даму жылдамдығына айтарлықтай әсер ететіндігін көреміз.

Құбыр ішіндегі коррозияның даму жылдамдығына әсер ететін сұйықтағы иондар саны келесідей сипатталады. Иондар саны құбырдың түзу бөлігінде -  $\pi d \cdot N_1$ -тең. Мұндағы  $N_1$  - цилиндрлік бетте орналасқан иондар саны, олардың әсерінен коррозия  $\omega_1$  жылдамдығымен жүреді. Иондар саны құбыр  $90^\circ$  бұрылғанда -  $\frac{\pi d^2}{4} \cdot N_2$  - тең. Мұндағы  $N_2$  - цилиндр көлемінде орналасқан иондар саны, олардың әсерінен коррозия  $\omega_2$  жылдамдығымен жүреді.

Сонымен құбыр  $90^\circ$  бұрылғанда сұйықтағы иондар саны  $\frac{N_2 d}{4 \cdot N_1}$  -

мөлшеріне артып кетеді. Жоғарыда баяндалғаннан келесідей тұжырымдар жасауға болады:

1) Түзу жатқан құбырда иондар саны цилиндр бетіне тікелей байланысты;

2) Құбыр  $90^\circ$  бұрылғанда иондар саны цилиндрдің көлденең қимасына байланысты. Мұнда судың ағу жылдамдығы күрт өзгеріп, иондар саны көбейеді және центрге тартқыш күш әсер етеді. Сәйкесінше, құбырдың ішкі қабырғасында коррозия жылдам дамиды.

Айтылғандарға дәлелдеме келтіру үшін құбыр  $90^\circ$  бұрылғанда ішіндегі ламинарлық режиммен ағыс болған кезіндегі құбырдың бірлік цилиндріндегі иондар санын анықтап көреміз. Ол үшін келесідей көрсеткіштерді нақтылаймыз:

$N_1$  - бірлік цилиндрдің бетіндегі иондар саны,  $N_1 = \pi d$ ;

$N_2$  - бірлік цилиндрдің көлеміндегі иондар саны,  $N_2 = 1 \frac{\pi d^2}{4}$ ;

$n$  – құбыр ішіндегі ламинарлық режим ағысы кезіндегі су қабаттарының саны;

$d$  – тәжірибелік зерттеулерде қолданылған құбыр диаметрі, 32 мм.

$$\sum N_2 = \pi(d-2x) \cdot \frac{N_1}{\pi d} + \pi(d-4x) \frac{N_1}{\pi d} + \dots + \pi(d-2nx) \frac{N_1}{\pi d}; \quad (7)$$

$$\sum N_2 = N_1 \left[ \left( \frac{d-2x}{d} \right) + \left( \frac{d-4x}{d} \right) + \dots + \left( \frac{d-2nx}{d} \right) \right]; \quad (8)$$

$$N_2 = \frac{N_1}{d} \int_{d/2}^0 (d-2nx) dx = \frac{N_1}{d} dx \int_{d/2}^0 -2 \frac{N_1}{d} n \frac{x^2}{2} \int_{d/2}^0 = \frac{N_1 d}{2} - \frac{N_1 n d^2}{4} = \frac{N_1 d}{2} \left( 1 - \frac{nd}{2} \right) \quad (9)$$

Бұдан мысалға егер құбырдың  $90^\circ$  бұрылатын жеріндегі су қабаттарының саны  $n=4$ ,  $n=3$ ,  $n=2$  болған кезіндегі, бірлік цилиндріндегі иондар санын анықтап көреміз.

$$N_2 = \frac{N_1 d}{2} \left( \frac{nd}{2} - 1 \right) = \frac{N_1 \cdot 3,2}{2} \left( \frac{4 \cdot 3,2}{2} - 1 \right) = 8,64 N_1$$

$$N_2 = \frac{N_1 d}{2} \left( \frac{nd}{2} - 1 \right) = \frac{N_1 \cdot 3,2}{2} \left( \frac{3 \cdot 3,2}{2} - 1 \right) = 6,08 N_1$$

$$N_2 = \frac{N_1 d}{2} \left( \frac{nd}{2} - 1 \right) = \frac{N_1 \cdot 3,2}{2} \left( \frac{2 \cdot 3,2}{2} - 1 \right) = 3,52 N_1$$

Осыдан, құбырлардың бұрылыстарындағы және түзу сызықты бөліктеріндегі иондар санының қатынасын аламыз

$$\frac{N_2}{N_1} = d \left( \frac{d}{2} n - 1 \right), \quad (10)$$

Мұндағы  $n$  шекаралық қабаттың қалыңдығына байланысты болады.

Біздің тәжірибелік зерттеулерде [2-3] келтірілген дәлелдер бойынша, құбырлардың ішіндегі коррозияның дамуы судағы иондар санына тікелей байланысты. Жоғарыда қарастырған есептеулерде құбырлардың түзу сызықты бөліктері мен тік  $90^\circ$  бұрылатын құбырлар бөліктеріндегі иондар санының ара-қатынасы анықталып, тәжірибелік көрсеткіштермен салыстырылды. Яғни, осы ара-қатынас 4,16 тең болғандықтан, құбыр ішіндегі ламинарлық режим ағысы кезіндегі су қабаттарының саны 2-3 аралығында болатындығы анықталды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алимбаев, Б.А. Особенности развития коррозии в криволинейных участках стальных труб гидротехнических сооружений [Текст] / Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев, Р.Ж. Джанузакова // Известия ВУЗов. – 2013. – №2. – С.18-19.
2. Аманбаев, Е. Особенности развития коррозии на углах поворотов в трубных стальных конструкциях [Текст] / Е. Аманбаев, Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев // Вестник КазГАСА. – 2016. – №4. – С.71-75.
3. Аманбаев, Е. Влияние расположения в плоскости стальных трубных конструкции гидротехнических сооружений на скорость развития коррозии [Текст] / Е. Аманбаев, Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев // Вестник КазГАСА. – 2018. – №1. – С.99-104.
4. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / П.Г. Киселев; Изд. 4-е, переработ. и доп. – М.: Энергия, 1972.

Материал редакцияға 05.12.18 түсті.

**Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев, Е.Н. Аманбаев**

Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г.Тараз, Казахстан

### ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКА ВОДЫ НА РАЗВИТИЕ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ ТРУБ

Рассмотрены пути развития коррозии в стальных трубах. Описано воздействие потока воды на развитие внутренней коррозии стальных труб. Обоснована первостепенность развития коррозии на криволинейных участках труб.

**Ключевые слова:** коррозия, стальные трубы, ионы воды, поток воды.

**В.А. Alimbaev, B.Zh. Manapbaev, E.N. Amanbaev**

*M.Kh. Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan*

### THE IMPACT OF WATER FLOW ON INTERNAL CORROSION OF PIPES

Discusses the development of corrosion in steel pipes. The effect of water flow on the development of internal corrosion of steel pipes is considered. Substantiates the importance of the development of corrosion on curved pipe sections.

**Keywords:** corrosion, steel pipe, ions of water, water flow.

---

## ЭКОЛОГИЯ

---

УДК 628.16

Е.Т. Тогабаев<sup>1</sup>, М. Маханов<sup>1\*</sup>, У.М. Утепбергенова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, профессор, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент  
Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан  
Электронная почта: \*m.mahanoff@yandex.ru

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБЕССОЛИВАНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД И СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА УСТАНОВКИ

Описана технологическая схема опытно-промышленной установки для обессоливания минерализованных вод. Предлагаемая установка позволяет получить пресную воду и предотвратить сброс рассолов, которые используются для приготовления регенерационных растворов для натрий-катионитовых фильтров. Выполнен анализ материального баланса установки.

**Ключевые слова:** загрязнители природных водоисточников, сокращение расходов реагентов на умягчение и воды, умягченная вода, пресная вода.

**Постановка задачи.** В настоящее время наблюдается непрерывно возрастающая деградация качества воды природных источников из-за антропогенного воздействия промышленных, коммунальных предприятий и сельского хозяйства.

Одним из основных загрязнителей природных водоисточников является теплоэнергетика, где для обессоливания питательной воды парогенераторов используется ионный обмен, характеризующийся большим количеством сбрасываемых соленых вод после регенерации и отмычки фильтрующей загрузки и высоким расходом частично деминерализованной воды на собственные нужды ионообменных фильтров.

Проблемы загрязнения водоисточников и дефицита пресных вод могут быть решены развитием и внедрением экологически чистых технологий водоподготовки, к которым в первую очередь относятся мембранные технологии, в том числе диализ и электродиализ.

**Анализ исследованию проблем.** В Московском инженерном институте были проведены исследования и предложена комбинированная схема с включением электродиализа и ионообменного обмена для подготовки глубокообессоленной воды на тепловых электрических станциях и позже внедрена на Новочеркасской ГРЭС и Южной ТЭЦ г. Москва [1]. О результатах аналогичных исследований появились публикации в зарубежной литературе [2] и в последующие годы были введены в эксплуатацию комбинированные (электродиализ-ионный обмен) водоподготовительные установки в Японии [3]. Фирмой «Амоуко» (г. Элвин, Техас, США) [4] была построена и принята в эксплуатацию в 1982 г. комбинированная установка.

Разработанная нами технологическая схема отличается тем, что для сокращения осадкообразующих ионов карбоната кальция, гидрата окиси магния и сульфата кальция минерализованных подземных вод перед электродиализными опреснительными аппаратами в сочетании с натрий-катионитовыми фильтрами устанавливаются диализные аппараты, что приводит к уменьшению нагрузки на фильтры и сокращению расходов реагентов на умягчение и воды, необходимой для взрыхления и отмывки загрузки, а также предусмотрено использование рассолов для приготовления регенерационных растворов после обработки их в осветлителе и фильтр-прессе. В конечном счете, разработанная схема позволяет получать пресную воду и предотвратить сброс в водоемы засоленных стоков и отработанных регенерационных растворов.

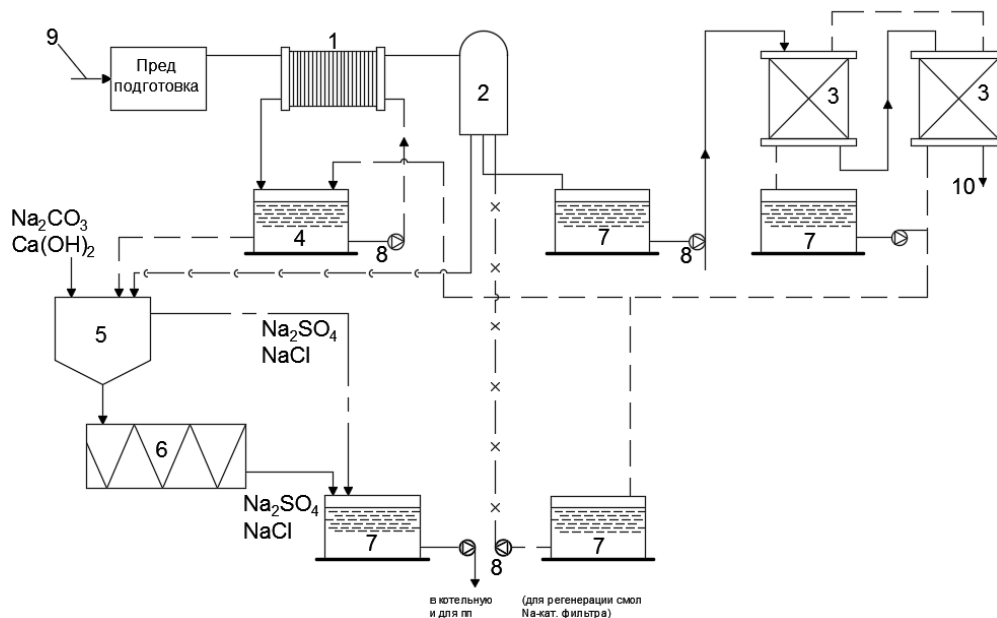
**Цели и задачи исследований.** При разработке схемы преследовались 3 цели: частичное обессоливание (опреснение) минерализованных вод для получения пресной воды; ликвидация стоков и утилизация концентрированного рассола; сокращение реагентов за счет использования рассолов для приготовления регенерационных растворов [5].

К задачам исследований кроме разработки технологической схемы относится составление материального баланса для инженерного расчета установки.

Эти цели и задачи реализуются в схеме следующим образом (рис. 1). Осветленная вода поступает в диализный аппарат 1 для снижения жесткости на 40-50%. Процесс диализа в указанном аппарате осуществляется по прямоточной схеме с рециркуляцией рассола. Далее обрабатываемая вода направляется в фильтр натрий-катионирования 2 для более глубокого умягчения. Вследствие высокого солесодержания исходной воды в качестве загрузки натрий-катионитового фильтра принят катионит КУ-2-8. Умягченная вода насосом подается в электродиализатора 3 для опреснения, а затем потребителю. Рассол, вследствие незначительного содержания осадкообразующих ионов кальция и магния в подаваемой для опреснения воде, при циркулировании можно сконцентрировать в десятки раз. Этот сконцентрированный рассол затем поступает в рассольный бак 4 диализного аппарата, где может циркулировать по контуру: рассольный бак – рассольный насос – диализатор в течение всего времени, пока выполняется условие осуществления процесса диализа [6]. После этого часть рассола бака 4, также как и стоки от фильтра натрий-катионирования, направляется в осветлитель 5 для реагентного осаждения добавлением извести и соды. Процесс образования осадка в осветлителе проходит в две стадии. Первая стадия состоит из химической реакция взаимодействия ионов с образованием малорастворимых соединения  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Во второй стадии происходит процесс кристаллизации вещества образующегося осадка и агломерации вещества осадка в хлопья. Следующая операция, заключающаяся в обезвоживании осадка осуществляется в фильтр-прессе 6. Растворы после осветлителя и фильтр-пресса, содержащие, в основном, соли  $\text{NaCl}$ , подаются для регенерации фильтра Na- катионирования, т.к. жесткость данного раствора, равная 1,5 мг-экв/л, позволяет использовать его для этих целей.

Таким образом, в приведенной схеме отпадает необходимость в реагентах для приготовления рассола, участвующего в процессе диализа и регенерационного раствора для фильтра натрий – катионирования .

При обработке вод с незначительной жесткостью исключается операция доумягчения в Na-катионитовом фильтра, что упрощает схему и может привести к большому экономическому эффекту.



1 – диализный аппарат; 2 – Na-катионитовый фильтр; 3 – электродиализаторы АЭ – 25; 4 – рассольный бак; 5 – осветлитель для реагентного осаждения; 6 – фильтр-пресс ФП АКМ; 7 – баки; 8 – насосы; 9 – исходная вода; 10 – опресненная вода.

Рис. 1. Технологическая схема обессоливания минерализованных вод

Для инженерного расчета технологической схемы обессоливания минерализованных вод необходимо составление материального баланса, который связывает расходы и солесодержание потоков по аппаратам установки.

Для составления материального баланса вводятся следующие обозначения:

- $C_{вх}$  – концентрация исходной воды;
- $C_{1вх}^к$  – концентрация одновалентных катионов в исходной воде;
- $C_{2вх}^к$  – концентрация двухвалентных катионов в исходной воде;
- $C_{вх}^а$  – концентрация анионов в исходной воде;
- $C_{вых}$  – концентрация умягченной воды;
- $C_{1вых}^к$  – концентрация одновалентных катионов в умягченной воде;
- $C_{2вых}^к$  – концентрация двухвалентных катионов в умягченной воде;
- $C_{1ос}^к + C_{ос}^а$  – концентрация солей, выпавшихся в осадок в баке приготовления рассола;

приготовления рассола;

- $C_{вых}^а = C_{вх}^а$  – концентрация анионов в умягченной воде;

- $C_{1доб}^к + C_{доб}^а$  – добавка хлорида для приготовления рассола;

-  $\alpha = C_{д}/C_{вых}$  – степень опреснения, т.е. отношение концентрации опресненной в электродиализной установке воды к исходной умягченной воде;

- $Q_{д}$  – количество опресненной воды;

-  $Q_p$  – количество рассола из электродиализной установки, идущего на приготовление рассола в рассольном баке.

В диализный аппарат поступает исходная вода общей концентрацией -  $C_{вх.}$ , концентрацией одно- и двухвалентных катионов  $C_{1вх.}^k$  и  $C_{2вх.}^k$  и анионов  $C_{вх.}^a$ .

В схеме диализного аппарата пунктирной линией условно обозначена катионитовая мембрана, разделяющая диализный и рассольные потоки [6]. В процессе умягчения исходной воды с определенной жесткостью двухвалентные катионы, обуславливающие жесткость исходной воды, обмениваются на одновалентные катионы, содержащиеся в рассоле. Эти обменивающиеся катионы обозначены как  $C_{2обм.}^k$  и  $C_{1обм.}^k$ . Перенос или обмен анионов пренебрежимо мал, поэтому принимаем  $C_{вых.}^a = C_{вх.}^a$ . Из диализного аппарата выходит умягченная вода следующего состава:

$$C_{1вых.}^{k'} = C_{1вх.}^k + C_{1обм.}^{k'}; \quad C_{2обм.}^{k''} = C_{2вх.}^k - C_{2обм.}^{k'}$$

Эта вода направляется в Na-катионитовый фильтр, из которого выходит со следующим составом:

$$C_{1вых.}^{k''} = C_{1вых.}^{k'} + C_{1обм.}^{k''}; \quad C_{2вых.}^{k''} = C_{2вых.}^{k''} - C_{2обм.}^{k''}$$

Затем вода подается в электродиализные аппараты, где происходит опреснение со степенью  $\alpha$  и концентрирование. Обрабатываемая в электродиализном аппарате вода разделяется на два потока:  $Q_o$  - поток опресненной воды, который выдается потребителю, и  $Q_p$  - поток рассола. Общее количество солей в определенной воде будет равно  $\alpha Q_o c_{вых.}''$ , количество одновалентных катионов в опресненной воде -  $\alpha Q_o c_{1вых.}^{k''}$ , количество двухвалентных катионов -  $\alpha Q_o c_{2вых.}^{k''}$ , а количество анионов  $\alpha Q_o c_{вх.}^a$ . Концентрация рассола составляет  $C_p = 1 + (1 - \alpha)$ . Рассол  $1 - Q_o$  выходящий из электродиализатора, также разделяется на два потока, один из которых ( $Q_p$ ) идет на приготовление регенерационного раствора, а другой ( $1 - Q_p$ ) поступает в рассольный бак диализной установки.

Расход распределяется следующим образом.

В бак диализной установки и далее в рассольные камеры диализатора:

$[1 + (1 - \alpha)](1 - Q_p) C_{вых.}''$  - по общему солесодержанию;

$[1 + (1 - \alpha)](1 - Q_p) C_{1вых.}^{k''}$  - по содержанию одновалентных катионов;

$[1 + (1 - \alpha)](1 - Q_p) C_{2вых.}^{k''}$  - по содержанию двухвалентных катионов;

$[1 + (1 - \alpha)](1 - Q_p) C_{вх.}^a$  - по содержанию анионов.

В бак приготовления регенерационного раствора:

$[1 + (1 - \alpha)] Q_p C_{вых.}''$  - по общему солесодержанию;

$[1 + (1 - \alpha)] Q_p C_{1вых.}^{k''}$  - по содержанию одновалентных катионов;

$[1 + (1 - \alpha)] Q_p C_{2вых.}^{k''}$  - по содержанию двухвалентных катионов;

$[1 + (1 - \alpha)] Q_p C_{вх.}^a$  - по содержанию анионов.



Для приготовления регенерационного раствора дополнительно вводится добавка  $C_{1дооб.}^k + C_{1дооб.}^a$  в виде сухой поваренной соли. Из этого бака на регенерацию Na-катионитового фильтра подается раствор:

$$[1+(1-\alpha)] Q_p C_{вых}'' + C_{1дооб.}^k + C_{1дооб.}^a - \text{по общей концентрации};$$

$$[1+(1-\alpha)] Q_p C_{1вых}'' + C_{1дооб.}^k - \text{по концентрации одновалентных катионов};$$

$$[1+(1-\alpha)] Q_p C_{2вых}^{k''} - \text{по концентрации двухвалентных катионов};$$

$$[1+(1-\alpha)] Q_p C_{ex}^a + C_{1дооб.}^a - \text{по концентрации анионов}.$$

Рассол, выходящий из диализного аппарата, затем снова попадает в бак и содержит в себе:

$$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{вых}'' + C_{2обм}^k + C_{1обм}^k - \text{по общей концентрации};$$

$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{1вых}^{k''} + C_{1обм}^k - \text{по концентрации одновалентных для катионов};$

$$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{2вых}^{k''} + C_{2обм}^k - \text{по концентрации двухвалентных катионов};$$

$$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{ex}^a - \text{по концентрации анионов}.$$

Из бака диализных аппаратов рассол попадает в осветлитель для реагентного осаждения. В этот узел вводится добавка  $C_{1дооб.}^k + C_{дооб.}^a$  и  $C_{2дооб.}^k + C_{дооб.}^a$  после чего часть солей  $C_{2ос.}^k + C_{ос.}^a$  выпадает в осадок. Из этого узла в Na-катионитовый фильтр для регенерации подается раствор:

$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{вых}'' + C_{1дооб.}^k + C_{2дооб.}^k + C_{дооб.}^a - C_{2ос.}^k + C_{ос.}^a - \text{по общей концентрации};$

$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{1вых}^k + C_{1дооб.}^k - \text{по концентрации одновалентных катионов};$

$$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{2вых}^k + C_{2дооб.}^k - C_{2ос.}^k - \text{по концентрации двухвалентных катионов};$$

$$[1+(1-\alpha)] (1-Q_p) C_{ex}^a + C_{дооб.}^a - C_{ос.}^a - \text{по концентрации анионов}.$$

Проведем анализ материального баланса для катионов натрия:

1) для экспериментов с умягчением и опреснением шахтной воды;

$$2) \quad C_{1ex}^k + C_{1дооб.}^k = \alpha Q_o C_{1вых}^k + [1+(1-\alpha)](1-Q_o) C_{1вых}^{k//}$$

Так как  $C_{1вых}^k = C_{1ex}^k + C_{1обм}^k$ , то

$$C_{1ex}^k + C_{1дооб.}^k = \alpha Q_o C_{1ex}^k + \alpha Q_o C_{1обм}^k + [1+(1-\alpha)](1-Q_o) C_{1ex}^{k//} + [1+(1-\alpha)](1-Q_o) C_{1обм}^{k//}$$

3) для экспериментов с умягчением и опреснением исходной воды, содержащей только  $CaCl_2$

В данном случае  $C_{1ex}^k = 0$ , поэтому предыдущее выражение приобретает вид

$$C_{1дооб.}^k = \alpha Q_o C_{1обм}^{k''} + [1+(1-\alpha)](1-Q_o) C_{1обм}^{k''}$$

При проведении анализа материального баланса по двухвалентному катиону получим:

$$C_{2ex}^k + [1+(1-\alpha)] Q_p C_{2вых}^{k''} + C_{2обм}^k - C_{2ос.}^k = \alpha Q_o C_{2вых}^{k''} + [1+(1-\alpha)](1-Q_p) C_{2вых}^{k''} + C_{2ос.}^k [1+(1-\alpha)] Q_p C_{2вых}^{k''} + C_{2обм}^k - C_{2ос.}^k$$

Полученный материальный баланс позволяет произвести расчет содержания определенных компонентов и количества раствора в отдельных элементах технологической схемы.

**Выводы и перспективы дальнейшего исследования.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1) Предложенная бессточная технологическая схема умягчения и опреснения минерализованных вод позволяет получить пресную воду и предотвратить сброс стоков;

2) Отличительной стороной разработанной технологической схемы является возможность использования рассолов для приготовления регенерационных растворов;

3) Проведенный анализ материального баланса по одно и двухвалентным катионам в котором учитывается умягчение, обессоливание и осаждение солей в растворе позволяет произвести инженерный расчет технологической схемы обессоливания минерализованных вод;

4) Полученные результаты требуют дальнейшего исследования для создания экономико-математической модели процесса и его оптимизации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин, В.Н. Новая схема подготовки глубокообессоленной воды для ТЭС [Текст] / В.Н. Смагин, П.Д. Щекотов, Г.К. Дробот, Г.А. Зачинский // Тр. Теплоэлектропроекта. – 1977. – Вып.18. – С.159-168.
2. Katz, W. Elektrodialysis preparation of boiler feed and other demineralized // Water Amer.power conf.-Chicago, 1972.-V.33.-P.340-351.
3. Jtoi Shigory, Nakamura Jkuo. Water Desalination by Elektrodialysis//Chem Economy Eng.Rev.- 1978.-V.-N1(113). – P 29-40.
4. Mansouri, M. Elektrodialysis reversal units used as pre-demineralizer in boiler feed water treatment // 45th annual meeting International water conference (Pittsburgh, 22-24 oktober, 1984) - Bull TP 331.-10p.
5. Способ обессоливания минерализованных вод и утилизация рассолов [Текст] / Инновационный патент № 27736 на изобретение / Тогабаев Е.Т. БД №12 от 18.12.2013 г.
6. Смагин, В.Н. Математическая модель диализного метода умягчения воды [Текст] / В.Н. Смагин, Е.Т. Тогабаев // Сборник научных трудов ВО «Союзводпроект». Проблемы обводнения и сельскохозяйственного водоснабжения сельских населенных пунктов. – М., 1985. – С 44-49.

*Материал поступил в редакцию 10.12.18.*

**Е.Т. Тогабаев, М. Маханов, У.М. Утепбергенова**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан*

#### **МИНЕРАЛДАНҒАН СУЛАРДЫ ТҰЗСЫЗДАНДЫРУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СҰЛБАСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ҚОНДЫРҒЫНЫ ИНЖЕНЕРЛІК ЕСЕПТЕУ ҮШІН МАТЕРИАЛДЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІГІН ҚҰРУ**

Минералданған суларды тұзсыздандыру үшін тәжірибелік өнеркәсіптік қондырғының технологиялық сұлбасы сипатталған. Ұсынылған қондырғы тұщы суды алуға мүмкіндік береді және натрий-катионитті сүзгілер үшін

регенерациондық ерітінділерді дайындауда қолданылатын тұздықтар шығынының алдын алады. Қондырғының материалдық тепе-теңдігіне талдау жасалған.

**Тірек сөздер:** табиғи су көздерінің ластануы, суды жұмсарту үшін реагенттер шығынын азайту, жұмсартылған су, тұщы су.

**Ye. Togabaev, M. Makhanov, L. Utebergenoba**

*L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

#### **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF WEAKNESS MINERALIZED WATER AND COMPOSITION OF MATERIAL BALANCE FOR ENGINEERING CALCULATION INSTALLATION**

The technological scheme of the pilot plant for the desalination of saline water is described. The proposed installation allows you to get fresh water and prevent the discharge of brines, which are used for the preparation of regeneration solutions for sodium-cationite filters. The analysis of the material balance of the installation.

**Keywords:** pollutants of natural water sources, reduction of reagents costs for softening and water, softened water, fresh water

УДК 515.628

**М. Маханов**

*Канд. техн. наук, профессор*

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*  
*Электронная почта: m.mahanoff@yandex.ru*

#### **ГРУППОВЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ**

В статье рассмотрены вопросы обеспеченности питьевой водой населения, особенности системы централизованного водоснабжения групповыми водопроводами, а также их техническое состояние в зависимости от срока службы. Приведены методы определения схем начертания разветвленных водопроводных сетей, пути снижения капитальных и эксплуатационных затрат водопроводных сетей на стадии их проектирования и реконструкции.

**Ключевые слова:** групповые системы водоснабжения, водопроводы, капитальные и эксплуатационные затраты, методы определения конфигурации сетей.

К 2025 году население земного шара увеличится до 8 млрд. человек. Проблемы водных ресурсов и качество воды, оперделяющий социально-экономический уровень жизни людей, приобрели особую актуальность, как в отдельных государствах, так и в мире в целом. Право человека на питьевую воду является фундаментальным для жизни и здоровья. Обеспеченность достаточной и безопасной питьевой водой – неперменное условие реализации всех прав человека – так зафиксировано в документах ООН [1].

По оценкам Организации Объединенных Наций, 1,1 млрд. людей имеют недостаточный доступ к чистой питьевой воде, к тому же 2,6 млрд. людей имеют недостаточный доступ к воде для средств гигиены. Прогнозируется, что к 2020 году использование воды увеличится на 40% и к 2025 году два человека из трех будут испытывать нехватку воды [2].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) нехватку питьевой воды испытывает более трети населения земного шара, в том числе отдельные регионы Казахстана, т.к. значительная часть республики относится к пустынным и полупустынным регионам.

Доступность и качество питьевой воды определяют здоровье людей и уровень жизни населения. Отсутствие чистой воды является основной причиной распространения кишечных инфекций, гепатита и болезней желудочно-кишечного тракта, увеличивается степень риска возникновения многих болезней и усиливается воздействие вредных факторов на организм человека, может привести к массовым заболеваниям и распространению эпидемий. До 20% всех заболеваний связано с неудовлетворительным качеством воды.

Стоимость воды с каждым годом дорожает. К примеру, в 2016 году тарифная стоимость 1 м<sup>3</sup> воды в г. Астана составила 50,17 тенге, в Кызылординской области – от 153 тенге за 1 м<sup>3</sup>, Мангыстауской области около 750 тенге за 1 м<sup>3</sup>, в Уральской области 359 тенге за 1 м<sup>3</sup>, в Северо-Казахстанской области от 40,4 до 130 тенге за 1 м<sup>3</sup>, когда тариф городских водопроводов был значительно ниже. В связи с глобальным изменением климата по прогнозу многих авторитетных специалистов [3] со временем питьевая вода может стать дороже золота и проблемы с водой могут привести к локальным конфликтам между государствами, социальной напряженности и миграционных процессов, т.к. многие государства обеспечиваются водой трансграничными реками, в том числе Казахстан зависит по рекам Иртыш и Иле от Китая, по рекам Талас, Шу – Киргизстана, по реке Сырдарии – Киргизстана и Узбекистана, по реке Урал – от РФ. В будущем ожидается уменьшения притока трансграничных рек.

За последние 60 лет в мире потребление питьевой воды возросло 8 раз. К середине столетия многие страны будут вынуждены импортировать воду. Вода – крайне ограниченный ресурс и борьба за обладание источниками уже становится важнейшим фактором геополитики, являясь одной из причин напряженности и конфликтов на планете [4].

В связи с освоением обширных территорий целинных земель Северного Казахстана, Западной Сибири, Алтайского края и других регионов Казахстана и России с целью обеспечения водой с 60-х годов прошлого столетия строились групповые системы водоснабжения, обеспечивающие надежное снабжение водой населенные пункты, хлебоприемные пункты, железнодорожные станции, животноводческие промышленные комплексы и фермы, предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции и другие объекты. Уже в 1970 г. в Казахстане были построены: Ишимский – 1760 км, Булаевский – 1885,5 км групповые водопроводы – первые два из двенадцати, составляющие самую крупную в мире централизованную систему водоснабжения, охватывающую территорию площадью 18 млн. га с населением 2 млн. человек. Также были построены Южный Омский (390 км), Селетинский (390 км), Нуринский (970 км), Пресновский (3334 км), Беловодский (2187 км), Кустанайский (1300 км) и Соколовский (900 км) групповые водопроводы. Эти групповые водопроводы эксплуатируются и

появились: городские и сельские населенные пункты получают воду на хозяйственно-питьевые и производственные нужды.

В Российской Федерации построены групповые водопроводы с общей протяженностью 250,9 тыс.км и эксплуатируются 107 сельскохозяйственных групповых водопроводов общей протяженностью 22 тыс.км, в том числе магистральных 14,8 тыс.км, обеспечивающий водой 1016 населенных пунктов. В одном только Ставропольском крае были построены 16 групповых водопроводов.

Групповые водопроводы получили широкое распространение в республиках Средней Азии, Азербайджане, Армении и Казахстане, а также в странах дальнего зарубежья – Болгарии, Англии, Чехословакии, ФРГ, Бельгии, Японии и др.

Построенные в то время групповые водопроводы в Казахстане, наряду с решением проблемы водоснабжения сельских населенных мест создали предпосылки для успешного решения социально-экономических задач. Например, из-за неудовлетворительного состояния водоснабжения населенных пунктов до строительства групповых водопроводов, население вынуждено было подвозить воду на значительное расстояние (до 30-50 км). Привозная вода обеспечивала лишь питьевые нужды и самые необходимые нужды производства.

Однако, групповые водопроводы Казахстана и России построенные 40-50 лет назад из стальных труб без защитных покрытий отработали свой срок службы с превышением нормативов почти в 2 и более раз (срок службы стальных труб 20 лет) и значительная часть этих труб стало негодным из-за внутренней и наружной коррозии труб. Наблюдается частая аварийность на групповых водопроводах из-за появлений свищ, трещины, повреждений по сварным швам на стыках труб, разрыва тела трубы и др. В результате нарушается герметичность труб, возрастают утечки перекачиваемой воды, сужается площадь живого сечения трубы из-за коррозионных отложений внутри труб, которые приводят к росту энергетических затрат на подачу воды потребителем.

Коррозия также приводит к загрязнению воды, проникновению внешних вод через повреждения в систему водоснабжения, изменяющий качество и вкус транспортируемой воды. По данным [5] толщина внутритрубных отложений после 11-летней эксплуатации достигла 20 мм и более и средняя толщина составила 10-15 мм, основными видами повреждений в системах сельскохозяйственного водоснабжения являются аварии из-за прорывов труб, преобладающим количеством из всех повреждений составляют свищи до 80%, по сведениям РГП «Есіл су» особенно высокий процент свищей на трубах малых диаметров ( $d = 100-200$  мм).

Все это требует замены труб старых групповых водопроводов на новые трубы с антикоррозийными покрытиями, применения пластмассовых, асбестоцементных и чугунных труб. Однако в чугунных и асбестоцементных трубах герметичность на стыках труб быстро нарушается или наблюдаются поломки из-за их хрупкости.

В целях реализации поручения Президента РК «Построим будущее вместе» и в соответствии со Стратегическим планом развития РК до 2020 года, утвержденным Президентом РК от 1 февраля 2010 года, №922 разработана Программа «Ақ бұлақ» по обеспечению населения качественной питьевой водой и услугами водоотведения на 2011-2020 годы.

Несмотря на определенные улучшения в обеспечении питьевой водой, на сегодняшний день значительная часть населения республики все еще не обеспечена водой соответствующего качества и в полном объеме.

По программе «Ақ бұлақ» предусмотрено реализация и решение следующих задач [6]:

- 1 этап – 2011-2015 годы: обеспечение доступа к централизованному водоснабжению в сельской местности 54% от общего количества СНП, в городах – 87%;

- 2 этап – 2016-2020 годы: обеспечение доступа к централизованному водоснабжению в сельской местности 80% от общего количества СНП, в городах – 100%; обеспечение доступа к централизованному водоотведению в СНП – 20%, в городах – 100%.

В рамках реализации отраслевой программы «Питьевая вода» с 2002 года РГП «Есіл Су» введено в эксплуатацию 409,1 км водовозов и отвозов за место устаревших групповых водопроводов. В итоге возобновлена подача воды 34 сельским населенным пунктам [7]. По республике построены, реконструированы и отремонтированы 13288 км водопроводов и сетей водоснабжения, улучшено водоснабжение в 3499 сельских населенных пунктах, 32 малых городах с численностью более 5 млн.чел., в том числе 3,5 млн.чел. сельского населения [8].

В Северном Казахстане по данным РГП «Есіл су» РГП «Казводхоз» Комитета по водным ресурсам МСХ РК эксплуатирует 2710 км групповых водопроводов, обеспечивая водой 11 районов Северо-Казахстанской и 2 района соседней Кустанайской областей (224 сельских населенных пунктов). В настоящее время в рамках программы «Ақ бұлақ» производится работа по реконструкции групповых водопроводов протяженностью 17 тыс. 785 км с разводящими сетями и внедрением новейшего силового оборудования и систем водоучета на сумму 298,620 млрд. тенге. По завершению программы «Ақ бұлақ» на 2010-2020 годы питьевую воду с групповых водопроводов РГП «Есіл су» будут получать 507 населенных пунктов Северо-Казахстанской области [9].

Существенная часть средств для создания систем водоснабжения сельских населенных пунктов на стадии проектирования и реконструкции может быть сэкономлена, если проектирование групповых водопроводов будет выполняться с выявлением экономически наиболее целесообразного варианта конфигурации сети добавлением в структуру узловых пунктов с нулевыми потребляемыми расходами, учитывающие потребляемые расходы потребителей, снижающие капитальные и эксплуатационные затраты на сети водопроводов.

Групповые водопроводы сельскохозяйственного водоснабжения относятся ко II-й категории надежности, допускающей при их эксплуатации снижение подачи воды до 30% в течение одного месяца или перерывы в подаче воды в течение 5 часов [10, 11]. Особенностью сельскохозяйственных населенных пунктов являются большие размеры земельных угодий, закрепленных за одним территориальным округом, что определяет сравнительно дальние расстояния населенных пунктов (до 50-60 км) друг от друга [11]. Вследствие этого, экономически выгодными являются тупиковые начертания сети и при проектировании следует стремиться к снижению стоимости сооружений водопровода. По тупиковой схеме построено и спроектирована основная часть групповых водопроводов. Проектирование

кольцевых сетей групповых водопроводов целесообразно только для районов с большой плотностью населенных пунктов.

Таким образом, технико-экономические показатели водопроводов зависят от заданной конфигурации сети. Если протяженность конфигурации сети на стадии проектирования и реконструкции сократить даже на 1%, то можно сэкономить значительные средства по капитальным затратам и материальности, а также по эксплуатационным затратам.

В настоящее время начертание сети водопроводов задается опытным специалистом на основе опыта и интуиции, цементный метод «избыточных схем» с применением компьютерной техники, затем производится технико-экономический расчет.

Как известно, при выборе наивыгоднейшего технического решения из множества вариантов в качестве критерия оптимальности изучения приведены ежегодные затраты по системе подачи и распределения воды, которые выражаются по формуле [10]

$$W = (p + E) \sum_{сему} (a + bd_{ik}^a)_{ik} + P(H_o + \sum h_{ik})Q_o \quad (1)$$

Первый член уравнения (1) содержит приведенные годовые затраты от строительной стоимости, второй – основные эксплуатационные затраты для подъема воды к потребителям, где  $P$  – нормативный коэффициент ежегодных отчислений на амортизацию и ремонт от строительной стоимости сети и водоводов;  $E = \frac{1}{t}$  – коэффициент эффективности капиталовложений;  $t$  – нормативный срок окупаемости;  $d_{ik}$  и  $l_{ik}$  – соответственно диаметры и длины участков сети водоводов;  $a + bd_{ik}^a$  эмпирическая формула строительной стоимости труб (с укладкой) на единицу длины труб, получается в результате обработки сметных данных, зависят от материала труб, глубины их водоносности;  $H_o$  – пьезометрическая высота диктующей точки сети относительно уровня воды в питающем резервуаре насосной станции;  $Q_o$  – полный расход воды подаваемый в систему;  $h_{ik}$  – потеря напора на участках сети и водоводах;  $P$  – экономический показатель, характеризующий затраты, которые связаны с подачей воды (ежегодные отчисления от стоимости насосной станции и годовая стоимость энергии, расходуемая на подъем воды):

Задача построения водопроводной сети с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами возникает уже при необходимости водоснабжения двух и более потребителей. Проектирование гидравлического расчета водопроводной сети идут в такой последовательности: трассируют начертание сети и устанавливают схемы питания, намечают узловые пункты и определяют величины отбора воды из них. Определяют диаметры труб расчетных участков сети и потери напора на них. Во всех случаях в первую очередь определяется начертания трассы сети. Существенное влияние на уменьшение затрат групповых водопроводов оказывает рациональная конфигурация сети. Оптимальная сеть состоит из прямолинейных отрезков, связывающих заданные пункты и учитывающих условия местности, концы которых назовем вершинами сети. В групповых водопроводных сетях различается четыре категории вершин: источники водоснабжения, пункты потребителей воды, угловые вершины с нулевыми расходами – вынужденно добавляемые при трассировке между пунктами

потребителей для обхода препятствий и узловые вершины, дополнительно вводимые в конфигурацию сети при ее построении, в которых сходятся три участка сети.

Построение наивыгоднейшей конфигурации групповых водопроводов сводится к отысканию функции  $F$  удовлетворяющим минимальным затратам

$$F = P_1 l_1 + P_2 l_2 + \dots + P_n l_n = \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

где:  $P_1, P_2, \dots, P_n$  - удельные веса - затраты на единицы длины соответствующих участков сети, которые можно получить из обработки сметных данных;  $l_1, l_2, \dots, l_n$  - длины соответствующих участков сети.

Длина участка между  $j$ -м и  $(j+1)$ -м пунктом выражаются по формуле

$$l_i = \sqrt{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2} \quad (3)$$

где:  $x_j, y_j, l$  - известные координаты пунктов потребителей, источников или неизвестные координаты узлов разветвления сети.

Установлено [11, 12], что если протяженность конфигурации водопроводной сети на стадии проектирования и реконструкции сократить даже на 1%, то можно сэкономить значительные средства по капитальным затратам и материалоемкости до 5-7%, а также по эксплуатационным затратам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [?][Текст] // Водоснабжение и канализация. – 2015. – №2. – С 5-10.
- Государственная программа «Чистая вода» [Текст] // Водоснабжение санитарная техника. – 2009. – №6. – С. 3-18.
- Мендебаев, Т. Вода- это жизнь [Текст] / Т. Мендебаев // Водное хозяйство Казахстана. – 2011. – №3(31). – С. 48-52.
- Послание Президента РК Н.А. Назарбаева народу Казахстана [Текст] / – Астана, 2012.
- Утарбаев, Ш.М. О влиянии напоров на надежность функционирования систем группового водоснабжения [Текст] / Ш.М. Утарбаев, О.Ш. Отарбай // Водное хозяйство Казахстана. – 2006. – №4. – С. 21-25.
- Программа «Ақ бұлақ» на 2011-2020 годы [Текст] // Водное хозяйство Казахстана. – 2012. – №3(41). – С. 6-10.
- Исмаилов, С.Н. Качественная питьевая вода – наш приоритет [Текст] / С.Н. Исмаилов // Водное хозяйство Казахстана. – 2011. – №6. – С. 3-8.
- «Ақ бұлақ» – чистая вода в каждый дом [Текст] // Водное хозяйство Казахстана. – 2011. – №3(31). – С. 3-7.
- [?] / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.bnews.kz](http://www.bnews.kz).
- Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей [Текст] / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, В.Н. Варапаев. – М.: Стройиздат, 1976. – 304 с.
- Кемелев, А.А. Водопотребление и рационализация систем сельскохозяйственного водоснабжения [Текст] / А.А. Кемелев. – Алматы: Кайнар, 1979. – 124 с.



12. Маханов, М. Выбор наивыгоднейшей конфигурации разветвленных водопроводных сетей [Текст] / М. Маханов // Вестник КазНТУ. – 2008. – №5. – С. 80-87.

*Материал поступил в редакцию 19.12.18.*

**М. Маханов**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан*

### **СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ТОПТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҚАЙТА САЛУ САТЫСЫНДА ШЫҒЫНДАРДЫ ТӨМЕНДЕТУ ЖОЛДАРЫ**

Мақалада тұрғындардың тұщы сумен қамтамасыздандыру мәселелері және топтық су құбырларының орталықтандырылған жүйесі, сонымен қатар олардың қызмет ету мерзіміне байланысты техникалық жай-күйі қарастырылған. Тарамдалған су құбырларының сұлбасының сызбасын анықтау әдістері және топтық су құбырларын жобалау және қайта салу сатысында күрделі және пайдалану шығындарын азайту әдістері келтірілген.

**Тірек сөздер:** сумен қамтамасыз етудің топтық жүйесі, күрделі және пайдалану шығындары, желі конфигурациясын анықтау әдістері.

**M. Makhanov**

*L.N Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

### **GROUP WATER SUPPLY SYSTEM AND WAYS TO REDUCE COSTS AT THE STAGE OF THEIR DESIGNING AND RECONSTRUCTION**

The article deals with the issue of drinking water supply to the population of the globe and the system of centralized water supply by group water supply systems, as well as their technical condition depending on the service life. The methods of determining the scheme of branched water supply networks, ways to reduce capital and operating costs of water supply networks at the stage of their design and reconstruction.

**Keywords:** group water supply systems, water pipelines, capital and operating costs, methods of determining the configuration.

---

---

## Химические технологии

---

---

УДК 661.63

Д.Г. Балтабаева<sup>1</sup>, Х.Р. Садиева<sup>2</sup><sup>1</sup>Студент, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент

Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан

Электронная почта: <sup>1</sup>baltabayeva.diana@gmail.com, <sup>2</sup>xalipa71@mail.ru

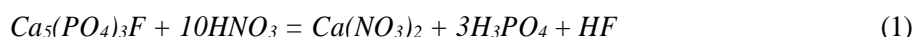
### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СЕЛЕНО- И СВИНЦОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СОСТАВА ФОСФОРИТНОГО СЫРЬЯ

В статье представлены результаты анализа фосфоритного сырья, разложенного концентрированной азотной и соляной кислотой. Установлено, что разложение азотной и соляной кислотой обеспечивает выделение переходных элементов в виде селено-, свинцовых соединений.

**Ключевые слова:** фосфоритное сырье, концентрат, редкоземельные элементы (РЗЭ).

Способ выделения редкоземельных элементов из вторичных концентратов, полученных при переработке фосфоритного сырья заключается в том, что разложение фосфатного сырья ведут азотной и соляной кислотой при Т:Ж - 1: 2,5-3,5 в присутствии щавелевой кислоты, которую берут в количестве 10-50 мас. % сверх стехиометрии на оксиды редкоземельных элементов, осадок оксалатов РЗЭ отделяют, промывают водой и прокаливают. Достижимый результат заключается в повышении степени извлечения РЗЭ в осадок оксидов до 97-99%, уменьшении количества операций при получении оксалатов РЗЭ и снижении расхода азотной или соляной кислоты в 2-3 раза, а щавелевой кислоты в 2,0-2,5 раза [1].

Каратауский фосфоритовый концентрат – перспективное сырье для комплексной переработки, позволяющее получить, помимо фосфорных удобрений, соединений стронция, редкоземельных элементов и фтора. Несмотря на экологическую целесообразность комплексной переработки фосфорита, в настоящее время существует единственная промышленная схема, предусматривающая попутное извлечение РЗЭ, стронция и утилизацию фтора, основанная на разложении фосфорита азотной кислотой [2]:



Нами исследовано выделение редкоземельных элементов из фосфоритных концентратов, полученных при переработке фосфоритов Каратау месторождений Кокжон, Коксу. Результаты химического и физико-химического анализа состав вторичного концентрата приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сводные данные по химическому и физико-химическому анализу разложенных вторичных концентратов фосфоритов Каратау

№ п/п	Содержание массовой доли, %								
	H <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Общ. азот
Разлож. фосфоритов 2 н HNO <sub>3</sub> (жидкая фаза)	-	1,9	7,92	0,77	0,145	0,014	0,03	0,002	4,23
Разлож. фосфоритов 2 н HNO <sub>3</sub> (твердая фаза)	9,17	0,13	2,64	1,52	0,0207	0,014	0,02	0,06	1,29
Выход, % разлож. фосфорито в 2н HNO <sub>3</sub>		2,03	10,52	2,29	0,1657	0,028	0,05	0,062	5,52
Разлож. фосфорито в 2 н HCl (жидкая фаза)		0,8	61,8	0,42	0,103	0,028	0,03	0,003	1,53
Разлож. фосфорито в 2 н HCl (твердая фаза)	8,28	0,5	7,92	1,615	0,014	0,014	0,01	0,06	2,23
Выход, % разлож. фосфорито в 2 н HCl		1,3	69,72	2,035	0,117	0,042	0,04	0,063	3,76

Из таблицы 1 видно, что результаты анализа показывают наличие во вторичном концентрате полезных и ценных элементов. Поэтому, вторичные концентраты фосфоритов Каратау исследованы нами атомно-эмиссионным спектроскопическим методом на приборе Agilent 4200 MP-AES. Из жидких фаз были испытаны 2 разные пробы (разложение фосфоритов 2 н азотной кислотой и разложение фосфоритов 2 н соляной кислотой). Пробы берутся в колбу объемом 100 мл, в которую приливают 10 мл концентрата и разбавляют дистиллированной водой, хорошо перемешивают. Из полученного раствора берется аликвота и исследуется атомно-эмиссионным спектроскопическим методом на приборе Agilent 4200 MP-AES,

функционирующий на кафедре «Химия и химическая технология» Тараского государственного университета им М.Х. Дулати.

В данном спектрометре электромагнитное СВЧ-поле возбуждает плазму в азоте, который генерируется из воздуха. Температура азотной плазмы составляет 5000-6000 °С. Спектрометр охлаждается воздухом и не требует установки водоохладителей, баллонов с газом и другого дополнительного оборудования. Отказ от применения горючих газов обеспечивает безопасность работы и отсутствие ограничений на эксплуатацию прибора в учебных заведениях и жилых зданиях. В приборе использован оптимизированный СВЧ- генератор второго поколения, горелка усовершенствованной конструкции, новый контролер потока азота на распылитель и эффективные аналитические характеристики, повышена надежность, расширены возможности работы со сложными образцами, например с высокосолевыми растворами. Agilent 4200 MP-AES укомплектован новым программным обеспечением MP Expert с интерфейсами для управления прибором и обработки данных. В состав ПО входят автоматизированные системы оптимизации и устранения интерференций и библиотеки предустановленных методов анализа. [3]

Результаты анализа атомно-эмиссионной спектроскопии вторичного концентрата фосфоритов Каратау представлены в таблице 2.

Таблица 2

Определение содержания редкоземельных элементов в составе вторичного концентрата фосфоритов Каратау методом атомно-эмиссионной спектроскопии

№ н/п	Наименование пробы	Метка элемента (нм)	Конц-я	Ед измер	SD	% , RSD
1	Проба №1. Разложение фосфоритов 2н HNO <sub>3</sub>	Se (196,026 нм)	0,27	ppm	0,08	29,76
		Zn (213,857 нм)	0,15	ppm	0,00	1,68
		Cd (228,802 нм)	0,00	ppm	0,00	>100
		Sr (407,771 нм)	8,19	ppm	0,03	0,42
		Ba (455,403 нм)	1,48	ppm	0,00	0,20
		Cu (324,754 нм)	0,06	ppm	0,00	0,48
		Ni (352,454 нм)	0,31	ppm	0,00	0,61
		As (193,695 нм)	0,73	ppm	0,22	29,81
		Co (340,512 нм)	0,53	ppm	0,01	1,06
		Pb (405,781 нм)	-0,12 мк	ppm	0,00	1,75
		Mo (379,825 нм)	0,08	ppm	0,00	1,05
		Mn (403,076 нм)	17,73 о	ppm	0,05	0,29
		Cr (425,433 нм)	0,27	ppm	0,01	2,47
Al (396,152 нм)	13,70 о	ppm	0,79	5,78		
2	Проба №2.	Se (196,026 нм)	-0,28 у	ppm	0,12	43,27
	Разложение фосфоритов 2н HCl	Zn (213,857 нм)	0,25	ppm	0,00	0,83
		Cd (228,802 нм)	0,00	ppm	0,00	>100
		Sr (407,771 нм)	10,28	ppm	0,05	0,49
		Ba (455,403 нм)	0,36	ppm	0,00	0,19

	Cu (324,754 нм)	0,12	ppm	0,00	0,23
	Ni (352,454 нм)	0,23	ppm	0,00	0,60
	As (193,695 нм)	0,75	ppm	0,35	46,98
	Co (340,512 нм)	-0,02u	ppm	0,00	5,48
	Pb (405,781 нм)	-0,27 mv	ppm	0,01	2,24
	Mo (379,825 нм)	0,05	ppm	0,00	4,17
	Mn (403,076 нм)	20,44	ppm	0,03	0,14
	Cr (425,433 нм)	0,43	ppm	0,04	9,69
	Al (396,152 нм)	73,34	ppm	5,64	7,69

Из таблицы 2 видно, что при разложении фосфоритов минеральными кислотами, эффективно вскрывают соляная кислота (2н HCl). По содержанию элементов, например Se- 43,27 против 29,76; As -46,98 против 29,81; Cr-9,69 против 2,47; и т.д.

Редкоземельный концентрат представляет собой продукт с влажностью 20%. Концентрат содержит 25% суммы РЗЭ (в пересчете на оксиды) содержание массовой доли % CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а также соединения железа и алюминия. При переработке 1 т фосфорита можно получить около 20-25 кг концентрата. Извлечение РЗЭ в концентрат ~ 75% по отношению к содержанию в фосфорите.

Далее для получения селеносодержащих концентратов навеску редкоземельного концентрата массой 0,1 г помещают в коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup>, прибавляют 10-15 см<sup>3</sup> соляной кислоты и 1 см<sup>3</sup> азотной кислоты, накрывают часовым стеклом или стеклянной пластинкой и слабо нагревают до растворения селена. Стекло (пластинку) снимают, обмывают водой и осторожно выпаривают раствор на теплом месте до влажного остатка (лучше на водяной бане). Приливают 30-35 см<sup>3</sup> соляной кислоты, 60-80 см<sup>3</sup> воды, немного фильтробумажной массы и 2-2,5 г гидроксиламина солянокислого. Перемешивают и оставляют на 2-3 ч в теплом месте плиты до коагуляции осадка. Для выделения свинцосодержащих соединений навеску редкоземельного концентрата помещают в коническую колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup>, смачивают водой, прибавляют 2 г сернокислого калия, 15-20 см<sup>3</sup> соляной кислоты и раствор выпаривают досуха, не прокаливая остатка.

При создании комплексной технологии переработки фосфорита необходимо учитывать, что фосфорит является главным образом источником фосфора, и технология его переработки должна обеспечивать максимальное извлечение этого элемента в удобрение. Следовательно, технология выделения РЗЭ, в частности селено-, свинцосодержащих соединений должна рассматриваться как побочный процесс, который в дальнейшем будет изучаться для создания технологии разделения редкоземельных элементов из состава фосфоритного сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Папкина, М.В. Журнал успехи в химии и химической технологии [Текст] / М.В. Папкина, А.И. Михайличенко, Т.В. Копанова // Том XXVIII – 2014. – № 6. – С. 25-27.
2. Наумов, А.В. Обзор мирового рынка редкоземельных металлов [Текст]

- / А.В.Наумов // Известия вузов. Цветная металлургия – 2008. – №1. – С. 22-31.
3. Локин, Э.П. Извлечение редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты дигидратного процесса [Текст] / Э.П. Локин // Матер. Межд. науч. конф. НИУИФ. – 2012. – № 1. – С. 106-111.

*Материал поступил в редакцию 21.12.18.*

**Д.Ғ. Балтабаева, Х.Р.Садиева**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

**ФОСФОРИТТІ ШИКІЗАТТЫҢ ҚҰРАМЫНАН СЕЛЕН ЖӘНЕ  
ҚОРҒАСЫН ҚҰРАМДЫ ҚОСЫЛЫСТАРДЫ БӨЛІП АЛУ  
ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ**

Мақалада концентрленген азот және тұз қышқылында ыдыратылған фосфоритті шикізат талдау нәтижелері келтірілген. Тұз және азот қышқылдарымен ыдырату нәтижесінде селен және қорғасын құрамды СЖЭ бөліп алу мүмкіндігі анықталды.

**Тірек сөздер:** фосфоритті шикізат, концентрат, сирек жер элементтері (СЖЭ).

**D.G. Baltabayeva, Kh.R. Sadiyeva**

*Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz, Kazakhstan*

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF  
SELENIUM AND LEAD CONTAINING COMPOUNDS FROM THE  
PHOSPHATE RAW MATERIALS**

The results of the analysis of phosphate raw materials decomposed with concentrated nitric acid and hydrochloric acid. It was found that the decomposition of nitric acid and hydrochloric acid provides the release of REE in the form of selenium, lead compounds.

**Keywords:** phosphate raw material, concentrate, rare earth elements (REE).

## Математика

ӘОЖ 519.21 (075.8)

А.Т. Жақаш<sup>1</sup>, А.Б. Боранбай<sup>2</sup><sup>1</sup>Техн. ғыл. канд., доцент, <sup>2</sup>Студент

М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан

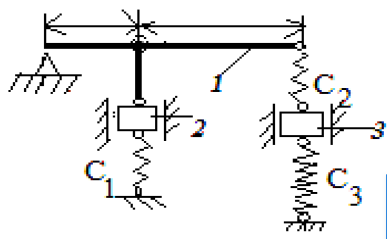
БІР СТЕРЖЕНМЕН БАЙЛАНЫСҚАН ЕРКІНДІК ДӘРЕЖЕСІ  
ЖОҒАРЫ ҮШ СЕРПІНДІ ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Еркіндік дәрежесі жоғары үш серпінді дененің гармоникалық тербелісі қарастырылған. Жүйе қозғалысының дифференциалдық теңдеуін құру үшін Лагранждың 2-ші ретті теңдеуі қолданылған. Еркіндік дәрежесі екіге тең динамикалық жүйенің қозғалысын анықтау үшін Maple17 және Delphi тіліндегі бағдарламалар құрылған.

**Тірек сөздер:** механикалық жүйе, кинетикалық энергия, тербеліс, меншікті жиілік, еркін тербеліс, масса, маятник, координата, период, амплитуда, инерция.

Жүйенің еркіндік дәрежелері дегеніміз – жүйе параметрінің өзгерісімен шартталған жүйе күйінің тәуелсіз мүмкін болатын өзгерісі немесе жағдайы.

Еркіндік дәрежесі екіге тең динамикалық жүйенің еркін тербелісін қарастырайық. Ол үшін жүйеге орын ауыстыру мүмкіндігін берейік.



Сурет 1. Механикалық жүйенің кинематикалық сұлбасы

Механикалық жүйенің жұмысшы органына келесі  $P = P_0 \cos pt$  периодты күш әсер етсін дейік.

Кедергіні ескермей, жүйенің еріксіз тербелісін зерттейміз.  $\vec{P}$  күші барлық жағдайда өзі орналасқан дененің ауырлық центрінен өтеді. Тербеліс кезінде күштің әсері не вертикаль, не горизонталь бағытта болады. Күштің әсерінен табылатын жүйелер үшін ығысу оның қозғалыс сызығының бойымен беріледі. Кедергіні ескермей тыныштық күйдегі еркіндік дәрежесі екіге тең еріксіз тербелісті зерттейміз [1].

Жалпылама координаталары ретінде АВ стерженнің тыныштық күйден қозғалыс жасағандағы пайда болған  $\varphi$  бұрышын және  $z$  – жүктің тыныштық күйден вертикаль ығысуын аламыз. Қарастырып отырған жүйеміз үшін Лагранждың теңдеуінің түрі төмендегідей болады:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} \right) - \frac{\partial T}{\partial z} = - \frac{\partial \Pi}{\partial z} + Q_z$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} + Q_\varphi \quad (1)$$

мұндағы  $Q_z, Q_\varphi$  – жалпылама ауытқыған күштер.

Жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергиялары төмендегі формулалармен анықталып, есептеулерде төмендегі параметрлерді аламыз: жүйе элементтерінің массалары:  $l = m_1 = 2\text{кг}, m_2 = 1\text{кг}, m_3 = 0,5\text{кг};$

серіппенің қатаңдық коэффициенттері:  $c_1 = \frac{20\text{Н}}{\text{см}} = \frac{2000\text{Н}}{\text{м}},$

$c_2 = \frac{40\text{Н}}{\text{см}} = \frac{4000\text{Н}}{\text{м}}, \quad c_3 = \frac{30\text{Н}}{\text{см}} = \frac{3000\text{Н}}{\text{м}},$  сызықтық өлшемі:

$l = 0,3\text{м}, P_0 = 0,005\text{кН}.$

$$T = \dot{\phi}^2 + 0,5\dot{z}^2, \Pi = 1500z^2 + 1575\varphi z + 22580\varphi. \quad (2)$$

Табылған кинетикалық және потенциалдық энергияларды (1)-ші теңдеуге қойып, жүйе қозғалысының дифференциалдық теңдеулерін аламыз. Ол дифференциалдық теңдеулерді шешу арқылы қажетті параметрлерді таба аламыз. Бізді қызықтыратын жүйенің жиіліктері төмендегідей:

$$k_1 = 54\text{с}^{-1}, k_2 = 150\text{с}^{-1}, \mu_1 = -1,65\text{рад/м}, \mu_2 = 0,14\text{рад/м}.$$

Жүйеге әсер етіп тұрған периодты күштің көмегімен  $Q_z, Q_\varphi$  – жалпылама күштерін табамыз [1]:

Біздің жағдайымызда

$$Q_\varphi = 0, Q_z = P_0 \cos pt.$$

Еріксіз тербелістер жүйесінің  $z, \varphi$ -жалпылама координалары бойынша сипаттайтын дифференциалдық теңдеуінің түрі мынадай болады:

$$a_{11}\ddot{z} + c_{11}z + c_{12}\varphi = P_0 \cos pt, \quad a_{22}\ddot{\varphi} + c_{21}z + c_{22}\varphi = 0$$

$$2\ddot{\varphi} + 1575z + 45160\varphi = 0, \quad \ddot{z} + 3000z + 1575\varphi = P_0 \cos pt, \quad (3)$$

Еріксіз тербелістерді анықтайтын (3) дифференциалдық теңдеудің дербес шешімі төмендегідей болады:

$$z = A_z \cos pt, \quad \varphi = A_\varphi \cos pt.$$

Бұл өрнектерді (3) дифференциалдық теңдеуге қойсақ, келесі алгебралық теңдеулерді аламыз:



$$(c_{11} - a_{11}p^2)A_z + c_{12}A_\varphi = P_0, \quad c_{21}A_z(c_{22} - a_{22}p^2)A_\varphi = 0$$

Бұл екі алгебралық теңдіктен  $A_z A_\varphi$ , табамыз:

$$A_z = \frac{p_0(a_{22}p^2 - c_{22})}{[(c_{11} - a_{11}p^2)(a_{22}p^2 - c_{22}) + c_{12}^2]}$$

$$A_\varphi = \frac{P_0 c_{12}}{[(c_{11} - a_{11}p^2)(a_{22}p^2 - c_{22}) + c_{12}^2]} \quad (4)$$

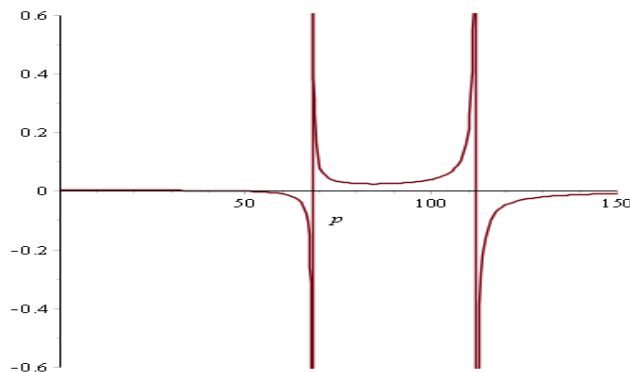
(4) формулалардың бөлімі  $p^2$  қатысты квадрат көпмүшелік болып табылады. Яғни бұл көпмүшеліктің шешімі еркін тербелістер жүйесінің  $k_1^2, k_2^2$  - жиіліктерінің квадраттары болып табылады. Онда (4) формулалар келесі түрде өрнектеледі:

$$A_\varphi = \frac{p_0(a_{22}p^2 - c_{22})}{[(c_{11} - a_{11}p^2)(a_{22}p^2 - c_{22}) + c_{12}^2]} = \frac{64 * (9000 - 2p^2)}{(p^2 - 2936)(p^2 - 22643)}, \quad (5)$$

$$A_\varphi = \frac{P_0 c_{12}}{[(c_{11} - a_{11}p^2)(a_{22}p^2 - c_{22}) + c_{12}^2]} = \frac{202326}{(p^2 - 2936)(p^2 - 22643)}, \quad (6)$$

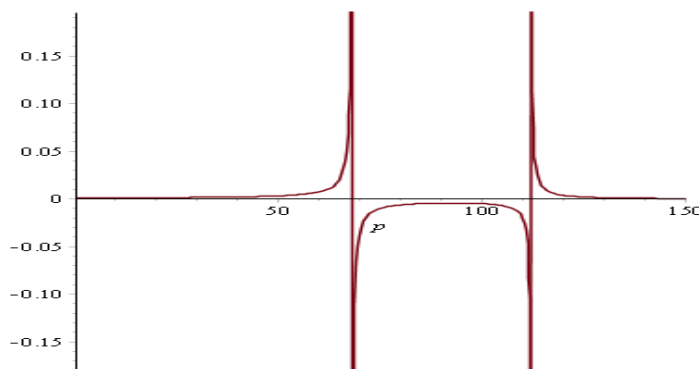
(4),(5),(6) формулалары арқылы  $A_z A_\varphi$  -дің  $p$ -жиілігіне тәуелділігін бақылауға және сәйкес графиктерін тұрғызуға мүмкіндік береді.

$A_z$  :



Сурет 2. Бірінші резонанстағы амплитуда-жиілік графиктері

$A_\varphi$  :



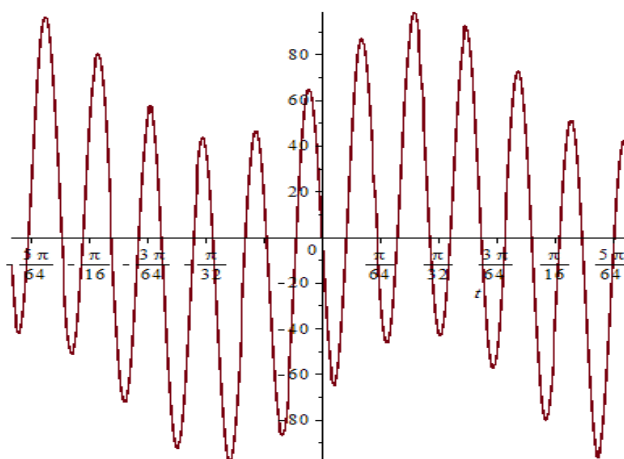
Сурет 3. Екінші резонанстағы амплитуда-жиілік графиктері

$$\begin{aligned} \text{Бірінші резонанс: } p &= k_1 = 54c^{-1}; \\ z &= -0,46t \sin 54t + 0,0006 \cos 54t \\ \varphi &= 0,76t \sin 54t + 0,00008 \cos 54t \end{aligned}$$

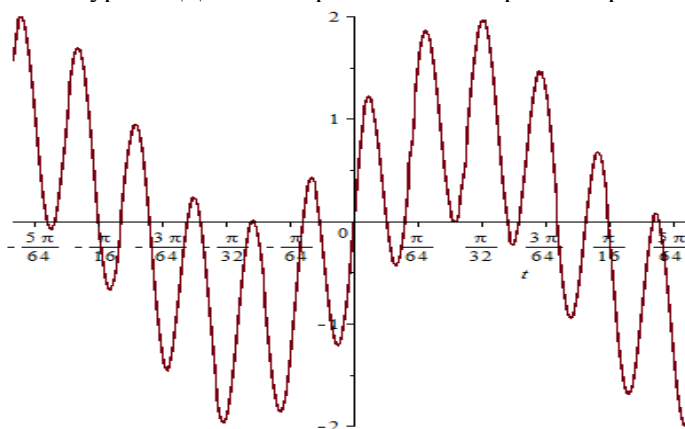
$$\begin{aligned} \text{Екінші резонанс: } p &= k_2 = 150c^{-1}; ; \\ z &= 0,038t \sin 150t + 0,003 \cos 150t \\ \varphi &= 0,005t \sin 150t + 0,004 \cos 150t ; \end{aligned}$$

Алынған нәтиже жүйенің резонанс кезінде периодты күштің аз мәнінде және резонанстық режимнің қысқа мерзімінде болып жатқан тербелісті бағалауға мүмкіндік береді.

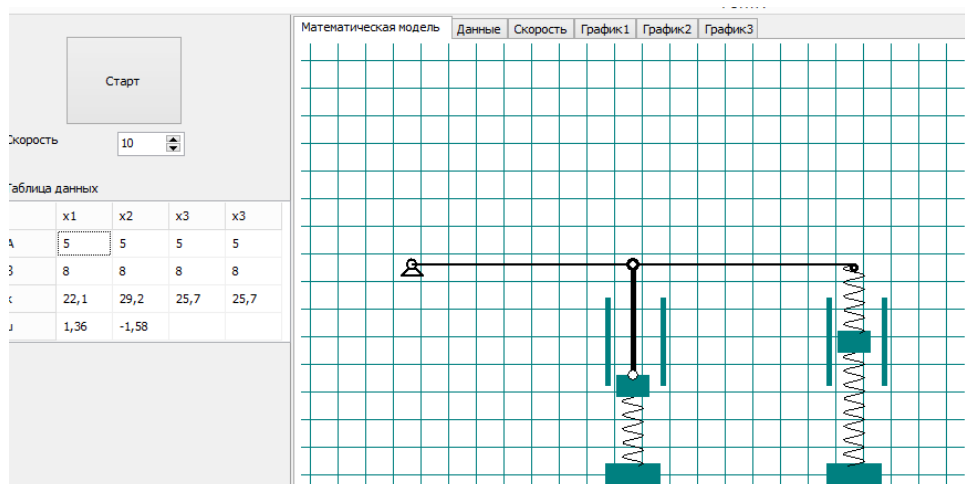
$A_{z_i}$  және  $B_i$  мәндері тапсырманың алғышарттар бойынша анықталады [2]. Жүйенің еркін және еріксіз тербелісінің қозғалыс заңдылықтарының графигін алу үшін Maple17 және Delphi бағдарламаларын қолданамыз. Есептеулердің нәтижелері 4-ші және 5-ші суреттерде көрсетілген. Графиктерден көрініп тұрғандай жүйедегі дене орнықты гармоникалық заңдылықпен қозғалады.



Сурет 4. Дененің гармоникалық тербелістері



Сурет 5. Дененің гармоникалық тербелістері



Сурет 6. Бағдарламаның терезесі

Қарастырылып отырған динамикалық жүйенің қозғалысын анимациялық тұрғыдан байқау үшін Delphi тілінде бағдарламалар құрылды. Бұл бағдарламаның негізінде жүйенің жұмыс істеу процесін әртүрлі параметрлерде алуға болады. Сонымен қатар, сол өзгерістерге сәйкес қажетті кинематикалық параметрлерді анықтауға болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. - 16-е изд., стер. – М.: КноРус, 2011. – 603 с.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1998. – 640 с.
3. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов [и др.]; Под ред. К.В.Флорова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.

Материал редакцияға 17.10.18 түсті.

**А.Т. Жақаш, А.Б. Боранбай**

*Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан*

#### **ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРЕХ ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЛ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ, СВЯЗАННЫХ ОДНИМ СТЕРЖНЕМ**

Рассмотрено гармональное колебание трех динамических тел с высокой степенью свободы. Для создания дифференциального уравнения системы используется уравнение второго порядка Лагранжа. Создана программа на языках Maple17 и Delphi для определения динамики динамической системы с двумя степенями свободы.

**Ключевые слова:** механическая система, кинетическая энергия, колебания, собственная частота, свободные колебания, масса, маятник, координаты, период, амплитуда, инерция.

**A.T. Zhakash, A.B. Boranbay**

*Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan*

### **STUDYING THE MOVEMENT OF THREE DYNAMIC BODIES WITH A HIGH DEGREE OF FREEDOM, ASSOCIATED WITH ONE ROD**

There is a harmonic oscillation of three dynamic bodies with a high degree of freedom. To create a differential equation of the system, a second-order Lagrange equation is used. Created in languages Maple17 and Delphi program to determine the dynamics of a dynamic system with two degrees of freedom.

**Keywords:** mechanical system, kinetic energy, oscillations, natural frequency, free oscillations, mass, pendulum, coordinates, period, amplitude, inertia.

ӘОЖ: 510.22

**А.Т. Жақаш<sup>1</sup>, А.А. Найзакулова<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Техн. ғылымдарының канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант*

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### **ЕРКІНДІК ДӘРЕЖЕСІ БЕСКЕ ТЕҢ БІЛІКТІҢ АЙНАЛМАЛЫ ТЕРБЕЛІСІНІҢ НЕГІЗГІ ЖИІЛІКТЕРІНІҢ ШЕКАРАСЫН АНЫҚТАУ**

Динамикалық жүйелердің тербелісінің жиілігін жуықтап есептеу, күрделі мәселелердің бірі болып табылады. Жұмыста еркіндік дәрежесі беске тең біліктің айналмалы тербелісінің жиіліктерінің шекарасын анықтау қарастырылған. Ол үшін жүйенің математикалық моделі құрылып, оның кері формасы пайдаланылды.

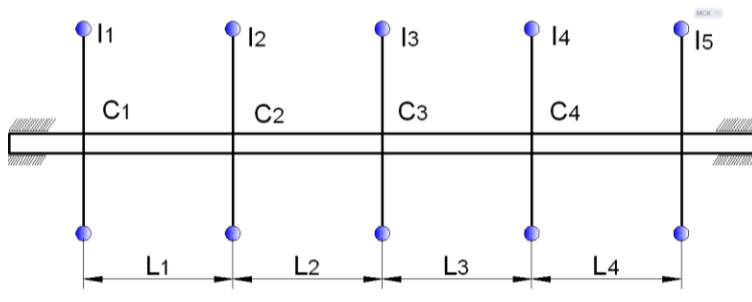
**Тірек сөздер:** динамикалық жүйелердің тербеліс жиілігі, жуықтап есептеу, еріксіз тербелістер және еріксіз тербелістердің амплитудасы.

Практикалық маңыздылығы бар тербелістерді есептеуді қажет ететін механикалық жүйелер көп жағдайда серпімді жүйе болып есептеледі. Бұларға арқалықтарды, тұрақты немесе өзгермелі қимадағы стержендер, іштен жану қозғалтқышының білігі, турбиналардың дискілері және т.б. жатқызуға болады. Бұларда тербелістің әсерінен пайда болатын деформацияларды анықтау үшін жүйедегі негізгі нүктелердің орын ауыстыруын біліп отыру қажет. Сондықтан серпімді жүйелердің еркіндік дәрежесі шексіз саннан тұрады деп есептеуге болады. Мұндай жүйелерді зерттеу өте күрделі мәселе болып табылады.

Практикалық тұрғыдан мұндай еркіндік дәрежесі шексіз жүйелерді еркіндік дәрежесі ақырлы жүйелермен ауыстыруға тура келеді. Қарапайым мысал ретінде кәдімгі қимылдамайтын нүктеге серіппе арқылы ілінген жүкті

келтіруге болады. Егер серіппенің массасын ескеретін болсақ, онда қарапайым жүйенің еркіндік дәрежесі шексіз көп.

Ал, егер серіппенің массасы жүктің массасынан анағұрлым аз болса, математикалық моделін құруда серіппенің массасын ескермей, еркіндік дәрежесі бірге тең жүйе деп қарастыруға болады, яғни, жүктің центрінің ауытқуын ғана қарастырамыз. Яғни, математикалық тұрғыдан қарағанда көптеген негізгі емес параметрлерді ескермеуге болады. Сондай еркіндік дәрежесі беске тең бес дискілі біліктің айналмалы тербелісін қарастырайық (1-сурет).



Сурет 1.

Жүйенің математикалық моделін құру үшін, Лагранждың 2 ретті теңдеуін қолданып, келесі дифференциалдық теңдеулер жүйесін кері формадағы түрін аламыз:

$$\begin{cases} c_1 \ddot{\alpha}_1 = -\frac{1}{A} \left[ I_1(I_2 + I_3 + I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_1 + I_1(I_3 + I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_2 + I_1(I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_3 + I_1 \cdot I_5 \ddot{\alpha}_4 \right] \\ c_2 \ddot{\alpha}_2 = -\frac{1}{A} \left[ I_1(I_3 + I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_1 + (I_1 + I_2) \cdot (I_3 + I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_2 + (I_1 + I_2)(I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_3 + (I_1 + I_2) \cdot I_5 \ddot{\alpha}_4 \right] \\ c_3 \ddot{\alpha}_3 = -\frac{1}{A} \left[ I_1(I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_1 + (I_1 + I_3)(I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_2 + (I_1 + I_2 + I_3)(I_4 + I_5) \ddot{\alpha}_3 + (I_1 + I_2 + I_3) \cdot I_5 \ddot{\alpha}_4 \right] \\ c_4 \ddot{\alpha}_4 = -\frac{1}{A} \left[ I_1 I_5 \ddot{\alpha}_1 + (I_1 + I_2) I_5 \ddot{\alpha}_2 + (I_1 + I_2 + I_3) I_5 \ddot{\alpha}_3 + (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \cdot I_5 \ddot{\alpha}_4 \right] \end{cases} \quad (1)$$

мұндағы  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$ ,  $\alpha_1 = \theta_i - \theta_{i+1}$ ,  $\theta_i$  - дискілердің бұрыштық бұрылулары.

(1)-ші дифференциалдық теңдеулер жүйесін симметриялық түрге келтіру үшін, келесі түрлендіруді қолданамыз:

$$\varphi_i = \alpha_i \sqrt{c_i} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

(2)-ші түрлендіруді (1)-ші теңдеулер жүйесіне қойып, келесі түрге келтіреміз:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = -\frac{c_1(I_1+I_2)}{I_1I_2}\varphi_1 + \frac{\sqrt{c_1c_2}}{I_2}\varphi_2 \\ \ddot{\varphi}_2 = \frac{\sqrt{c_1c_2}}{I_2}\varphi_1 - \frac{c_2(I_2+I_3)}{I_2I_3}\varphi_2 + \frac{\sqrt{c_2c_3}}{I_3}\varphi_3 \\ \ddot{\varphi}_3 = \frac{\sqrt{c_1c_2}}{I_3}\varphi_2 - \frac{c_3(I_3+I_4)}{I_3I_4}\varphi_3 + \frac{\sqrt{c_3c_4}}{I_4}\varphi_4 \\ \ddot{\varphi}_4 = \frac{\sqrt{c_3c_4}}{I_4}\varphi_3 - \frac{c_4(I_4+I_5)}{I_4I_5}\varphi_4 \end{cases} \quad (3)$$

Тура осындай түрлендіру дифференциалдық теңдеулер жүйесінің кері формасын келесі түрге келтіреді:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = -\frac{I_1(I_2+I_3+I_4+I_5)}{AC_1}\ddot{\varphi}_1 - \frac{I_1(I_3+I_4+I_5)}{A\sqrt{C_1C_2}}\ddot{\varphi}_2 - \frac{I_1(I_4+I_5)}{A\sqrt{C_1C_2}}\ddot{\varphi}_3 - \frac{I_1I_5}{A\sqrt{C_1C_4}}\ddot{\varphi}_4 \\ \ddot{\varphi}_2 = -\frac{I_1(I_3+I_4+I_5)}{A\sqrt{C_2C_1}}\ddot{\varphi}_1 - \frac{(I_1+I_2)(I_3+I_4+I_5)}{AC_2}\ddot{\varphi}_2 - \frac{(I_1+I_2)(I_4+I_5)}{A\sqrt{C_2C_3}}\ddot{\varphi}_3 - \frac{(I_1+I_2)I_5}{A\sqrt{C_2C_4}}\ddot{\varphi}_4 \\ \ddot{\varphi}_3 = -\frac{I_1(I_4+I_5)}{A\sqrt{C_3C_1}}\ddot{\varphi}_1 - \frac{(I_1+I_2)(I_4+I_5)}{A\sqrt{C_2C_3}}\ddot{\varphi}_2 - \frac{(I_1+I_2)(I_4+I_5)}{AC_3}\ddot{\varphi}_3 - \frac{(I_1+I_2+I_3)I_5}{A\sqrt{C_3C_4}}\ddot{\varphi}_4 \\ \ddot{\varphi}_4 = -\frac{I_1I_5}{A\sqrt{C_4C_1}}\ddot{\varphi}_1 - \frac{(I_1+I_2)I_5}{A\sqrt{C_4C_2}}\ddot{\varphi}_2 - \frac{(I_1+I_2+I_3)I_5}{A\sqrt{C_4C_3}}\ddot{\varphi}_3 - \frac{(I_1+I_2+I_3+I_4)I_5}{AC_4}\ddot{\varphi}_4 \end{cases} \quad (4)$$

Тура формадағы (3) дифференциалдық теңдеулер жүйесінің коэффициенттерін есептейік, ол үшін келесі шамаларды аламыз:

$$\begin{aligned} I_1 &= 10,78 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2, & I_2 &= 82,82 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2, & I_3 &= 14,27 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2, \\ I_4 &= 29,56 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2, & I_5 &= 21,66 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2, & C_1 &= 10,48 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}, \\ C_2 &= 34,8 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}, & C_3 &= 24,4 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}, & C_4 &= 40,6 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha\lambda_1 &= 10,987\lambda_1 - 0,231\lambda_2 \\ \alpha\lambda_2 &= -0,23\lambda_1 + 2,859\lambda_2 - 2,042\lambda_3 \\ \alpha\lambda_3 &= -2,042\lambda_2 + 2,535\lambda_3 - 1,065\lambda_4 \\ \alpha\lambda_4 &= -1,065\lambda_3 + 3,248\lambda_4 \end{aligned}$$

Бұл жерде  $\alpha = p^2 \cdot 10^{-4}$  деп аламыз.  $p$  - тербелістің жиілігі.

$$\text{Мысалы, } \frac{c_1(I_1+I_2)}{I_1I_2} = \frac{10,48 \cdot 10^4 (10,78 + 82,82)}{10,78 \cdot 82,82} = 1,0987 \cdot 10^4.$$

Сол сияқты басқа да коэффициенттерді есептейміз. Жүйеге келтірілген кері формадағы дифференциалдық теңдеудің коэффициенттерін (4) теңдеуден алып есептеп, оны матрица түріне келтіреміз:

$$\text{Мысалы, } \frac{I_1(I_2+I_3+I_4+I_5)}{AC_1} = \frac{10,78(82,82+14,27+29,56+21,66)}{159,09 \cdot 10 \cdot 48 \cdot 10^4} = 95,89.$$

Осылай коэффициенттерді есептеп, оларды матрица түрінде жазайық:

$$|(h_{ik})| = \begin{pmatrix} 95,89 & 23,23 & 21,70 & 7,12 \\ 22,23 & 110,72 & 103,41 & 33,9 \\ 21,70 & 103,41 & 143,52 & 46,5 \\ 7,12 & 33,90 & 46,50 & 46,08 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6}$$

Бастапқы формасы үшін  $\lambda^{(0)}_i = 1$  деп алайық, яғни  $\lambda^{(2)}_1 = 191,14 \cdot 10^{-6}$  бойынша есептейміз. Нәтижесінде  $\lambda^{(1)}_1 = 147,94 \cdot 10^{-6}$ ;  $\lambda^{(1)}_2 = 271,26 \cdot 10^{-6}$ ;  $\lambda^{(1)}_3 = 315,16 \cdot 10^{-6}$ ;  $\lambda^{(1)}_4 = 133,64 \cdot 10^{-6}$ .

Есептелінген нәтижелерді  $\lambda^{(1)}_1 = 147,94 \cdot 10^{-6}$  бөліп, табылған форманы келесі түрге әкелеміз:  $\lambda^{(1)}_1 = 1$ ;  $\lambda^{(1)}_2 = 1,834$ ;  $\lambda^{(1)}_3 = 2,13$ ;  $\lambda^{(1)}_4 = 0,903$ .

Бұл мәндерді (5) формулаға қойып, екінші жуықтауды есептейміз:

$$\begin{aligned} \lambda^{(2)}_1 &= 191,14 \cdot 10^{-6}; & \lambda^{(2)}_2 &= 477,17 \cdot 10^{-6}; & \lambda^{(2)}_3 &= 559,1 \cdot 10^{-6}; \\ \lambda^{(2)}_4 &= 210,03 \cdot 10^{-6}. \\ \lambda^{(3)}_1 &= 225,16 \cdot 10^{-6}; & \lambda^{(3)}_2 &= 640,32 \cdot 10^{-6}; & \lambda^{(3)}_3 &= 750,73 \cdot 10^{-6}; \\ \lambda^{(3)}_4 &= 278,48 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Тура осылай кез келген жуықтауды есептеуге болады. Негізгі жиіліктер шекарасы келесі формуламен анықталады:

$$\min \frac{\lambda_i^{(m-1)}}{\lambda_i^{(m)}} < p^2 < \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(0)} \cdot \lambda_i^{(m-1)}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(0)} \cdot \lambda_i^{(m)}} \quad (6)$$

Есептеулердің нәтижесінде келесі негізгі жиіліктер шекарасы табылды:  $56,32 < p < 67,9$ ;  $61,6 < p < 63,8$ ;  $62,4 < p_1 < 62,9$ ;  $62,5 < p < 62,7$ .

Практикалық қолданыста екінші жуықтаудың нәтижесінде жеткілікті бола алады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. - 16-е изд., стер. - М.: КноРус, 2011. - 603 с.
2. Тодес, О.М. Курс общей физики [Текст]: учеб. для вузов / О.М. Тодес, Г.А. Зисман. - М.: 1969. - 337с.
3. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. / И.И. Артоболевский. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1998. - 640 с.
4. Флоров, К.В. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. для вузов / К.В. Флоров, С.А. Попов, А.К. Мусатов [и др.]; Под ред. К.В.Флорова. - М.: Высш. Шк., 1987. - 496 с.

Материал редакцияға 11.12.18 түсті.

А.Т. Жакаш, А.А. Найзакулова

*Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОСНОВНЫХ ЧАСТОТ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛА С ПЯТЬЮ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ

В работе рассмотрены определение границ основных частот вращательных колебаний вала с пятью степенями свободы. Для этого на основе уравнения Лагранжа второго рода составлена математическая модель системы и использована ее обратная форма.

**Ключевые слова:** динамические системы, частота колебаний, приближенные вычисления, свободные и вынужденные колебания, амплитуда колебаний.

A.T. Zhakash, A.A. Naizakulova

*Taraz State University named after M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan*

### DETERMINE THE BOUNDARY OF THE MAIN FREQUENCIES OF ROTATIONAL OSCILLATIONS OF THE SHAFT WITH FIVE DEGREES OF FREEDOM

Calculation of approximate vibration frequencies of dynamic systems is one of the most difficult tasks of mechanics. In this paper we consider the definition of the boundary of the fundamental frequencies of rotational oscillations of the shaft with five degrees of freedom. For this purpose, on the basis of the Lagrange equation of the second kind, a mathematical model of the system is made and its inverse form is used.

**Keywords:** dynamic systems, oscillation frequency, approximate calculation, free and forced vibrations, oscillation amplitude.

ӘОЖ 514.765

Н.А. Абиев, А.Б. Досыбаева

<sup>1</sup>Физ.-мат. ғылым. канд., доцент, <sup>2</sup>Магистрант

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### КОМПЬЮТЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ МЕТРИКАЛЫҚ ЛИ АЛГЕБРАЛАРЫНЫҢ РИЧЧИ ОПЕРАТОРЫН ТАБУДАҒЫ ҚОЛДАНЫСТАРЫ

Метрикалық Ли алгебраларының Риччи қисықтылығын зерттеу теория мен оның қолданыстарындағы маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Бұл жұмыс Риччи операторын табуда аналитикалық есептеу жүйелерінің тиімділігін көрсетуге арналған. Сәйкес келетін Maple программасы әзірленген.

**Тірек сөздер:** метрикалық Ли алгебрасы, Риччи қисықтылығы, Риччи операторы.



**Кіріспе.** Римандық көпбейнелер теориясынан белгілі болғандай (мысалға, [1] жұмысын қараңыз),  $G$  Ли тобының кез келген сол-инвариантты метрикасы  $G$  Ли тобының Ли алгебрасында қандайда бір скалярлық көбейтіндіні туындатады. Керісінше, өз кезегінде, Ли алгебрасында берілген әрбір скалярлық көбейтінді Ли тобында қандайда бір сол-инвариантты метриkanı индукциялайтынын да білеміз. Мұндайда берілген Ли тобындағы сол-инвариантты векторлық өрістерді осы Ли тобының Ли алгебрасының элементтерімен сәйкестендіріп қарастыру заңдылығы орын алады. Аталған Ли алгебрасы Ли тобының бірлік элементіндегі жанама кеңістігі екенін ескерте кетейік. Осындай байқауымыздан берілген есепті шығару үшін тек Ли алгебраларының ыңғайлы аппаратын қолдану мүмкіндігі пайда болады, себебі векторлық кеңістіктер ретінде Ли алгебралары сызықтылық қасиетіне ие. Осылайша, метрикалық Ли алгебраларының аппараты римандық геометрия мен оның қолданыс салаларындағы есептерді зерттеу үшін өте тиімді болып табылады.

Мақалада компьютерлік технологиялардың Ли алгебраларындағы қолданыстарын шағылдыру мақсаты қойылған. [2-4] жұмыстары нәтижелеріне сүйене отырып, Maple бағдарламалау жүйесінде Ли алгебраларының Риччи операторын есептеудің программасы құрылған. Программа бірнеше классикалық мысалдарда сынақтан өткізілген.

**Белгілі теориялық нәтижелер.** Ли алгебралары теориясының негізгі анықтамаларына қысқаша тоқтала кетейік ([5] жұмысын қараңыз).

*Анықтама.*  $F$  өрісі үстінен анықталған  $L$  векторлық кеңістігінде Ли жақшасы деп аталатын

$$L \times L \rightarrow L, \quad (x, y) \mapsto [x, y],$$

бисызықтық амалы енгізілген болсын. Келесі шарттар орындалған жағдайда  $L$  векторлық кеңістігі  $F$  өрісі үстінен анықталған Ли алгебрасы деп аталады:

- 1) кез келген  $x \in L$  үшін  $[x, x] = 0$ ;
- 2) кез келген  $x, y, z \in L$  үшін  $[x, [y, z]] + [y, [z, x]] + [z, [x, y]] = 0$ .

$[x, y]$  Ли жақшасын  $x$  және  $y$  элементтерінің коммутаторы деп те атайды.

*Структуралық тұрақтылар.* Айталық,  $L$ - өлшемі  $n$  болатын Ли алгебрасы дейік.  $\{e_1, \dots, e_n\}$  жиыны мұның базисі болсын. Сонда  $[e_i, e_j]$  коммутаторын осы базис бойынша жіктей отырып, мынаны аламыз:

$$[e_i, e_j] = \sum_{k=1}^n c_{ij}^k e_k, \quad c_{ij}^k \in F. \quad (1)$$

$c_{ij}^k$  скалярлары  $L$  Ли алгебрасының берілген базистегі структуралық тұрақтылары деп аталады. Әрине, базис өзгергенде оған сәйкес келетін структуралық тұрақтылар да өзгереді.

*Анықтама.* Әрбір  $x \in L$  үшін  $ad_x : y \mapsto [x, y]$  ережесі бойынша анықталатын  $ad_x : L \rightarrow L$  бейнелеуі біріктірілген әрекеттің операторы деп аталады.

$F$  өрісі үстіне анықталған  $L$  Ли алгебрасында  $\{e_1, \dots, e_n\}$  базисі берілген болсын дейік. Сонда  $ad_{e_i}$  операторының матрицасы

$$ad_{e_i} = \begin{pmatrix} c_{i1}^1 & \dots & c_{in}^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{i1}^n & \dots & c_{in}^n \end{pmatrix}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

түрінде болады, яғни  $(ad_{e_i})_{kj} = c_{ij}^k$ , мұндағы  $c_{ij}^k$  тұрақтылары (1) өрнектерінен анықталады.

*Риччи қисықтылығы.* Қисықтылық ұғымы дифференциалдық геометриядан белгілі. Мұның жалпылануы ретінде римандық көпбейнелер теориясында Риччи қисықтылығы ұғымы мен бұған қатысты тензор–Риччи операторы енгізіледі. Ары қарай [2-4] жұмыстарының біздің тақырыпқа қатысты кейбір нәтижелерін келтіреміз.

Айталық,  $\{e_1, \dots, e_n\}$  базисі  $L$  Ли алгебрасының  $(\cdot, \cdot)$  скалярлық көбейтіндісіне салыстырмалы ортонормаланған болсын.

*Анықтама.*  $L$  Ли алгебрасының Киллинг формасы деп келесі ережемен берілетін  $B : L \times L \rightarrow R$  бисызықтық бейнелеуін айтады:

$$B(x, y) = \text{trace}(ad_x \circ ad_y), \quad \text{мұндағы } x, y \in L.$$

*Анықтама.* Ли алгебрасының Риччи операторы деп келесі ережемен берілетін  $Ric : L \times L \rightarrow R$  бисызықтық бейнелеуін айтады [3]:

$$Ric(x, x) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [x, e_i]^2 - \frac{1}{2} B(x, x) + \frac{1}{4} \sum_{i,j=1}^n ([e_i, e_j], x)^2 - ([H, x], x),$$

мұндағы  $x \in L$ ,  $H = \sum_{i=1}^n (\text{trace}(ad_{e_i}))e_i$ .

$Ric(x, x)$  саны  $L$  Ли алгебрасының  $x \in L$  нүктесіндегі Риччи қисықтылығы деп аталады. [4] жұмысында  $Ric$  операторын есептеудің мынадай қолайлы формуласы ұсынылған:

$$Ric = -\frac{1}{2} \Sigma_1 + \frac{1}{4} \Sigma_2 - \frac{1}{2} B - ad_H^s, \quad (3)$$

мұндағы  $T$ -матрицаларды транспонирлеу амалы,

$$\Sigma_1 = \sum_{i=1}^n (ad_{e_i})^T ad_{e_i}, \quad (4)$$

$$\Sigma_2 = \sum_{i=1}^n ad_{e_i} (ad_{e_i})^T, \quad (5)$$

$B$  -элементтері келесі түрдегі матрица:

$$b_{ij} = \text{trace}(ad_{e_i} ad_{e_j}), \quad (6)$$

$$ad_H^s = \frac{1}{2}(ad_H + (ad_H)^T),$$

$$ad_H = \sum_{i=1}^n (\text{trace}(ad_{e_i})) ad_{e_i}. \quad (7)$$

Демек, (3) формуласы бойынша Риччи операторын табу үшін (2) формуласымен анықталатын  $ad_{e_i}$  матрицаларын білуіміз жеткілікті.

*Ескерту.* Кез келген  $x \in L$  үшін  $\text{trace}(ad_x) = 0$  шарты орындалса,  $L$  Ли алгебрасы унимодулярлы деп аталады. Унимодулярлы Ли алгебралары үшін  $(H, x) = \text{trace}(ad_x) = 0$  болғандықтан,  $H = 0$  келіп шығатыны түсінікті.

Нильпотентті Ли алгебралары үшін Киллинг формасы нөлге тең екені белгілі. Сонымен бірге, нильпотентті Ли алгебрасы міндетті түрде унимодулярлы. Демек, нильпотентті Ли алгебралары жағдайында Риччи операторын табудың формуласы мынадай қарапайым түрге келеді:

$$Ric = -\frac{1}{2}\Sigma_1 + \frac{1}{4}\Sigma_2.$$

**Негізгі нәтижелер.** Жоғарыдағы (3) формуласы көмегімен Ли алгебраларының Риччи қисықтылығын есептеудің мысалдарын қарастырайық.

*Мысал 1.* Базисі  $\{x_1, x_2, x_3\}$ , ал нөлдік емес коммутаторы  $[x_3, x_1] = \gamma x_2$  болатын Ли алгебрасы берілсін. Осының Риччи операторын табайық. Сонда бұл алгебрадың нөлдік емес структуралық тұрақтылары:  $c_{31}^2 = \gamma$ ,  $c_{13}^2 = -\gamma$ . Демек, (2) формуласына сай

$$ad_{x_1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\gamma \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad ad_{x_2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad ad_{x_3} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Осыдан

$$\Sigma_1 = \sum_{i=1}^3 (ad_{x_i})^T ad_{x_i} = \begin{pmatrix} \gamma^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma^2 \end{pmatrix},$$

$$\Sigma_2 = \sum_{i=1}^3 ad_{x_i} (ad_{x_i})^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \gamma \\ 0 & 2\gamma^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Барлық  $i = 1, 2, 3$  үшін  $\text{trace}(ad_{x_i}) = 0$  болғандықтан,  $ad_H = 0$  болатыны айқын. Энгель теоремасына сай 1-мысалдағы Ли алгебрасы нильпотентті екені белгілі, себебі кез келген  $x \in L$  үшін  $(ad_x)^2 = 0$ -нөлдік матрица. Демек,  $B = 0$ . Сонымен,

$$Ric = -\frac{1}{2}\Sigma_1 + \frac{1}{4}\Sigma_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -\gamma^2 & 0 & \gamma \\ 0 & \gamma^2 & 0 \\ 0 & 0 & -\gamma^2 \end{pmatrix}.$$

Аз өлшемді қарапайым Ли алгебрасының 1-мысалын біз формулалардың мағынасын ашып көрсету мақсатында ғана қарастырдық. Жалпы жағдайда (3)-(7) формулалары бойынша есептеу жүргізу оңайға тұрмайды. Мұндай жағдай көп өлшемді Ли алгебраларын зерттегенде айқын байқалады. Мысалы, айталық, алты өлшемді Ли алгебрасы үшін Риччи операторын табу кезіндегі есептеулердің күрделілігін талдап көрейік. Сонда

1) Алдымен жалпы саны  $36 \times 6$  болатын  $c_{ij}^k$  тұрақтыларын анықтап,  $(6 \times 6)$ -өлшемді алты матрица  $(ad_{e_1}, \dots, ad_{e_6})$  матрицалары) толтыру қажеттілігі туар еді.

2) (4)-(5) формулаларында  $(6 \times 6)$ -өлшемді 6 матрица транспонирленеді, 12 рет осындай матрицалар көбейтіледі және 10 рет қосылады.

3) Киллинг операторын (6) формуласы бойынша есептеулер кезінде  $(6 \times 6)$ -өлшемді матрицалар бірі-біріне 36 рет көбейтіледі! Көбейтіндіде пайда болған 36 матрицаның іздерін табу үшін  $5 \times 36 = 180$  қосу амалын орындаймыз.

4) (7) формуласы бойынша  $ad_H^s = \frac{1}{2}(ad_H + (ad_H)^T)$  матрицасын есептеуде матрицалардың ізін есептеу үшін  $5 \times 6 = 30$  қосу амалын орындауға тиіспіз. Содан соң  $(6 \times 6)$ -өлшемді 6 матрицаны санға көбейтеміз. Соңында  $(6 \times 6)$ -өлшемді матрицалардың 6 қосындысын табамыз.

5) Ең соңында  $Ric$  операторын беретін (3) формулада 3 рет матрицаларды қосу амалы орындалады.

Осыдан амалдардың жалпы санын айтпағанда да, өлшемдері  $(6 \times 6)$  болған матрицаларды 36 рет көбейтудің өзі де қаншалықты қиын және ұзақ екені анық көрініп тұр. Демек, компьютердің көмегі бізге әбден қажет. Енді осындай күрделі есепті компьютерде шығару сұрағына тоқталайық. Біз ұсынатын программаны жоғарыдағы (3)-(7) формулаларына сәйкес 5 блокка (кезеңге) бөлеміз. Айталық,  $\dim L = n$  болсын.

*1-кезең.* Ли алгебрасы өлшемі мен  $c_{ij}^k$  тұрақтыларын енгізу.  $c_{ji}^k = -c_{ij}^k$  болғандықтан, программаға қолмен индекстері  $1 \leq i < j \leq n$  шартына бағынған структуралық тұрақтылар ғана енгізіледі.

Қалған структуралық тұрақтыларды компьютер өзі анықтайды:

```
for k from 1 to n do
  for i from 1 to n do
    for j from 1 to i - 1 do C[k][i,j] := -C[k][j,i] end do
  end do
end do;
```

$c_{ij}^k$  тұрақтылары бойынша  $ad_{e_1}, \dots, ad_{e_n}$  матрицалары толтырылады:

```

for  $i$  from 1 to  $n$  do
  for  $k$  from 1 to  $n$  do
    for  $j$  from 1 to  $n$  do  $ad_i[k,j] := C[k][i,j]$  end do
  end do
end do

```

2-кезең. (4)-(5) формулаларындағы  $\Sigma_1, \Sigma_2$  қосылғыштарын табу:

```

 $s := Matrix(n)$  : for  $i$  from 1 to  $n$  do
   $s := s + MatrixMatrixMultiply(Transpose(ad_i), ad_i)$ 
end do:  $\Sigma_1 := s$ ;

```

```

 $s := Matrix(n)$  : for  $i$  from 1 to  $n$  do
   $s := s + MatrixMatrixMultiply(ad_i, Transpose(ad_i))$ 
end do:  $\Sigma_2 := s$ ;

```

3-кезең. (6) формуласындағы Киллинг операторын есептеу:

```

 $B := Matrix(n)$  :
for  $i$  from 1 to  $n$  do
  for  $j$  from 1 to  $n$  do
     $B[i,j] := Trace(MatrixMatrixMultiply(ad_i, ad_j))$ 
  end do
end do

```

4-кезең. (7) формуласы арқылы  $ad_H^s$  матрицасын табу:

```

 $s := Matrix(n)$  : for  $i$  from 1 to  $n$  do  $s := s + Trace(ad_i) \cdot ad_i$  end do:
 $ad_H := s$ :  $sym\_ad_H := \frac{1}{2}(ad_H + Transpose(ad_H))$ 

```

5-кезең.  $Ric$  операторын табу:

$$Ric := -\frac{1}{2} \cdot \Sigma_1 + \frac{1}{4} \cdot \Sigma_2 - \frac{1}{2} \cdot B - sym\_ad_H$$

Ұсынылған программаны Ли алгебраларының кейбір мысалдарында сынақтан өткіземіз.

2-Мысал. [2] жұмысы нәтижелеріне сай кез келген скалярлық көбейтінді үшін төрт өлшемді  $A_{3,3} \oplus A_1$  Ли алгебрасында келесі структуралық тұрақтыларға ие болатын ортонормаланған базис табылады:  $c_{13}^1 = c_{23}^2 = a$ ,  $c_{23}^4 = b$ , мұндағы  $a > 0$ ,  $b \geq 0$ .

Программаға бастапқы деректерді енгіземіз:

$n := 4$ ;

$n := 4$

**for**  $k$  **from** 1 **to**  $n$  **do**  $C[k] := Matrix(n)$ ;  $ad_k := Matrix(n)$  **end do**:

$C[1][1,3] := a$ ;  $C[2][2,3] := a$ ;  $C[4][2,3] := b$ ;

Қалған есептеулер автоматтандырылған түрде жүргізіледі.  
 $ad_{e_1}, \dots, ad_{e_4}$  матрицалары:

$$ad_1 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$ad_2 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b & 0 \end{bmatrix}$$

$$ad_3 := \begin{bmatrix} -a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -b & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$ad_4 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$\Sigma_1, \Sigma_2$  қосылғыштары:

$$\Sigma_1 := \begin{bmatrix} a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a^2 + b^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2a^2 + b^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_2 := \begin{bmatrix} 2a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2a^2 & 0 & 2ba \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2ba & 0 & 2b^2 \end{bmatrix}$$

Киллинг операторы:

$$B := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$ad_H^s$  матрицасы:

$$sym\_ad_H := \begin{bmatrix} 2a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2a^2 & 0 & ba \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ba & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

*Ric* Риччи операторы:

$$Ric := \begin{bmatrix} -2a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2a^2 - \frac{1}{2}b^2 & 0 & -\frac{1}{2}ba \\ 0 & 0 & -2a^2 - \frac{1}{2}b^2 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2}ba & 0 & \frac{1}{2}b^2 \end{bmatrix}$$

3-Мысал. [6] жұмысы нәтижелеріне сай кез келген скалярлық көбейтінді үшін [7] классификациясындағы алты өлшемді  $L_{5,8} \oplus I$ ,  $L_{5,4} \oplus I$ ,  $L_{3,2} \oplus L_{3,2}$ ,  $L_{6,22}(0)$ ,  $L_{6,22}(-1)$  және  $L_{6,26}$  нильпотентті Ли алгебраларында келесі коммутациялық қатынастарды орындайтын ортонормаланған базис табылады:

$$\begin{aligned} [e_3, e_4] &= ae_1 + le_2, & [e_3, e_6] &= me_2, & [e_4, e_5] &= be_2, \\ [e_5, e_6] &= ge_1 + he_2. \end{aligned}$$

Сонда программаға енгізілетін бастапқы деректер:

$n := 6$  :

**for**  $k$  **from** 1 **to**  $n$  **do**  $C[k] := Matrix(n)$ ;  $ad_k := Matrix(n)$  **end do**:

$C[1][3, 4] := a$  ;  $C[2][3, 4] := l$  :

$C[2][3, 6] := m$  ;  $C[2][4, 5] := b$  :

$C[1][5, 6] := g$  ;  $C[2][5, 6] := h$  :

Қарастырылып жатқан мысалдағы Ли алгебралары нильпотентті болғандықтан, теорияға сай  $ad_H^s = 0$  және  $B = 0$  болуы тиіс (жоғарыдағы ескертуді қараңыз). Осыны компьютердегі есептеулер де растайды:

$$sym\_ad_H := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Риччи операторының матрицасы үлкен болғандықтан, оның әр жолын жеке шығарамыз:

for  $i$  from 1 to  $n$  do Ric[ $i$ ] end do

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2} a^2 + \frac{1}{2} g^2 & \frac{1}{2} a l + \frac{1}{2} g h & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} a l + \frac{1}{2} g h & \frac{1}{2} b^2 + \frac{1}{2} h^2 + \frac{1}{2} l^2 + \frac{1}{2} m^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} a^2 - \frac{1}{2} l^2 - \frac{1}{2} m^2 & 0 & \frac{1}{2} l b - \frac{1}{2} m h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{2} a^2 - \frac{1}{2} b^2 - \frac{1}{2} l^2 & 0 & \frac{1}{2} b h - \frac{1}{2} l m \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} l b - \frac{1}{2} m h & 0 & -\frac{1}{2} b^2 - \frac{1}{2} g^2 - \frac{1}{2} h^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} b h - \frac{1}{2} l m & 0 & -\frac{1}{2} g^2 - \frac{1}{2} h^2 - \frac{1}{2} m^2 \end{bmatrix}$$

*Қорытынды.* Көп өлшемді Ли алгебралары үшін Риччи операторын есептеу техникалық тұрғыдан күрделі есеп екеніне көз жеткіздік, яғни Ли алгебрасы өлшемі  $n$  болғанда есептеулер үшін қажет етілетін амалдардың саны  $n^2$  санынан кем болмайтынын көрсеттік. Мұндай жағдайда аналитикалық есептеулерді іске асыратын компьютерлік технологиялардың артықшылығы талассыз. Жұмыста ұсынылған программаға тек Ли алгебрасының структуралық тұрақтылары ғана енгізіледі. Ал қалған есептеулердің барлығын сол программа негізінде компьютер өзі іске асырып, уақыт ресурсымыз үнемделеді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Milnor J. Curvatures of left invariant metrics on Lie groups// Adv. Math. - 1976. -V.21. -P.293-329.
2. Кремлев, А.Г. Сигнатура кривизны Риччи левоинвариантных римановых метрик на четырехмерных группах Ли. Неунимодулярный случай [Текст] / А.Г. Кремлев, Ю.Г. Никоноров // Мат. труды. – 2009. – Т.12, №1. – С.40-116.
3. Бессе, А.Л. Многообразия Эйнштейна [Текст] / А.Л. Бессе. – М.: Мир, 1990.
4. Алексеевский, Д.В. Однородные римановы пространства отрицательной кривизны [Текст] / Д.В. Алексеевский // Матем. сб. - 1975. -Т.96. – С.93-117.
5. Erdman K., Wildon M.J. Introduction to Lie Algebras. Springer-Verlag London Limited, 2006.
6. Абиев, Н.А. О кривизне Риччи разрешимых метрических алгебр Ли с двухступенно нильпотентными производными алгебрами [Текст] / Н.А. Абиев // Мат. труды. – 2013. – Т.16, № 1. – С.3-17.
7. De Graaf W.A. Classification of 6-dimentional nilpotent Lie algebras over field of characteristic not 2 // Journ.Algebra. -2007. –V.309. -P.640-653.

*Материал редакцияға 19.12.18 түсті.*



**Н.А. Абиев, А.Б. Досыбаева**

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К НАХОЖДЕНИЮ ОПЕРАТОРА РИЧЧИ МЕТРИЧЕСКИХ АЛГЕБР ЛИ**

Изучение кривизны Риччи метрических алгебр Ли является одной из актуальных задач в теории и ее приложениях. Настоящая работа посвящена демонстрации эффективности системы аналитических вычислений при нахождении оператора Риччи. Разработана соответствующая Maple программа.

**Ключевые слова:** метрическая алгебра Ли, кривизна Риччи, оператор Риччи.

**N.A. Abiev, A. Dossybayeva**

*M.Kh.Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan*

### **USING COMPUTER TECHNOLOGIES TO CALCULATIONS OF RICCI OPERATOR OF METRIC LIE ALGEBRAS**

Studying of Ricci curvature of metric Lie algebras is one of important problems of the theory and its applications. The present work is devoted to the demonstration of efficiency of system of analytic computations in realizing calculations of Ricci operator. A corresponding Maple program was prepared.

**Keywords:** metric Lie algebras, Ricci curvature, Ricci operator.

УДК 681.3 + 681.3.07

**Н.А. Абиев<sup>1</sup>, А.Е. Ержигитова<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Канд. физ.-мат. наук, доцент, <sup>2</sup>Магистрант*

*Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

### **ЗАВИСИМОСТЬ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА ОТ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

В настоящей работе анализируется зависимость сложности (эффективности) алгоритма решения задачи от выбора типа абстрактного типа данных (АТД) и способа представления АТД в виде структур данных используемого языка программирования. Показано, что при обработке списков использование динамических структур данных является более предпочтительным, чем использование статических структур данных.

**Ключевые слова:** абстрактные типы данных, структуры данных, сложность алгоритма.

**Введение.** Попытка разработки эффективного алгоритма часто ставит разработчика перед выбором взаимоисключающих приоритетов. С одной стороны алгоритм должен быть простым для перевода в программный код и отладки. С другой стороны алгоритм должен выполняться достаточно быстро и не занимать много компьютерной памяти. Для прикладной задачи, требующей больших вычислительных затрат и многократно решаемой при разных значениях одних и тех же входных данных, важным является второе требование – уменьшение времени выполнения программы в ущерб ее простоте. Это объясняется тем, что с экономической точки зрения стоимость выполнения программы для решения подобной задачи может оказаться главным критерием эффективности разрабатываемого алгоритма. Отметим, что теоретические основы анализа алгоритмов и методы нахождения «компромисса» между противоречивыми требованиями к алгоритму изучены в основополагающих работах [1-3].

Очевидно, что время выполнения алгоритма зависит также от характеристик компьютера и от особенностей компилятора языка программирования. Если принимать в расчет эти обстоятельства, то любой «работающий» алгоритм на более мощном компьютере стал бы реализовываться быстрее, чем на слабом. Однако это не дало бы никакой информации о сугубо «личных» качествах самого алгоритма. Поэтому мерой эффективности алгоритма согласно [1] будем считать время выполнения алгоритма, измеряемое в шагах (инструкциях) алгоритма, которые необходимо выполнить алгоритму для достижения конечного результата. Следуя [1], время выполнения программы, измеряемое в шагах, назовем сложностью алгоритма и обозначим через  $T(n)$ , где  $n$ -размер входных данных. Основные результаты работы отражены в леммах 1 и 2.

**Предварительные сведения.** Напомним описание АД «Список». Список представляет собой конечную последовательность элементов  $a_1, a_2, \dots, a_n$  определенного типа  $T$ , где  $n \geq 0$ . Примем обозначения:  $L$ -список объектов типа  $T$ ,  $x$ -объект этого типа,  $p$ -позиция элемента в списке,  $1 \leq p \leq n$ . Кроме того, постулируется существование позиции, следующей за последним элементом списка. Функция  $\text{End}(L)$  будет возвращать позицию, следующую за позицией  $n$  в  $n$ -элементном списке  $L$ . Отметим, что позиция  $\text{End}(L)$ , рассматриваемая как расстояние от начала списка, может изменяться при увеличении или уменьшении списка, в то время как другие позиции имеют неизменное расстояние от начала списка.

Для наших целей нам понадобятся следующие два оператора АД «Список», описанные в [1]:

1) *Оператор вставки*  $\text{Insert}(p, x, L)$ . Этот оператор вставляет объект  $x$  в позицию  $p$  в списке  $L$ , перемещая элементы от позиции  $p$  и далее в следующую позицию.

Таким образом, если список  $L$  состоит из элементов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то после выполнения этого оператора он будет иметь вид  $a_1, a_2, \dots, a_{p-1}, x, a_p, \dots, a_n$ . Если  $p$  принимает значение  $\text{End}(L)$ , то будем иметь  $a_1, a_2, \dots, a_n, x$ . Если в списке  $L$  нет позиции  $p$ , то результат выполнения этого оператора не определен.

2) *Оператор удаления*  $\text{Delete}(p, L)$ . Этот оператор удаляет элемент в

позиции  $p$  списка  $L$ . Так, если список  $L$  состоит из элементов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то после выполнения этого оператора он будет иметь вид  $a_1, a_2, \dots, a_{p-1}, a_{p+1}, \dots, a_n$ . Результат не определен, если в списке  $L$  нет позиции  $p$  или  $p = \text{End}(L)$ .

Далее обсудим два известных способа представления АД «Список» на языке Pascal (см. [4,5] для необходимой информации).

**Способ №1.** *Использование массивов для работы с АД «Список».* В языке Pascal список можно определить как запись, имеющую два поля. Первое поле element (элемент) – это элементы массива, второе поле last (последний) - позиция последнего элемента списка в массиве:

```
const maxlength = максимальная длина массива;
type T = elementtype;
      List = record element: array [1..maxlength] of T;
                  last: integer
              end;
position = integer;
```

*Алгоритм 1. Реализация оператора Insert с помощью массивов:*

```
procedure Insert (x: elementtype; p: position; var L: List );
var q: position;
begin if L.last >= maxlength then error('Список полон')
      else if (p > L.last + 1) or (p < 1)
            then error ('Такой позиции не существует')
            else begin for q:= L.last downto p do
                      L.element[q+1]:= L.element[q];
                      L.last:= L.last + 1;
                      L.element[p]:= x
                    end
end;
```

*Алгоритм 2. Реализация оператора Delete с помощью массивов:*

```
procedure Delete ( p: position; var L: List );
var q: position;
begin if (p > L.last) or (p < 1)
      then error('Такой позиции не существует')
      else begin L.last:= L.last - 1;
              for q:= p to L.last do
                L.element[q]:= L.element[q+1]
              end
end;
```

**Способ №2.** *Использование указателей для работы с АД «Список».*

Для реализации списков в языке Pascal можно использовать также указатели, связывающие последовательные элементы списка. В такой реализации список состоит из звеньев, каждое из которых содержит элемент списка и указатель на следующее звено списка. Если список состоит из элементов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то для  $i = 1, 2, \dots, n-1$  звено, содержащее элемент  $a_i$ , имеет указатель на звено, содержащее элемент  $a_{i+1}$ . Звено, содержащее элемент  $a_n$ ,

имеет указатель **nil** (нуль). Имеется также звено-заголовок  $h$ , который указывает на звено, содержащее  $a_1$ . Звено  $h$  не содержит элементов списка. В случае пустого списка заголовок имеет указатель **nil**, не указывающий ни на какое звено. На рисунке 1 показан связанный однонаправленный список.

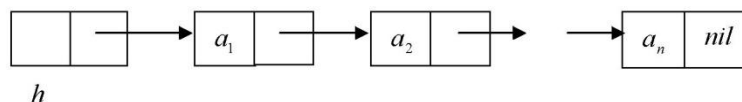


Рис. 1. Связанный список

В языке Pascal структуру связанного списка можно определить так:

```

type T = elementtype;
List = ^ celltype;
celltype = record element: T;
              next: List;
end;
  
```

Введем переменные  $p, q$  типа List,  $x$  типа T.

*Алгоритм 3.* Алгоритм реализации оператора  $\text{Insert}(p, x, L)$  через указатели:

- Шаг 1. Создать новое звено  $q$ .
- Шаг 2. Занести  $x$  в  $q$ .
- Шаг 3. Указатель  $q$  направить на звено, куда ссылалось  $p$ .
- Шаг 4. Указатель  $p$  перенаправить на  $q$ .

*Реализация оператора Insert с помощью указателей:*

```

procedure Insert(p:List; x:T);
var q: List;
begin new(q);
      q^.element:=x;
      q^.next:= p^.next;
      p^.next:=q
end;
  
```

*Алгоритм 4.* Алгоритм реализации оператора  $\text{Delete}(p, L)$  через указатели- очень простой. Элемент звена, куда указывает  $p$ , будет удален из списка, если будет удалено само это звено:

Шаг 1. Указатель  $p$  перенаправить на звено, куда ссылается удаляемое звено.

*Реализация оператора Delete с помощью указателей:*

```

procedure Delete(p:List);
begin p^.next:= p^.next^.next end;
  
```

Рисунки 2 и 3 иллюстрируют работу оператора Insert по вставке нового элемента  $x$  между элементами  $a$  и  $b$ . Работу оператора Delete иллюстрирует рисунок 4. Как видно из рисунка 4, удаленное звено  $q$

продолжает существовать в памяти компьютера, хотя это звено стало недоступным и элемент  $x$  удален из списка. Если экономное расходование памяти окажется более важным, чем быстродействие программы, то подпрограмму Delete можно видоизменить так:

```

procedure Delete_2(p:List);
var q: List;
begin q:=p^.next; p^.next:= p^.next^.next; dispose(q) end;
    
```

В результате работы Delete\_2 окажемся в ситуации рисунка 2.



Рис. 2. Связанный список до выполнения оператора Insert

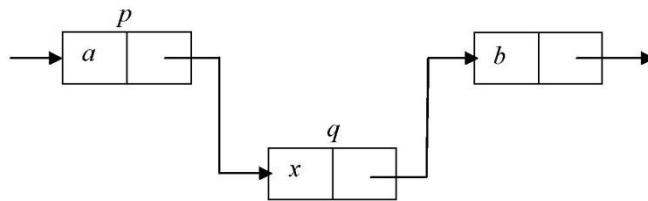


Рис. 3. Связанный список после выполнения оператора Insert

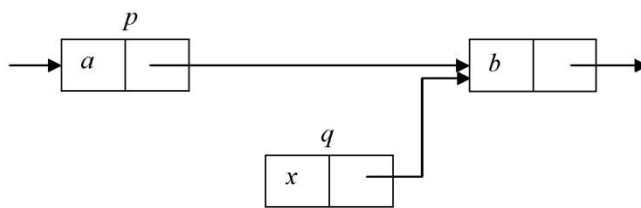


Рис. 4. Связанный список после выполнения оператора Delete

**Основные результаты.** Следующие две леммы дают количественную оценку эффективности использования статических (массивов) и динамических (указателей) структур данных.

**Лемма 1.** Пусть дан список длины  $n$ . Тогда при использовании массивов сложность  $T(n)$  выполнения операторов Insert и Delete зависит от длины списка и в наихудшем случае равняется  $n$ .

*Доказательство.* Из алгоритма 1 вставки замечаем, что для списка длины  $n$  сложность выполнения оператора Insert составляет  $n - p + 2$  шагов. Действительно, для вставки символа  $x$  в позицию  $p$  списка  $a_1, a_2, \dots, a_n$  нам потребуется «сдвинуть» элементы  $a_p, \dots, a_n$  на одну позицию вправо. Это потребует  $n - p + 1$  присваиваний (операций) вида

$$\begin{aligned}
 a'_{n+1} &:= a_n, \\
 a'_n &:= a_{n-1}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 a'_{p+1} &:= a_p.
 \end{aligned}$$

В конце сделаем еще одно присвоение  $a'_p := x$  и получаем новый список  $a_1, a_2, \dots, a_{p-1}, a'_p, a'_{p+1}, \dots, a'_{n+1}$ . Таким образом, сложность операций вставки вычисляется по формуле  $T(n) = n - p + 2$ . В случае  $p = n + 1$  мы имеем ситуацию  $a_1, a_2, \dots, a_n, x$  всего лишь с одной операцией  $a'_{n+1} := x$ , что согласуется с полученной формулой. Соответственно, как видно из листинга подпрограммы Insert, программа тоже не производит никаких сдвигов (оператор цикла не выполняется ввиду  $n = L.last < p$ ). Наибольшее же значение  $n - 1$  функции  $T(n)$  достигается при  $p = 1$ .

Сложность алгоритма удаления определяется аналогичными рассуждениями и равняется  $n - p + 1$  ввиду следующих присваиваний:

$$\begin{aligned} L.last &:= L.last - 1, \\ a'_p &:= a_{p+1}, \\ &\dots \\ a'_{n-1} &:= a_n. \end{aligned}$$

Сложность алгоритма удаления символа достигает своего наибольшего значения при  $p = 1$ . А при  $p = n$  она достигает наименьшего значения – производится только одна операция  $L.last := L.last - 1$ , благодаря которой последний элемент списка выпадает из списка без выполнения сдвигов (оператор цикла не выполняется ввиду  $p < L.last := n - 1$ ). Лемма доказана.

**Лемма 2.** Пусть дан список длины  $n$ . Тогда при использовании указателей сложность выполнения операторов Insert и Delete не зависят от длины списка и в наихудшем случае равняется постоянному числу 4.

*Доказательство.* Из алгоритмов 3 и 4 видно, что для списка длины  $n$  сложность выполнения оператора Insert составляет 4 шага. Оператор Delete требует всего 1 шаг. Лемма доказана.

*Пример.* Подведем итоги на примере решения следующей задачи. Пусть задана строка символов, заканчивающаяся символом #, причем в строке не содержится более девяти одинаковых символов подряд. Требуется следующая обработка строки: перед каждой группой одинаковых символов нужно вставить цифру, изображающую число символов группы, а от группы оставить один символ, удалив повторные вхождения символа. Например, если задана строка sssfghghhkkkkk#, то на выходе мы должны получить строку 3s1f4g2h5k#.

*Алгоритм решения задачи из примера.* В данном случае целесообразно выбрать АД «Список». В задаче ожидается использование только операторов Insert и Delete. На основе проведенного сравнения знаем, что в таких случаях оптимально использовать структуру указателей. Приступим теперь к описанию алгоритма. Введем переменные init, n, g и t типа List: init – заголовок (начало) связанного списка; n – обозначает звено, содержащее указатель на начало обработки; g – обозначает звено, содержащее указатель на звено, с которого начинается поиск группы звеньев, содержащих одинаковый с g символ; t – обозначает текущее звено в такой группе. Положим  $T = \text{char}$ . Предположим, что связанный список, содержащий исходную строку, уже построен. Поэтому опустим фрагменты алгоритма, касающиеся ввода и вывода информации:

Шаг 1. Обозначить через n заголовок списка:  $n := \text{init}$ .

Шаг 2. Обозначить через  $g$  звено, куда указывает  $n$ :  $g:=n^{next}$ .

Шаг 3. Если достигнут конец списка, то вывести на печать обработанный список и закончить работу.

Шаг 4. Положить  $k:=1$  (группа из одного символа всегда существует) и обозначить через  $t$  звено, куда указывает  $g$ :  $t:=g^{next}$ .

Шаг 5. Если символы в звеньях  $g$  и  $t$  не совпадают, то перейти на Шаг 7.

Шаг 6. Через  $t$  обозначить новое звено, на которое указывало  $t$ :  $t:=t^{next}$ ; удалить из списка звено, прежде обозначаемое через  $t$ :  $Delete(g)$ ; увеличить  $k$  на единицу (найден еще одно повторение символа):  $k:=k+1$ .

Шаг 7. Создать новое звено между звеньями  $n$  и  $g$  и поместить туда значение  $k$ ; переобозначить звенья  $n:=g$ ,  $g:=t$ , чтобы начать поиск новой группы одинаковых символов; перейти на Шаг 3.

**Заключение.** 1) Леммы 1 и 2 приводят к выводу, что для списков длины  $n$  операторы  $Insert$  и  $Delete$  предпочтительнее реализовать с использованием структуры указателей (преимущество указателей абсолютно при больших значениях  $n$ ).

2) Способ реализации с помощью указателей имеет еще одно преимущество – он может обеспечить экономию машинной памяти за счет использования динамических объектов языка программирования, поскольку указатели используют столько памяти, сколько необходимо для хранения текущего списка. Использование статических объектов (массивов) требует указать максимальный размер  $maxlength$  списка и заранее зарезервировать ячейки памяти, что приводит к нерациональному использованию машинной памяти.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахо, А. Структуры данных и алгоритмы [Текст] / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. – М.: Вильямс, 2003. – 384 с.
2. Ахо, А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов [Текст] / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. – М.: Мир, 1979. – 536 с.
3. Вирт, Н. Алгоритмы+структуры данных=программы [Текст] / Н. Вирт. – М.: Мир, 1985. – 406 с.
4. Грогно, П. Программирование на языке Паскаль [Текст] / П. Грогно. – М.: Мир, 1982. – 384 с.
5. Прайс, Д. Программирование на языке Паскаль. Практическое руководство [Текст] / Д. Прайс. – М.: Мир, 1987. – 232 с.

*Материал поступил в редакцию 19.12.18.*

**Н.А. Абиев, А.Е. Ержигитова**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### АЛГОРИТМ КҮРДЕЛІЛІГІНІҢ БАҒДАРЛАМАЛАУ ТІЛІ ДЕРЕКТЕР СТРУКТУРАСЫНЫҢ ТАҢДАЛУЫНАН ТӘУЕЛДІЛІГІ

Мақалада алгоритм күрделілігінің (тиімділігінің) деректердің абстрактты типінің (ДАТ) таңдалынуы мен осы ДАТ-ң программалау тілінің деректер структурасы түрінде көрсетілу тәсілінен тәуелділігі талданады.

---

Тізімдермен жұмыс істеуде деректердің динамикалық структураларын пайдалану деректердің статикалық структураларын пайдалануға қарағанда көбірек артықшылыққа ие болатыны көрсетілді.

**Тірек сөздер:** деректердің абстрактты типтері, деректер структуралары, алгоритм күрделілігі.

**N.A. Abiev<sup>1</sup>, A.Y. Yerzhigitova**

*Taraz State University after M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan*

#### **DEPENDENCE OF ALGORITHM COMPLEXITY ON THE CHOICE OF A DATA STRUCTURE OF PROGRAMMING LANGUAGE**

In this paper the dependence of the complexity (efficiency) of an algorithm on the choice of abstract data type (ADT) and the way in which this ADT is represented as data structures of a programming language is analyzed. In the case of lists it is shown that using of dynamic data structures is more preferable than using of static data structures.

**Keywords:** abstract data types, data structures, complexity of algorithm.



## Информационные технологии

УДК 81.93.29

Н.Ү. Қарғабаева<sup>1</sup>, А.Б. Киікбай<sup>1</sup>, Б.К. Султанова<sup>2</sup>, Н.К. Савченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Магистрант, <sup>2</sup>Канд. пед. наук, доцент, <sup>3</sup>Магистрант, ст. преподаватель  
Карагандинский государственный технический университет,

г. Караганда, Республика Казахстан

Электронная почта: <sup>1</sup>www.nur0077@mail.ru; <sup>2</sup>kiikbayarsen@gmail.com

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В статье рассмотрены сущность информационной системы (ИС) предприятия, определены преимущества внедрения и управления информационными системами. Информационные ресурсы необходимы для принятия управленческих решений, которые являются важной составной частью системы управления предприятием. Деятельность любого предприятия связана с управлением процессами, например, процессом сбора, накопления, обработки, передачи, хранения информации. Информационные потоки, поступающие со всех структурных подразделений предприятия, образуют информационную систему, которая, как и любая другая система, объединяет объект управления и орган управления. Совершенствование информационных систем способствует скорейшему достижению поставленных целей и задач развития и стабильного функционирования.

**Ключевые слова:** информационная система, система управления, программный комплекс, техническая база, моделирование, алгоритмы обработки.

Понятию «информационные системы» посвящены труды, научные публикации, сообщения многих учёных-экономистов, менеджеров, специалистов в области управления, экономических исследований [1-8]. Однако важным на данный момент представляется выделение особенностей информационных систем, которые характерны для предприятий на современном этапе жизнедеятельности. Целью исследования является характеристика информационной системы для повышения эффективности системы управления предприятием в целом.

Система – это целое, созданное из частей и элементов, взаимодействующих между собой для целенаправленной деятельности [1]. В качестве элементов информационной системы предприятия выделяют технологические элементы (информационная модель, программный комплекс, техническая база) и управленческие элементы (указания по использованию, внесению изменений, технической поддержке программного комплекса, регламент обучения пользователей) [2].

Основу информационной системы составляет информация. Уровень информации является субъективной величиной, т.к. задаётся конкретным пользователем. При изучении информационных систем часто используют

понятие данные, которые являются информацией в том случае, когда их значение употребляется в конкретном контексте.

Информационные системы (ИС) это объект, содержащий следующие составляющие [3]:

- 1) аналитическую – обработка данных для получения управленческой информации;
- 2) учётную фиксация данных для анализа;
- 3) организационную, которая учитывает функции управления и структуру подчинения.

Информационную систему обеспечивают: технические средства; методы, модели, алгоритмы обработки информации, программ; документация по взаимодействию, например, персонала с техническими средствами; правовые нормы по эксплуатации информационных систем. Итак, из множества элементов информационной системы можно выделить четыре основные взаимосвязанные элементы (рис. 1).



Рис. 1. Информационная система предприятия

Таким образом, информационные системы современного предприятия должны охватывать все структурные подразделения предприятия, участвующие в управлении информационными потоками.

Можно выделить различные виды информационных систем [4]:

- по степени автоматизации: ручные (информация обрабатывается людьми), автоматизированные (информация обрабатывается людьми и техническими средствами), автоматические (информация обрабатывается техническими средствами);
- по сфере функционирования: информационные системы промышленности, строительства, энергетики, транспорта и др.;
- по виду управления: информационные системы управления технологическими процессами, научными исследованиями; информационные системы организации управления;

- по уровню управления: отраслевые, территориальные, межотраслевые.

Также следует отметить такие виды ИС, как:

- корпоративные информационные системы, которые охватывают все уровни организационного управления предприятием, например, ERP, SCM, CRM, PLM (коробочные продукты, платформы разработки, заказные решения) [5];

- маркетинговые информационные системы, предназначенные для управления информационными потоками о состоянии внешней среды (потребителях, продуктах, ценообразовании, конкуренции, дистрибуции) [6]. Данные информационные потоки связывают различные отделы предприятия (производство, логистику, бухгалтерию и прочие).

Например, рассматривая такой блок маркетинговой ИС, как цена, следует сопоставить информацию о затратах на продукцию с её ценой по запросам рынка. При моделировании ценообразования исследуется себестоимость производства продукции, покупательская способность потребителей, учитывается среднеотраслевая цена на продукцию, цена продукции у конкурентов, сезонные изменения спроса и цены.

Таким образом информационные системы предоставляют руководству информацию для анализа и принятия обоснованных управленческих решений, а также:

- контролируют управленческие действия на всех уровнях;
- способствуют взаимодействию с клиентами, деловыми партнёрами;
- снижают трудоёмкость различных процессов, связанных с учётом расходов, платежей;
- способствуют оптимизации остатков материальной части оборотных средств;
- снижают потери рабочего времени;
- обеспечивают объективность расчётных данных.

Следовательно, внедрение информационных систем на предприятиях позволит снизить общие затраты, улучшить качество продукции и повысить качество обслуживания покупателей. Устранению излишка или дефицита информации в процессе управления предприятием как системой способствует использование различных экономико-математических методов обработки информации (данных), внедрение компьютерных программ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менеджмент, управление. Виды менеджмента и их особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.upravlenie24.ru](http://www.upravlenie24.ru).
2. Грекул, В.И. Управление внедрением информационных систем [Текст] / В.И. Грекул. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ; Лаборатория знаний, 2008. – 239 с.
3. Галиев, А.Н. Методическое обеспечение процесса построения системы контроллинга в холдинге [Текст] / А.Н. Галиев // Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. – №3. – С. 139-144.
4. Жежніч, П.І. Технології інформаційного менеджменту [Текст]: навч. посібник / П.І. Жежніч. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 260 с.
5. Внедрение систем автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.adandzo.com](http://www.adandzo.com).

6. Катернюк, А.В. Маркетинговая информационная система как основа создания системы управления компанией [Текст] / А.В. Катернюк // Управленческий учет и финансы. – 2007. – № 4(12). – С. 320-340.
7. Труфанов, С.В. Информационные системы управления бизнес-процессами предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: online.rae.ru.
8. Оспанова, С.Б. Проектирование систем управления [Текст] / С.Б. Оспанова // Вестник КАСУ. – 2006. – №4. – С. 32-38.

*Материал поступил в редакцию 19.11.18.*

**Н.Ұ. Қарғабайева, А.Б. Киікбай, Б.К. Султанова, Н.К. Савченко**

*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан*

### **КӘСІПОРЫНДЫ БАСҚАРУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ ӘЗІРЛЕУ**

Мақалада кәсіпорынның ақпараттық жүйесінің (АЖ) мәні талқыланып, ақпараттық жүйелерді енгізу мен басқарудың артықшылықтары анықталған. Кәсіпорындарды басқару жүйесінің маңызды бөлігі болып табылатын басқару шешімдерін қабылдау үшін ақпараттық ресурстар қажет. Кез-келген кәсіпорынның қызметі процестерді басқарумен байланысты, мысалы, ақпаратты жинау, жинақтау, өңдеу, беру және сақтау процесі. Кәсіпорынның барлық құрылымдық бөлімшелерінен ақпараттық ағындар кез-келген басқа жүйе сияқты басқару объектісін және басқарушы органы біріктіретін ақпараттық жүйені қалыптастырады. Ақпараттық жүйелерді жетілдіру дамудың мақсаттары мен міндеттеріне жылдам қол жеткізуге және тұрақты жұмысқа ықпал етеді.

**Тірек сөздер:** ақпараттық жүйе, басқару жүйесі, бағдарламалық кешен, техникалық база, модельдеу, өңдеу алгоритмі.

**N.U. Kargabaieva, A.B. Kiikbay, B.K. Sultanova, N.K. Savchenko**

*Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

### **DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR THE EFFICIENCY OF MANAGING THE ENTERPRISE**

The article discusses the essence of an information system (IS) of an enterprise, defines the advantages of implementing and managing information systems. Information resources are necessary for making management decisions that are an important part of the enterprise management system. The activity of any enterprise is connected with the management of processes, for example, the process of collecting, accumulating, processing, transmitting and storing information. Information flows from all structural divisions of the enterprise form an information system, which, like any other system, combines the control object and the governing body. Improving information systems contributes to the speedy achievement of the goals and objectives of development and stable operation.

**Keywords:** information system, management system, program complex, technical base, modeling, processing algorithms.

УДК 81.93.29

**Н.Ү. Қарғабайева<sup>1</sup>, А.Б. Киікбай<sup>1</sup>, Б.К. Султанова<sup>2</sup>, Ю.К. Шакирова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Магистрант, <sup>2</sup>Канд. пед. наук, доцент, <sup>3</sup>Ст. преподаватель  
Карагандинский государственный технический университет,  
г. Караганда, Республика Казахстан  
Электронная почта: <sup>1</sup>www.nur0077@mail.ru; <sup>2</sup>kiikbayarsen@gmail.com

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В статье рассматриваются проблемы необходимости создания эффективной технологии разработки элементов информационной системы. В качестве решения предлагается новая технология, основанная на метантологиях модели «объект – событие», использовании универсальной модели данных, языка модели данных, специального программного инструментария разработчика базы данных. Раскрываются принципиальные отличительные особенности предлагаемой технологии и методы ее реализующие. Развитие и улучшение концептуальной структуры баз данных может быть реализовано благодаря использованию либо специально разработанного программного инструментария проектировщика баз данных, либо программных приложений, разработанных самостоятельно заказчиком или по его просьбе разработчиком индивидуально для конкретного пользователя.

**Ключевые слова:** информационная система, база данных, универсальная модель данных, методы проектирования.

Методы разработки широко распространенных баз данных возникли из процесса создания сложных информационных технологий. Они должны были учитывать потребности большой группы или команды, а не только запрос одного пользователя. Такая интегрированная база данных предназначена для решения многих проблем. Кроме того, каждый из отчетов использует только данные, которые пересекаются с его частями и обычно частями, которые используются в других отчетах. Одной из наиболее важных проблем при разработке базы данных является предоставление необходимых параметров использования. Они включают объем внешней памяти и время, необходимое для выполнения различных операций. Кроме того, известны другие требования [1]. Например, информация не должна быть потеряна при неисправностях оборудования или ошибках пользователя.

Существует два основных способа разработки системы баз данных: уменьшение и увеличение. Простейшим способом, работа начинается с более низких атрибутов. Атрибуты взаимосвязаны из-за их соединений, которые указывают связь между типом и значением [2,3].

Наиболее желательной стратегией разработки сложных баз данных является использование компактного подхода. Этот подход начинается с создания модели данных с высокими значениями уровня и контактами. Целью исследования является поиск технологии проектирования базы данных с возможностью реагировать на сегодняшнее требование не только для пользователя сегодня, но и для получения необходимой информации завтра.

Методы исследования. Для решения этой проблемы были использованы методы сравнения, анализа и синтеза. Было принято

эффективное решение, и в этом случае сложная технология с ключевыми компонентами, которые позволят нам разработать общее решение. Целесообразно использовать не только обширное ручное программирование программирования, но и использование существующих компонентов для разработки их уникального метода с использованием интенсивных методов компиляции.

Результат исследования. Процесс создания современных информационных систем требует создания базы данных и программного обеспечения. Кроме того, как база данных, так и информационная система должны работать в конкретной среде. Например, среда с топологией сети применяется к архитектуре с аппаратной конфигурацией [4]. Или вам нужно создать специальную среду для конкретной информационной системы. Кроме того, система считается успешной, если она предоставляется во время выполнения и во время выполнения [5]: адаптация к требуемым функциональным и изменяющимся условиям функционирования; требуемая пропускная способность; время, необходимое для реакции системы; непрерывная работа системы; простота использования и системная поддержка; необходимая безопасность. Поэтому при разработке базы данных для информационной системы и соответствующей дополнительной работы важно сначала рассмотреть гибкость системы, которая будет реализована [6,7]. Кроме того, система должна не только отвечать на запросы, отправленные сегодня, но также иметь возможность видеть информацию, которую вы хотите увидеть завтра. Во-вторых, необходимо обеспечить требуемую полосу пропускания и время реакции системы. В-третьих, необходимо поддерживать целостность функциональной среды информационной системы и защиту работы системы, простоту обслуживания и обслуживания.

Широко используются современные методы использования информационных систем и базы данных [8,9]: каскадная модель, поэтапная модель с промежуточным управлением, спиральная модель, эволюционная модель развития. Каждый из них имеет ряд преимуществ, преимуществ и недостатков. Однако, независимо от того, какой метод дизайна выбран, это должно быть сделано хотя бы один раз.

При разработке этого метода использовалась классическая технология проектирования баз данных «способ реализации и жизненный образ жизни и ее философия». В частности, основная модель семантических данных основана на «объекте» и основных шагах для дальнейшего уточнения на основе особенностей и возможностей универсальной модели данных [10].

В результате анализа информационных технологий, классических методов проектирования и баз данных, требований к корпоративным информационным системам, а также модели данных, используемых в различных предметных областях, была разработана следующая методология. Он не зависит от конкретных программных решений, платформ, но его реализация сегодня связана с определенными системами и платформами [10].

Этап 1. Изучение предметной области и ее ключевых элементов (сбор данных). Естественный язык характеризуется характером и ограничениями предметной области.

Этап 2. Анализ собранных данных по предметной области и их местоположению. Наиболее важные элементы предметной области, относящиеся к одной метаонтологии семантической модели «Объект-событие», уточняются и документируются.

Этап 3. Концептуальное описание предметной области создается с использованием модели данных «Объект-событие».

Этап 4. Логическая модель предметной области создается с использованием универсальной модели данных.

Этап 5. Модель предметной области формулируется с использованием языка модели данных. На этом этапе область модели создается с использованием модели данных, построенной в предыдущих двух фазах.

Этап 6. Модель модели данных задается моделью данных. Этот этап также может быть выполнен при разработке базы данных.

Этап 7. Загрузка базы данных с точной моделью данных. Загрузка конкретной модели данных базы данных с моделью данных осуществляется либо по специальному программному обеспечению дизайнера, либо через прикладное программное обеспечение, разработанное самим клиентом или конкретным пользователем для его или ее запроса.

Этап 8. Увидеть загруженные данные.

Этап 9. Тестирование модели базы данных. Модель данных может быть протестирована с использованием специального программного обеспечения программного обеспечения, а также с помощью пользовательского программного обеспечения.

Предлагаемый метод улучшает и развивает концептуальную структуру базы данных предметной области физической структуры базы данных. Эта база данных реализуется разработчиком с использованием специальных программных или программных приложений, разработанных специально для конкретного пользователя или по его запросу.

И универсальная модель данных характерна для некоторой двойственности. Благодаря этому, его можно рассматривать как инструмент для новых моделей и можно рассматривать как инструмент для инфолатеральных и зубных моделей во всех предметных областях. Таким образом, концептуальное описание логических отношений между элементами облегчит упрощение модели завышенных данных в компьютерной среде без учета физического компонента.

На основе использования базы данных универсальных моделей предложенный метод разработки базы данных информационных систем позволяет:

1) быстрое развитие базы данных, которая соответствует функциональным требованиям заказчика для любой предметной области;

2) создание всеобъемлющего документа, описывающего данные разных уровней данных, которые понятны и понятны для разных профильных и квалификационных специалистов;

3) предлагаемый метод улучшает и развивает концептуальную структуру постоянно меняющейся базы данных физической структуры базы данных предметной области.

Использование этого метода повышает функциональность вновь созданной базы данных и снижает стоимость обслуживания, а также улучшает качество и количество характеристик, минимизирует риск серьезного риска для клиента и его этапов обслуживания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаф, Л. Проектирование информационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.infosystem.ru](http://www.infosystem.ru).

2. Райордан, Р. Основы реляционных баз данных [Текст] / Р. Райордан; Пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция», 2001. – 40 с.
3. Зиндер, Е.З. Проектирование баз данных: новые требования, новые подходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.citforum.ru](http://www.citforum.ru).
4. Есин, В.И. Семантическая модель данных «объект-событие» [Текст] / В.И. Есин // Вісник Харківського національного університету. – Харьков: Харьков. Нац. ун-т им. В.Н. Каразина, 2010. – №925. – С. 65-73.
5. Харрингтон, Д.Л. Проектирование реляционных баз данных [Текст] / Д.Л. Харрингтон. – М.: «Лори», 2006. – 230 с.
6. Хоменко, А.Д. Базы данных [Текст] / А.Д. Хоменко, В.М. Цыганков, М.Г. Мальцев. – СПб.: Корона, 2002. – 672 с.
7. Корнеев, В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации [Текст] / В.В. Корнеев, А.Ф. Гарев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – М.: Нолидж, 2000. – 351 с.
8. Ахтырченко, К.В. Методы и технологии реинжиниринга ИС [Текст] / К.В. Ахтырченко, Т.П. Сорокваша // Тр. Ин-та системн. програм. РАН / под ред. В. П. Иванникова. – М.: ИСП РАН, 2003. – Т. 4. – С. 141-162.
9. Когаловский, М.Р. Перспективные технологии информационных систем [Текст] / М.Р. Когаловский. – М.: ДМК-Пресс, 2003. – 288 с.
10. Барсегян, А.А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining [Текст] / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

*Материал поступил в редакцию 19.11.18.*

**Н.Ұ. Қарғабайева, А.Б. Қиікбай, Б.К. Султанова, Ю.К. Шакирова**

*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан*

### **АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН ДЕРЕКТЕР ҚОРИН ҚҰРУДЫҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІ**

Мақалада ақпараттық жүйенің элементтерін әзірлеу үшін тиімді технологияларды құру қажеттілігінің мәселесі қарастырылады. Бұл мәселенің шешімі ретінде "объект-оқиға" метаонтология моделіне негізделген және деректердің әмбебап моделін, деректер моделінің тілін, деректер қорын құрастырушының арнайы бағдарламалық құралдарын қолданатын жана технология ұсынылады. Ұсынылған технологияның ерекше мүмкіндіктері, артықшылықтары және оны жүзеге асыру әдістері көрсетіледі. Ұсынылып отырған әдіс қарастырылып отырған пәндік аймақтың деректер қорының физикалық құрылымы сұлбасының ешбір өзгеріссіз деректер қорының концептуалды құрылымын жақсартады және дамытады. Деректер қорының концептуалды құрылымын жақсарту және дамыту үшін деректер қорын жобалаушының арнайы бағдарламалық құралдарды пайдалану арқылы немесе тапсырыс берушінің өзімен, әлде оның өтінішімен белгілі бір қолданушыға құрастырылған бағдарламалық қосымшалар арқылы жүзеге асырылады.

**Тірек сөздер:** ақпараттық жүйе, мәліметтер қоры, мәліметтердің әмбебап моделі, жобалау әдістері.



---

**N.U. Kargabaieva, A.B. Kiikbay, B.K. Sultanova, J.K. Shakirova**

*Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

**THE MODERN METHODS OF DATA BASE DEVELOPMENT  
FOR THE INFORMATIONAL SYSTEMS**

The given article consider the problem of need to establish effective technology of development of elements of informational system. The solution offers new technology, based on the metaontologies of the model "event-object", use of universal data model, data model language, special program software of developer of data bases. The fundamental features of proposed technology and methods of its realization are revealing. The use of proposed method allows developing and improving the conceptual structure of data bases of the subject area under consideration without the change of physical structure of data base schemes. The development and improvement of conceptual structure of data bases can be realized by the use of specially developed software of developer of the data bases, or by the program applications, developed independently by the customer or by his request to developer, individually for the definite user. Key words: data model, design methods, universal model of data, data base, informational system.

**Keywords:** information system, database, universal model of data, methods design.

*Журнал «Механика и технологии»:*

**IET Inspec Direct**

*Входит в реферативную базу данных Information Service for Physics, Electronics and Computing (INSPEC DIRECT) Института Инжиниринга и Технологий Великобритании.*

<http://inspecdirect-service.theiet.org/private/home.aspx>

**eLIBRARY.RU**

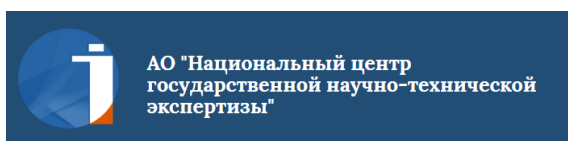
*Зарегистрирован в российской национальной библиографической базе данных научного цитирования РИНЦ*

[http://elibrary.ru/project\\_risc.asp](http://elibrary.ru/project_risc.asp)



*Включен в перечень научных изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности.*

<http://control.edu.gov.kz/ru/perechen-nauchnyh-izdaniy-rekomenduemyh-komitetom-dlya-publikacii-osnovnyh-rezultatov-nauchnoy-0>



*Имеет импакт-фактор по Казахстанской базе цитирования –*

*$IF_{kaz} = 0,03$*

[http://www.nauka.kz/page.php?page\\_id=794&lang=1#](http://www.nauka.kz/page.php?page_id=794&lang=1#)

*Подписной индекс журнала: 74714 (АО «Казпочта»-«Почтовый сервис»)*