

# НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

Научно-технический журнал Vol. 4(155) 2022



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ



[www.vestnik.nauka.kz](http://www.vestnik.nauka.kz)

# **НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА**

НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№4 (155)**

Научно-технический журнал **«Новости науки Казахстана»** публикует статьи по следующим направлениям фундаментальных и прикладных исследований: технические и сельскохозяйственные науки, науки о Земле, пищевая и перерабатывающая промышленность, экономика, науковедение, стандартизация и пр.

*Журнал основан в 1989 г. и выходит 4 раза в год.*

Предназначен для профессорско-преподавательского состава вузов, докторов PhD, магистрантов, студентов и сотрудников научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций, а также работников министерств и ведомств.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**М.К. Бапиева** (главный редактор)

**М.Е. Сейткалиева** (ответственный секретарь)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Р.Г. Бияшев**, д.т.н.; **К.А. Исаков**, д.т.н.; **К.Д. Досумов**, д.х.н., проф.;

**С.Е. Соколов**, д.т.н., акад. МАИН; **Б.Р. Ракишев**, д.т.н., акад. НАН РК;

**Ж.С. Алимкулов**, д.т.н.; **М.Т. Велямов**, д.б.н., проф., акад. НАН РК;

**Ю.А. Юлдашбаев**, д.с.-х.н. (Россия);

**М.А. Рахматуллаев**, д.т.н. (Узбекистан);

**А. Сладковски**, д.т.н., проф. (Польша);

**Д. Пажес**, гл. специалист (Франция)

Республика Казахстан, 050026, г. Алматы,

ул. Богенбай батыра, 221

Тел./факс: +7 727 355 55 01 внт 204

e-mail: [bapiyeva@inti.kz](mailto:bapiyeva@inti.kz), [n.nauka@inti.kz](mailto:n.nauka@inti.kz)

[www.vestnik.nauka.kz](http://www.vestnik.nauka.kz)

# СОДЕРЖАНИЕ

## Наукоеведение

*Г.А. Козбагарова, Н.И. Пономарева, Г.Н. Беляева*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНОВ  
КАЗАХСТАНА .....9

## Машиностроение

*А.К. Tuleshov, A.Zh. Seidakhmet, A.E. Abduraimov, A.N. Kamal*

DERIVATION AND ANALYSIS OF THE DYNAMIC EQUATIONS OF  
MOBILE ROBOTS WITH RANDOM DISTURBING FORCES BASED  
ON THE PRINCIPLE OF LEAST GAUSS FORCE .....18

*А.Б. Рахматулина, С.М. Ибраев, Н.С. Иманбаева, А.М. Сакенова,  
А.Н. Мажен*

ОПТИМАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ БЕЗБАЛАНСИРНОГО  
ПРИВОДА ШТАНГОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК  
НА ОСНОВЕ ШЕСТИЗВЕННОГО ПРЯМОЛИНЕЙНО-  
НАПРАВЛЯЮЩЕГО ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА III  
КЛАССА.....32

*А.К. Тулешов, А.А. Джомартов, А.Н. Камал, А.Е. Абдураимов*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВЕСНОГО ТРОСОВОГО  
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА .....41

## Горное дело

*А.А. Генбач, Н.О. Джаманкулова*

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДА ҚОЛДАНЫЛТЫН  
КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЗЕРТЕУ .....51



Содержание

*М.Ж. Битимбаев, М.С. Кунаев, Х.А. Юсупов, Ж.Н. Алишева*

ПРИРОДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЫНЕ  
НЕУЧИТЫВАЕМОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МЕТАЛЛОВ,  
СОЗДАЮЩЕЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОВОГО ТИПА.....60

**Геохимия**

*Т.Н. Мендебаев*

НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИИ .....74

*А.Т. Умиралиева, Б.Ш. Буркурманов, В.А. Ширяев*

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩЕЙ  
ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И ЭЛЕМЕНТЫ  
СПУТНИКИ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ  
БУДЕНОВСКОЕ.....85

## МАЗМҰНЫ

### Ғылымтану

*Г.А. Қозбағарова, Н.И. Пономарева, Г.Н. Беляева.*

ҚАЗАҚСТАН АЙМАҚТАРЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ  
ӘЛЕУЕТІ .....9

### Машина жасау

*А.К. Тулешов, А.Ж. Сейдахмет, А. Е. Абдураимов, А.Н. Камал*

ЕҢ АЗ ШЕКТЕУ ГАУСС ПРИНЦИПІ НЕГІЗІНДЕ КЕЗДЕЙСОҚ  
ҚОЗДЫРҒЫШ КҮШТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ЖЫЛЖЫМАЛЫ  
РОБОТТАРДЫҢ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ТЕНДЕУЛЕРІН ШЫҒАРУ  
ЖӘНЕ ТАЛДАУ .....25

*А.Б. Рахматулина, С.М. Ибраев, Н.С. Иманбаева, А.М. Сакенова,  
А.Н. Мәжен*

АЛТЫ БУЫНДЫ ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ-БАҒЫТТАУШЫ ІІІ КЛАСТЫ  
ТҮРЛЕНДІРУ МЕХАНИЗМІ НЕГІЗІНДЕГІ ШТАНГАЛЫҚ  
СОҒҒЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫ ЖЕТЕГІНІҢ ОҢТАЙЛЫ  
КОНСТРУКЦИЯСЫ .....32

*А.К. Тулешов, А.А. Джомартов, А.Н. Камал, А.Е. Абдураимов*

ОҚУ ПРОЦЕСІ ҮШІН АСПАЛЫ СЫМАРҚАНДЫ ПАРАЛЛЕЛЬДІ  
РОБОТТЫ ЖОБАУ .....41

## Тау-кен ісі

*А.А. Генбач, Н.О Джаманкулова*

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДА ҚОЛДАНЫЛТЫН  
КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЗЕРТЕУ .....51

*М.Ж. Битимбаев, М.С. Кунаев, Х.А. Юсупов, Ж.Н Алишева.*

ЖАҢА ҮЛГІДЕГІ КЕН ОРЫНДАРЫН ҚҰРАТЫН, ҚАЗІР  
ЕСКЕРІЛМЕЙТІН МЕТАЛДАРДЫҢ ШИКІЗАТ БАЗАСЫН ТАБИҒИ  
ЖӘНЕ ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....60

## Геохимия

*Т.Н. Мендебаев*

ГЕОТЕРМАЛДЫҚ КЕН ОРЫНДАРЫН ИГЕРУ ТИІМДІЛІГІН  
АРТТЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУДІҢ ЖАҢА ТӘСІЛІ .....74

*А.Т. Умиралиева, Б.Ш. Буркурманов, В.А. Ширяев*

КЕНДІ БАҚЫЛАЙТЫН ЭПИГЕНЕТИКАЛЫҚ АЙМАҚТЫЛЫҚТЫҢ  
ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ БУДЕНОВСКОЕ  
КЕН ОРНЫНДАҒЫ УРАНДЫ КЕНДЕУДІҢ СПУТНИКТІК  
ЭЛЕМЕНТТЕР.....85

# CONTENT

## Science studies

*G.A. Kozbagarova, N.I. Ponomareva, G.N. Belyaeva*

SCIENTIFIC AND TECHNICAL POTENTIAL OF THE REGIONS OF  
KAZAKHSTAN.....9

## Mechanical engineering

*A.K. Tuleshov, A.Zh. Seidakhmet, A.E. Abduraimov, A.N. Kamal*

DERIVATION AND ANALYSIS OF THE DYNAMIC EQUATIONS OF  
MOBILE ROBOTS WITH RANDOM DISTURBING FORCES BASED  
ON THE PRINCIPLE OF LEAST GAUSS FORCE

*A.B. Rakhmatulina, S. Ibrayev, N. Imanbaeva, A.M. Sakenova,  
A.N. Mazhen*

OPTIMAL DESIGN OF AN UNBALANCED DRIVE OF  
SUCKER-ROD PUMPING UNITS BASED ON A SIX-LINK  
RECTILINEARLY GUIDING CLASS III CONVERTING  
MECHANISM.....32

*A.K. Tuleshov, A.A. Jomartov, A.N. Kamal, A. Abduraimov*

E.DESIGNING A SUSPENDED CABLE PARALLEL ROBOT FOR THE  
LEARNING PROCESS.....41

## Mining engineering

*A.A. Genbach, N.O. Jamankulova*

STUDY OF CAPILLARY-POROUS COATINGS USED IN POWER  
INSTALLATIONS .....51

*M. Bitimbaev, M. Kunayev, K. Yusupov, Zh. Alisheva*

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FORMATION OF CURRENTLY  
UNACCOUNTED RAW MATERIAL BASE OF METALS, CREATING  
DEPOSITS OF A NEW TYPE .....60

## Geochemistry

*T.N. Mendebaev*

A NEW APPROACH TO SOLVING THE PROBLEMS OF  
INCREASING THE EFFICIENCY OF GEOTHERMAL FIELD  
DEVELOPMENT .....74

*A.T. Umiraliyeva, B.Sh Burkurmanov., V.A. Shiryaev*

GEOCHEMICAL FEATURES OF ORE-CONTROLLING EPIGENETIC  
ZONALITY AND SATELLITE ELEMENTS OF URANIUM  
MINERALIZATION AT THE BUDENOVSKOYE DEPOSIT .....85



## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА

*Г.А. Козбагарова<sup>1</sup>, Н.И. Пономарева<sup>1</sup>, Г.Н. Беляева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы»,  
Алматы, Казахстан

---

**Аннотация.** От уровня использования научного потенциала регионов в значительной степени зависит их перспектива и устойчивое развитие, что напрямую связано с повышением качества жизни населения страны.

В статье рассматривается статистическая информация о состоянии и развитии научного потенциала регионов Казахстана за 2017-2021 годы. Приведены показатели интенсивности развития НИОКР в каждом из регионов, представлены сведения о численности и составе персонала, выполняющего научные исследования и разработки, затратах на научные исследования и разработки. Отмечена специфика экономики отдельных регионов страны. Дана характеристика реализуемых в 2021 году научных, научно-технических проектов и программ, выполненных в рамках грантового и программно-целевого финансирования. О результатах научно-технической деятельности, вкладе в развитие научного знания каждого региона судили по количеству выполненных проектов и программ, количеству публикаций, в том числе в зарубежных информационных ресурсах Web of Science и Scopus, наличию охраняемых документов, а также внедрений результатов исследований.

**Ключевые слова:** регион, региональная наука, региональное развитие, региональная эффективность, научно-технический потенциал, инновационное развитие, публикационная активность, научные приоритеты, области наук.

---

**Введение.** Наука является стратегически важной сферой человеческой деятельности, основополагающим ресурсом страны, который во-многом обеспечивает её экономический рост и конкурентоспособность. В связи с этим в большинстве стран мира уделяют огромное внимание развитию научной сферы, повышению её результативности [1,2].

Неотъемлемой частью государственной научно-технической политики Республики Казахстан является содействие укреплению научно-технического потенциала регионов, который в силу тесного соприкосновения с производством на местах может быть более эффективным и жизнеспособным. Существует тесная связь региональной науки с региональной экономикой, экологией и рядом других общественных наук. Региональная экономика разрабатывает экономические стратегические позиции регионального развития производительных сил, определяющих совершенствование территориальной организации хозяйства страны. В настоящее время региональную

экономику можно считать сформировавшейся отраслью науки. При этом устойчивое развитие национальной экономики страны может быть обеспечено развитием экономики ее территориальных субъектов (регионов) при сохранении единого экономического пространства и тесном их взаимодействии во всех областях жизнедеятельности [3-6].

**Методы исследований.** Основой для анализа послужили данные Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, Национального центра государственной научно-технической экспертизы, массивы документов информационного ресурса Web of Science компании Clarivate Analytics, в том числе базы данных Web of Science Core Collection и аналитического инструмента для оценки научной деятельности InCites [7-11].

**Результаты и обсуждение.** В Концепции развития науки Республики Казахстан до 2026 года, для повышения глобальной конкурентоспособности казахстанской науки и

повышения ее вклада в решение прикладных проблем национального уровня, предусмотрено поэтапное увеличение затрат на НИОКР из всех источников до 1% от ВВП.

В региональном разрезе характеристик вовлеченности его в научно-исследовательскую деятельность являются удельные индикаторы интенсивности, такие как объем внутренних затрат на НИОКР в расчете на одного работника и численность работников, выполнявших их в расчете на 10 тыс. человек, занятых в экономике (рис. 1).

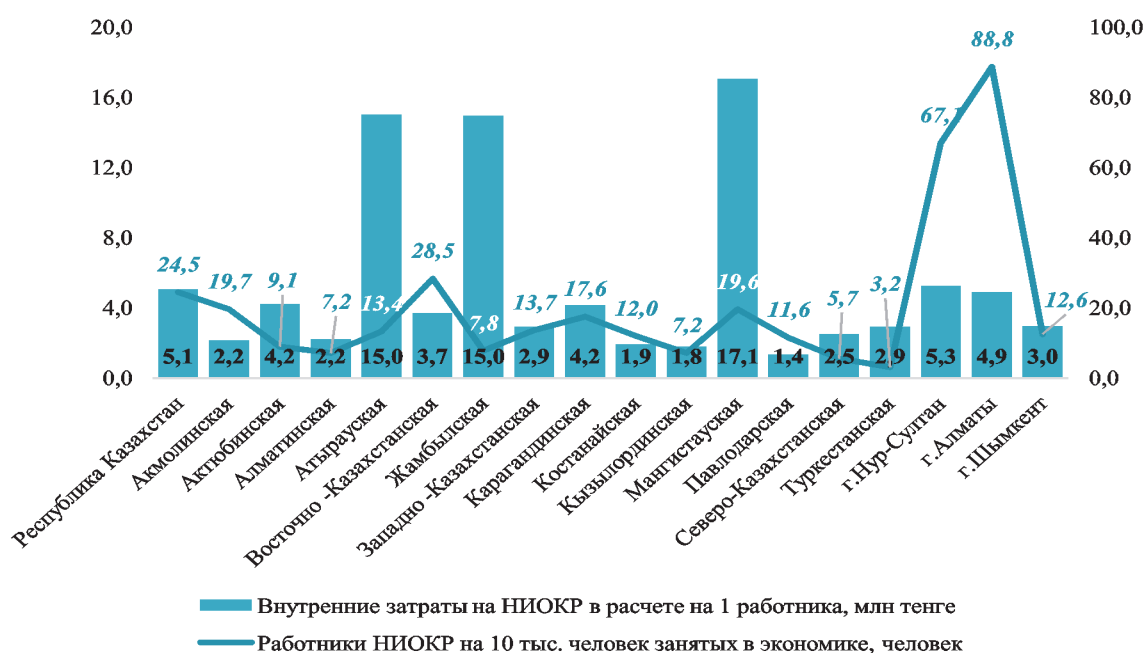
Эти три региона значительно подняли среднереспубликанский показатель затрат на одного работника, который в республике составлял 5,1 млн тенге. Для остальных он колебался в пределах от 1,4 млн тенге – в Павлодарской области, до 5,3 млн тенге – в г. Астана.

Наибольший уровень объема затрат на одного работника отмечается в Мангистауской (17,1 млн тенге), Атырауской и Жамбылской (по 15,0 млн тенге) областях, а также в г. Астана (5,3 млн. тенге). В этих регионах отмечается уровень выше республиканского. Однако во всех остальных регионах уровень затрат на одного работника меньше республиканского. Среди них такие регионы, как Павлодарская (1,4 млн тенге), Костанайская (1,9), Кызылординская (1,8 млн тенге), которые имеют минимальный объем затрат на одного работника.

Поскольку объем затрат на НИОКР ежегодно увеличивается, данные по этому показателю растут ежегодно. По индикатору «работники, выполнявшие НИОКР на 10 тыс. человек, занятых в экономике» лидируют города Алматы (88,8), Астана (67,1), а также Восточно-Казахстанская область (28,5). Аутсайдерами являются Северо-Казахстанская область (5,7) и Туркестанская область (3,2). Следует отметить, что снижение численности работников, занятых в НИОКР, приводит к снижению данного индикатора.

Для статистического обследования научных и научно-технических исследований и экспериментальных разработок в государственной статистике используются два вводных показателя: численность персонала, занятого в научных исследованиях и разработках, и затраты на НИОКР. Число организаций, принимавших участие в текущем году в выполнении научных работ, формируется по результатам обследования. Данные по этим показателям могут быть представлены в разрезе областей, секторов экономики, типов и форм собственности организаций. Кроме того, персонал группируется по научным категориям, по возрасту, по отраслям наук, по гражданству.

Сеть научных организаций. По данным государственной статистики в Республике Ка-



Рассчитано по данным Бюро национальной статистики АСПиР РК  
Рисунок 1 - Показатели интенсивности развития НИОКР в 2021 году

захстан в 2021 году выполнением научных исследований и разработок занималось 438 организаций. Это превысило число предыдущего года на 42 единицы. Сеть организаций расширилась в 11 регионах, из которых более всего активно действующих в области исследований и разработок организаций прибавилось в Астане – 14, Карагандинской – 9 и Восточно-Казахстанской – 7 областях (табл. 1).

научные исследования и разработки) составила 17 092 человека (табл.2).

Несмотря на значительное расширение сети организаций, как общая численность, так и численность специалистов-исследователей значительно сократилась. Общий персонал уменьшился более чем на 1 тыс. человек, или на 4,6%, специалисты-исследователи – на 1,1 тыс. человек или на 6,2%.

Таблица 1 - Количество организаций, осуществлявших НИОКР

единиц

	2019	2020	2021	Прирост/сокращение (-) относительно 2020 года, единиц
Республика Казахстан	386	396	438	42
Акмолинская	13	12	10	-2
Актюбинская	15	15	15	0
Алматинская	9	9	10	1
Атырауская	10	10	10	0
Восточно-Казахстанская	31	30	37	7
Жамбылская	10	9	9	0
Западно-Казахстанская	12	10	9	-1
Карагандинская	30	29	38	9
Костанайская	12	13	15	2
Кызылординская	6	7	10	3
Мангистауская	6	6	7	1
Павлодарская	12	10	9	-1
Северо-Казахстанская	5	5	8	3
Туркестанская	7	8	9	1
г. Астана	56	76	90	14
г. Алматы	138	135	139	4
г. Шымкент	14	12	13	1

По данным Бюро национальной статистики АСПиР РК

Кадровый потенциал. В 2021 году **численность работников науки** в целом насчитывала **21 617** человек. В эту численность входят квалифицированные и неквалифицированные работники, секретарский и конторский персонал, а также специалисты, деятельность которых связана с обслуживанием НИОКР.

Численность специалистов-исследователей, то есть работников, профессионально занимающихся НИОКР и непосредственно осуществляющих создание новых знаний, в том числе административно-управленческий персонал (включая руководителей научных организаций и подразделений, выполняющих

Это привело к уменьшению средней наполняемости организаций, составив наименьшую за трехлетний период численность работников на одну организацию – 49 человек. Более того, в таких регионах, как Восточно-Казахстанская, Карагандинская, Костанайская, Мангистауская область и городах Астана и Шымкент, где произошло наибольшее расширение сети организаций наполняемость их снизилась в среднем на 14 человек. Это дает основание полагать, что расширение сети произошло исключительно за счет разделения организаций на несколько малочисленных юридических лиц.

Таблица 2 - Численность персонала, занятого исследованиями и разработками в разрезе регионов страны

человек

Регионы	Численность персонала, всего				Специалисты-исследователи			
	2019	2020	2021	Прирост/сокращение (-)	2019	2020	2021	Прирост/сокращение (-)
Республика Казахстан	21 843	22 665	21617	-1 048	17 124	18 228	17 092	-1 136
Акмолинская	789	733	782	49	489	465	523	58
Актюбинская	420	431	381	-50	360	384	335	-49
Алматинская	935	798	697	-101	660	545	501	-44
Атырауская	471	476	427	-49	422	468	417	-51
Восточно-Казахстанская	2 161	1 804	1902	98	1 565	1 297	1355	58
Жамбылская	308	349	393	44	267	308	351	43
Западно-Казахстанская	534	517	441	-76	488	491	430	-61
Карагандинская	1 259	1 168	1134	-34	1 001	894	910	16
Костанайская	592	635	570	-65	435	503	442	-61
Кызылординская	183	260	239	-21	107	174	165	-9
Мангистауская	689	685	650	-35	590	615	590	-25
Павлодарская	621	514	447	-67	507	427	363	-64
Северо-Казахстанская	92	120	163	43	71	102	114	12
Туркестанская	182	251	245	-6	163	230	209	-21
г.Астана	3 027	3 942	3894	-48	2 366	3 187	3154	-33
г.Алматы	8 859	9 299	8730	-569	6 963	7 502	6763	-739
г.Шымкент	721	683	522	-161	624	636	470	-166

По данным Бюро национальной статистики АСПиР РК

Из 17 регионов Республики Казахстан в 13 произошло сокращение общего персонала, в 12 регионах – специалистов – исследователей.

В Акмолинской, Восточно-Казахстанской, Жамбылской и Северо-Казахстанской областях увеличилось как общая численность персонала, так и специалистов-исследователей. В Карагандинской области при снижении общей численности на 34 человека, специалистов-исследователей стало на 16 больше.

Индикатором, характеризующим вовлеченность трудовых ресурсов в научные исследования и разработки, служит **численность исследователей на 10 тыс. человек, занятых в экономике.**

В целом по Республике в 2021 году этот показатель снизился, составив 25 человек на 10 тыс. занятых, в том числе 19 – специалистов-исследователей. Для сравнения, по данным Института статистики ЮНЕСКО, в Германии этот показатель составляет в среднем 233 человека, Китае – 81 человек, Японии – 180 человек.

Выше среднереспубликанских показателей вовлеченность работников в исследовательскую деятельность всего персонала, а также специалистов-исследователей, как и в предыдущий год, была отмечена только в трех регионах: это города Алматы, Астана и Восточно-Казахстанская область (табл. 3).

Таблица 3 - Численность персонала, занятого исследованиями и разработками в разрезе регионов страны

Регион	Персонал, занятый НИОКР, на 10 тыс. человек занятых в экономике	Специалисты-исследователи на 10 тыс. человек, занятых в экономике	Занято в экономике, всего, тыс. человек*	Персонал, занятый НИОКР, на 10 тыс. человек занятых в экономике		Специалисты-исследователи на 10 тыс. человек, занятых в экономике		Занято в экономике, всего, тыс. человек*
				2020	2021	2020	2021	
Республика Казахстан	26,0	20,9	8732,04	24,5	19,4	8807,11		

Акмолинская	18,4	11,7	398,01	19,7	13,2	397,04
Актюбинская	10,4	9,2	416,41	9,1	8,0	419,80
Алматинская	8,2	5,6	974,05	7,2	5,1	972,99
Атырауская	15,1	14,9	314,53	13,4	13,1	317,74
Восточно-Казахстанская	26,9	19,4	669,45	28,5	20,3	668,31
Жамбылская	6,9	6,1	503,80	7,8	7,0	502,66
Западно-Казахстанская	16,1	15,3	321,02	13,7	13,3	322,26
Карагандинская	18,2	13,9	641,78	17,6	14,1	643,36
Костанайская	13,6	10,8	466,33	12,0	9,3	475,22
Кызылординская	7,9	5,3	329,43	7,2	5,0	330,08
Мангистауская	22,2	19,9	308,45	19,6	17,8	331,67
Павлодарская	13,3	11,0	387,13	11,6	9,5	383,74
Северо-Казахстанская	4,1	3,5	289,29	5,7	4,0	287,25
Туркестанская	3,2	3,0	779,36	3,2	2,7	777,62
г. Астана	70,0	56,6	563,43	67,1	54,4	580,30
г. Алматы	96,9	78,2	959,31	88,8	68,8	982,77
г. Шымкент	16,6	15,5	410,26	12,6	11,3	414,32

\*Источник информации: Основные индикаторы рынка труда по регионам РК, 2001-2020гг.

При оценке кадровых ресурсов к репрезентативным показателям можно отнести эквивалент полной занятости и коэффициент мобильности работников.

**Справочно.** Эквивалент полной занятости (ЭПЗ) – показатель, отражающий время, фактически затраченное персоналом на выполнение НИОКР, и демонстрируют эффективность использования человеческих ресурсов.

ЭПЗ равный 0,7 указывает на то, что только 70% рабочего времени тратится на выполнение НИОКР. При пересчете численности работников на полный рабочий день получа-

ется, что в 2021 году фактически непосредственно научной деятельностью было занято 12 тыс. человек. Если согласно статистике занятыми в исследованиях числятся 17,1 тыс. специалистов, то разница составляет более 5 тыс. человек.

Из 17 регионов в 8 - ЭПЗ ниже средне-республиканского. Самый низкий показатель был в г. Шымкенте, Костанайской, Туркестанской, Западно-Казахстанской и Павлодарской областях. Получается, что в данных регионах в течение года на научную деятельность каждый исследователь тратил ежедневно не более 3 часов (табл. 4).

Таблица 4 - Эквивалент полной занятости специалистов-исследователей

	2019	2020	2021
<b>Республика Казахстан</b>	<b>0,69</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>
Акмолинская	0,81	0,84	0,82
Актюбинская	0,54	0,50	0,53
Алматинская	0,71	0,76	0,74
Атырауская	0,90	0,95	0,85
Восточно-Казахстанская	0,51	0,59	0,61
Жамбылская	0,93	0,93	0,93
Западно-Казахстанская	0,52	0,54	0,41
Карагандинская	0,67	0,76	0,69
Костанайская	0,41	0,39	0,41



Кызылординская	0,57	0,62	0,73
Мангистауская	1,00	1,00	1,00
Павлодарская	0,68	0,60	0,42
Северо-Казахстанская	0,55	0,54	0,62
Туркестанская	0,47	0,45	0,86
г.Астана	0,79	0,73	0,74
г.Алматы	0,77	0,80	0,80
г.Шымкент	0,36	0,38	0,38

По данным Бюро национальной статистики АСПиР РК

В Казахстане наукоёмкость ВВП в последние годы держится на уровне 0,13%, при этом доля государственных инвестиций в НИОКР, в среднем, превышает 50%. Следовательно инвестиции из всех остальных источников составляют менее половины.

Структура финансовых затрат на научные исследования в Казахстане, прежде всего ориентирована на государственный бюджет.

Их доля, как правило, покрывает 50% расходов.

Собственные средства организаций, занимают второе по значимости место

В 2021 году объем бюджетных средств увеличился почти на 18 млрд тенге, при этом собственные средства увеличились всего на 1 млрд тенге относительно данных 2020 года (табл. 5).

Таблица 5 - Характеристика обеспеченности исследований

	Объем затрат на фундаментальные исследования, млн тенге	Численность специалистов-исследователей, всего, человек	Специалисты с высшей научной квалификацией, человек	ЭПЗ	Доля фундаментальных в НИОКР области, %	Доля прикладных в НИОКР области, %	Доля ОКР области, %
<b>Республика Казахстан</b>	<b>20 639,8</b>	<b>17092</b>	<b>7497</b>	<b>0,7</b>	<b>18,9</b>	<b>63,0</b>	<b>18,1</b>
Акмолинская	47,7	523	246	0,82	2,8	97,1	0,1
Актюбинская	176,8	335	141	0,53	11,0	64,1	24,8
Алматинская	37,5	501	233	0,74	2,4	97,6	0,0
Атырауская	126,5	417	55	0,85	2,0	98,0	0,0
Восточно-Казахстанская	423,9	1355	395	0,61	6,0	73,3	20,6
Жамбылская	49,1	351	169	0,93	0,8	64,0	35,2
Западно-Казахстанская	23,3	430	186	0,41	1,8	96,6	1,6
Карагандинская	871,0	910	369	0,69	18,5	75,6	5,9
Костанайская	42,2	442	199	0,41	3,9	53,2	43,0
Кызылординская	118,2	165	81	0,73	27,5	67,6	4,8
Мангистауская	23,6	590	46	1	0,2	26,3	73,5
Павлодарская	109,6	363	199	0,42	18,1	52,0	29,9
Северо-Казахстанская	32,9	114	44	0,62	8,0	66,7	25,3
Туркестанская	171,4	209	97	0,86	23,8	48,3	27,9
г.Астана	5 016,9	3154	1685	0,74	24,4	57,8	17,8
г.Алматы	13 164,4	6763	3120	0,8	30,8	63,6	5,6
г. Шымкент	205,0	470	231	0,38	13,3	60,8	25,9

Финансирование научной и (или) научно-технической деятельности из государственного бюджета осуществляется в форме базового, грантового и программно-целевого финансирования.

По результатам 2021 года в таких регионах как Акмолинская, Алматинская, Атырауская, Западно-Казахстанская, Восточно-Казахстанская, Карагандинская, Кызылординская, Туркестанская области и в городах Астана и Алматы затраты на фундаментальные исследования превысили затраты на опытно-конструкторские разработки. При этом следует отметить, что в большинстве этих регионов низкая обеспеченность кадрами высшей научной квалификации и низкий эквивалент полной занятости.

В 2021 году только в двух регионах произошло снижение затрат: на 125 млн тенге в Алматинской области и на 20,2 млн тенге в г. Шымкент, во всех остальных наблюдается рост от 5,8 млн тенге в Павлодарской области до 9 865,4 млн тенге в г. Алматы (табл. 6).

спубликанского объема научных исследований. В отчетном году вклад науки г. Астана в общие затраты на НИОКР снизился на 2,3 процентных пункта и составил 18,8% от внутренних затрат на НИОКР республики.

Мангистауская область находится на 3-м месте по объему ежегодно увеличивающихся научных исследований. Здесь следует отметить, что 95,9% НИОКР в этой области финансировались за счет собственных средств организаций, а на выполнение программ и проектов программно-целевого и грантового финансирования было потрачено 4,1% от общих затрат по региону. Независимость научных организаций области от государственного финансирования позволила увеличить ежемесячную зарплату своим сотрудникам до 614 тыс. тенге, что более чем в три раза превысило среднереспубликанский уровень зарплат.

Атырауская область также более чем на 97% использует собственные средства и только около 3% финансируется из государственного бюджета. Среднемесячная зарплата ра-

Таблица 6 - Внутренние затраты на НИОКР по регионам

млн тенге

	2019	2020	2021
Республика Казахстан	82333,1	89028,7	109 332,7
Акмолинская	1608,8	1655,4	1 695,2
Актюбинская	1060,6	1176,7	1 604,2
Алматинская	1521,3	1672,8	1 547,7
Атырауская	5134,6	5801,8	6 412,1
Восточно-Казахстанская	7082,3	5412,2	7 021,6
Жамбылская	759,0	2156,2	5 881,5
Западно-Казахстанская	1045,3	1061,0	1 298,7
Карагандинская	4543,6	3986,4	4 718,8
Костанайская	687,7	788,1	1 091,3
Кызылординская	273,0	283,9	429,3
Мангистауская	9713,8	10428,2	11 089,6
Павлодарская	1258,2	598,2	604,0
Северо-Казахстанская	241,3	339,4	411,1
Туркестанская	188,5	481,9	719,9
г. Астана	17965,1	18753,0	20 529,0
г. Алматы	28095,4	32873,3	42 738,7
г. Шымкент	1154,5	1560,2	1 540,0

Доля затрат города Алматы выросла на 30% и составила 39,1% от общере-

ботников науки этой области составляет 574 тыс. тенге, что также значительно превышает среднереспубликанский уровень.

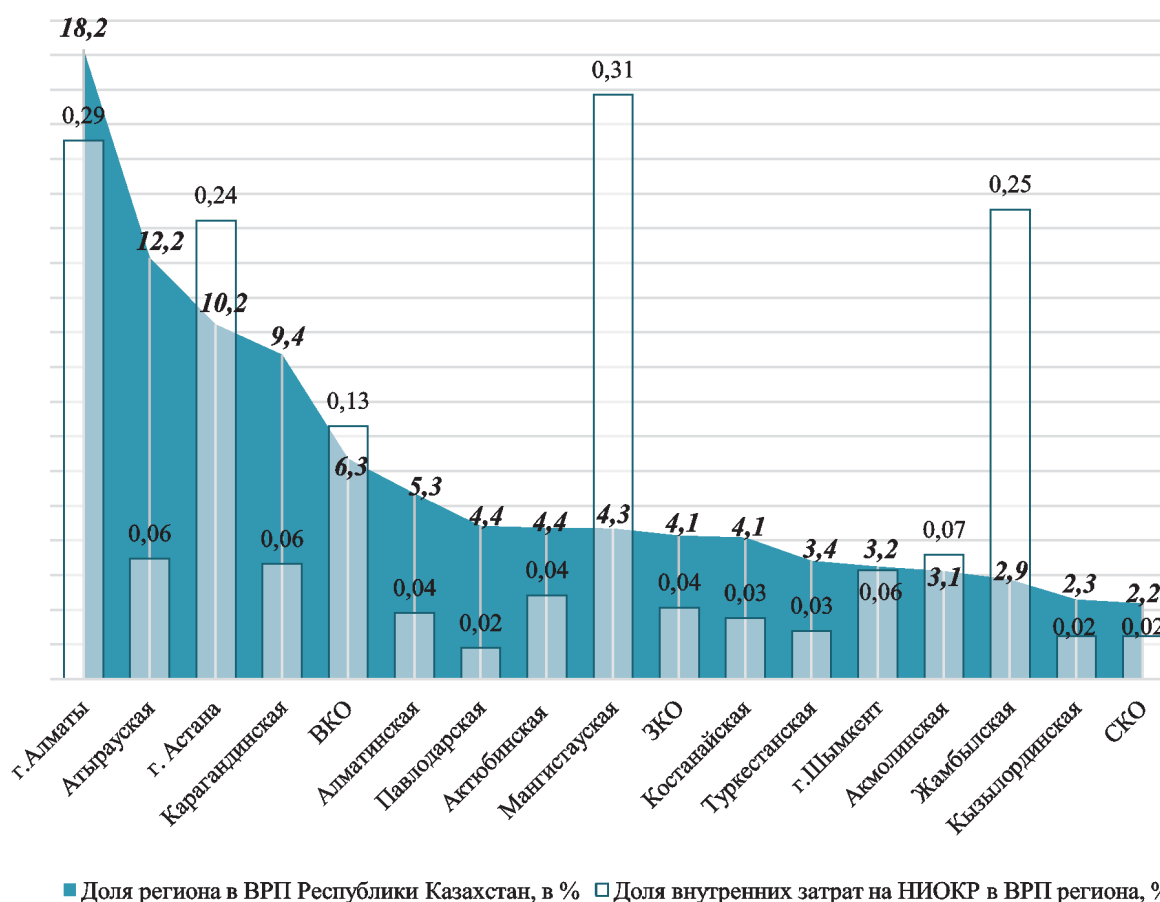


Рисунок 2 - Соотношение веса региона в ВРП республики и затрат на НИОКР в 2021 году

Следует обратить внимание на предрасположенность региона к развитию науки. Так, например, города Алматы, Астана и Восточно-Казахстанская область занимающие ведущие места по вкладу в ВРП республики, лидируют и по доле внутренних затрат на НИОКР в ВРП.

Однако, в таких регионах, как Атырауская, Карагандинская, Павлодарская области, несмотря на высокий уровень производства товаров и услуг, исследовательская деятельность находится на очень низком уровне и составляет 0,06-0,02% к ВРП.

Павлодарская область обладает диверсифицированным промышленным и сельскохозяйственным производством и богата запасами полезных ископаемых. Область занимает одно из ведущих мест в минерально-сырьевом комплексе республики и обладает достаточным потенциалом для развития предприятий химической, машиностроительной и металлообрабатывающей отраслей. Площадь сельскохозяйственных угодий региона составляет

11,2 млн га. При таком потенциале доля науки в 2021 году в ВРП составляет всего 0,02%, а по объему затрат на НИОКР 604 млн тенге. При этом в финансировании ее научной сферы принимают участие не только республиканский и местный бюджеты, но и иностранные инвесторы – их доля в общем объеме внутренних затрат составляет почти 10%. В регионе, действует всего 9 организаций НИОКР и 4 организации высшего профессионального образования. На затраты на НИОКР из местного бюджета приходится около 20 млн. тенге – один из самых низких показателей в республике.

Регионы Казахстана отличаются своей спецификой. Особенностью экономики, например, Мангистауской области является в основном добыча нефти и газа. Поэтому здесь развиваются аффилированные с добывающей промышленностью виды деятельности, такие, как ремонт, изготовление и обслуживание нефтепромыслового и бурового оборудования, производство строительных материалов,

рабочей и защитной одежды для работников месторождений. В этих рамках живет и наука. Однако, несмотря на высокие затраты на НИОКР и отраслевую направленность научно-исследовательских и конструкторских разработок, объем затрат на инновации в этом регионе наименьший, составляет всего 3 млрд тенге или 0,4% от республиканских затрат на инновации. Это почти в 20 раз ниже средне-республиканского уровня (5,9%).

Такое соотношение затрат на НИОКР и инновации требует серьезного анализа рациональности использования ресурсов.

В 2021 году в реализации 1325 проектов грантового финансирования (ГФ) участвовали 173 организации со всех регионов Казахстана, 123 программы выполнялись 74 организациями из тринадцати областей, за исключением Актюбинской, Костанайской, Кызылординской и Павлодарской (рис. 1, 2).

Около 70% задействованных в проектах организаций сосредоточено в Алматы (82) и Астане (39), главных научных центрах страны. Далее по числу организаций следуют Карагандинская (9), Восточно-Казахстанская (8), Акмолинская (6), Алматинская области и Шымкент - по 5, Актюбинская и Павлодарская – по 3, остальные области – по 1-2 (рис. 3).

Соответственно, доминирующая доля научных исследований ГФ (72,8%) выполнена организациями Алматы (688 проектов) и Астаны (277). Основными исполнителями остальных работ являются организации Кара-

гандинской (91 НИР) и Восточно-Казахстанской (60) областей. На оставшиеся 35 организаций, представляющих 13 регионов, приходится всего 209 НИР (15,8%).

Выполнение программ программно-целевого финансирования (ПЦФ) осуществлялось в основном организациями Алматы и Астаны (39 и 16 единиц соответственно), доля которых в общем количестве организаций-исполнителей составила 74,3%, что выше, чем в проектах. Из остальных 11 регионов, задействованы в программах: по 3 организации Карагандинской и Восточно-Казахстанской областей; по 2 - Акмолинской, Алматинской, Жамбылской и Туркестанской; по 1 - Атырауской, Западно-Казахстанской, Мангистауской, Северо-Казахстанской областей и Шымкента (рис. 4).

Практически две трети всех выполняемых программ ПЦФ реализуются организациями Алматы и Астаны. Далее следуют Восточно-Казахстанская и Алматинская области, с числом научных программ 7 и 6, Акмолинская, Западно-Казахстанская, Карагандинская и Туркестанская – по 3, Жамбылская – 2 и Алматинская, Атырауская, Мангистауская, Северо-Казахстанская и Шымкент – по 1 НИР.

Общепризнанными критериями оценки результативности научных исследований считаются количество полученных патентов, публикаций, наличие внедрения.

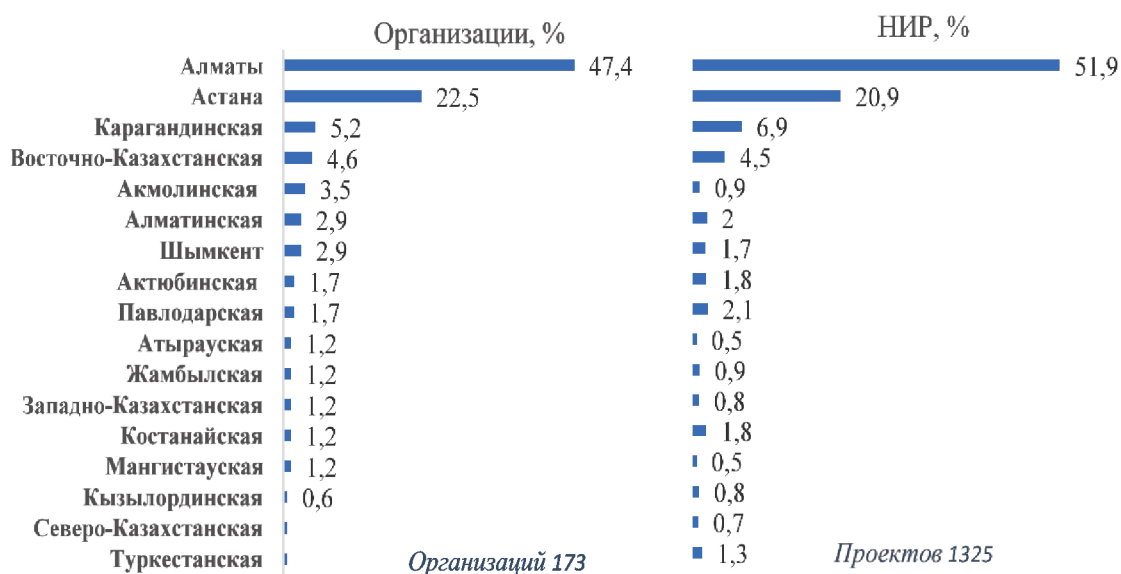


Рисунок 3 - Структура организаций-исполнителей реализуемых проектов в региональном разрезе

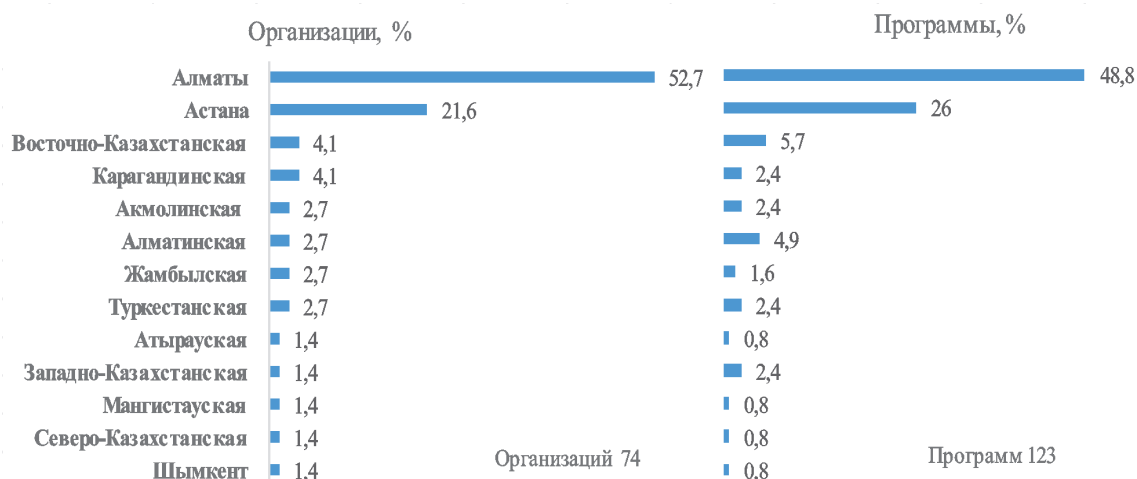


Рисунок 4 - Структура организаций-исполнителей реализуемых программ в региональном разрезе

В результате реализации научных исследований за 2021 год опубликованы в рамках грантового финансирования 4516 и программно-целевого - 1301 работа, на 45% и

30% представленные в зарубежных изданиях. Соответственно, получено 130 и 45 охранных документов, из общего количества НИР завершились внедрением 177 проектов и 76 программ (табл. 7, 8).

Таблица 7 - Результаты научно-технической деятельности в рамках грантового финансирования

единиц

Регион	Всего проектов	Публикации				Охранные документы	Внедрения
		всего	в зарубежных изданиях	в т.ч. Web of Science	в т.ч. Scopus		
Республика Казахстан	1325	4516	2037	505	842	130	177
Акмолинская	12	48	19	1	7	0	4
Актюбинская	24	81	46	6	14	6	25
Алматинская	27	78	31	3	13	1	7
Атырауская	6	19	4	0	3	0	3
Восточно-Казахстанская	60	222	106	22	28	6	22
Жамбылская	12	27	7	5	4	1	5
Западно-Казахстанская	10	35	19	0	4	0	0
Карагандинская	91	383	193	32	56	13	41
Костанайская	24	95	54	4	22	5	3
Кызылординская	11	22	6	2	1	0	0
Мангистауская	6	31	10	2	6	0	1
Павлодарская	28	72	29	6	9	0	3
Северо-Казахстанская	9	38	17	0	5	1	2
Туркестанская	17	91	37	4	12	0	2
Астана	277	765	394	126	171	12	26
Алматы	688	2412	1027	286	469	72	30
Шымкент	23	97	38	6	18	13	3



Охранные документы в рамках грантового финансирования получены организациями лишь 10-ти регионов, за исключением Акмолинской, Атырауской, Западно-Казахстанской, Кызылординской, Мангистауской, Павлодарской и Туркестанской областей, а по результатам НИР ПЦФ – только 7-и, за исключением Атырауской, Карагандинской, Мангистауской, Северо-Казахстанской, Туркестанской и Шымкента.

Более утешительны данные по внедрениям, где в рамках грантового финансирования реализованы результаты 15, а ПЦФ - 8 регионов РК.

Более объективная оценка отдачи регионов получена путем сравнения полученных результатов в расчете на один НИР. Как видно (рис. 3, 4), несмотря на то, что по абсолютной величине публикаций по всем видам исследований лидируют Алматы и Астана, по *публикационной активности* на 1 НИР самых высоких показателей в рамках ГФ добились Туркестанская и Мангистауская, а ПЦФ – Западно-Казахстанская и Акмолинская области. По зарубежным публикациям, соответственно, Костанайская и Туркестанская, а также – Мангистауская и Восточно-Казахстанская регионы (рис. 5, 6).

Таблица 8 - Результаты научно-технической деятельности в рамках программно-целевого финансирования

единиц

Регион	Всего программ	Публикации				Охранные документы	Внедрения
		всего	в зарубежных изданиях	в т.ч. Web of Science	в т.ч. Scopus		
Республика Казахстан	123	1301	384	73	120	45	76
Акмолинская	3	55	13	0	2	6	26
Алматинская	6	71	21	5	2	12	18
Атырауская	1	8	0	0	0	0	0
Восточно-Казахстанская	7	48	34	7	13	2	2
Жамбылская	2	12	6	0	0	3	0
Западно-Казахстанская	3	62	10	0	2	3	3
Карагандинская	3	3	1	0	0	0	0
Мангистауская	1	15	6	0	1	0	1
Северо-Казахстанская	1	7	2	1	0	0	1
Туркестанская	3	3	0	0	0	0	0
Астана	32	165	60	5	11	1	0
Алматы	60	850	230	55	89	18	13
Шымкент	1	2	1	0	0	0	12



Рисунок 5 - Результативность реализуемых в 2021 г. проектов ГФ в разрезе регионов в расчете на один проект

Патентная активность по реализуемым в 2021 г. проектам ГФ очень низкая и в среднем по регионам составляет всего 0,1 ед./на проект. Самые высокие значения наблюдаются по Шымкенту, Актюбинской и Костанайской областям - соответственно 0,57, 0,25 и 0,21 ед. на 1 проект (рис. 5).

по 11 приоритетным направлениям развития науки: Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции (ГДПМУС); Информационные, коммуникационные и космические технологии и Информационные, телекоммуника-

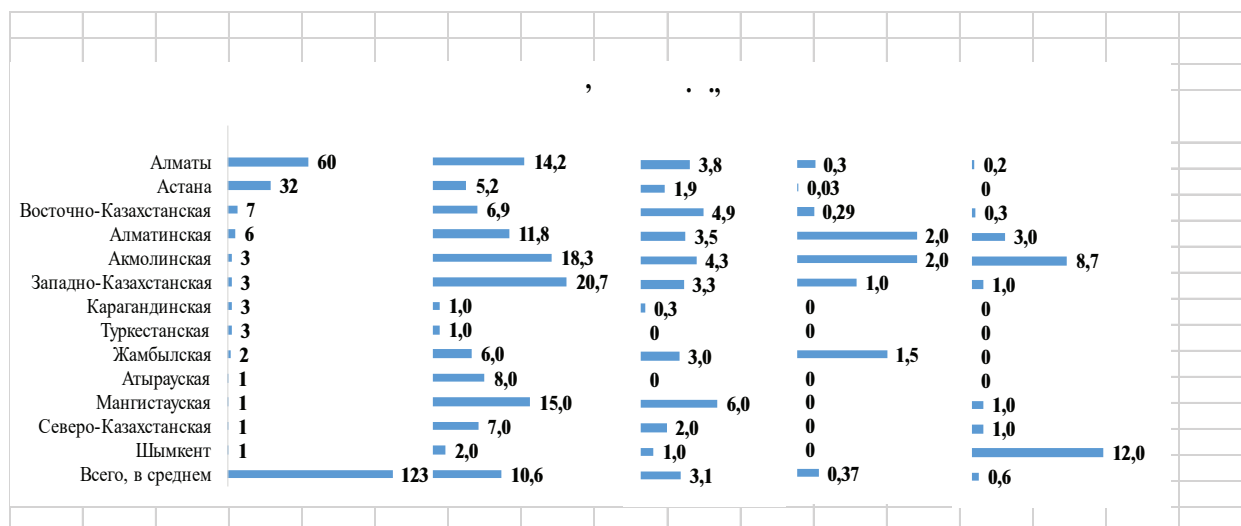


Рисунок 6 - Результативность реализуемых в 2021 г. программ ПЦФ в разрезе регионов в расчете на один проект

По программам ПЦФ средняя патентная активность выше в 3,7 раз. Значительная активность, выраженная 2 охранными документами на программу, отмечена по Алматинской и Акмолинской регионам. По 1 и 1,5 документа на программу имеют Западно-Казахстанская и Жамбылская области (рис. 6).

По внедрениям результатов НИР ГФ наиболее высокий уровень показателя в Актюбинской области – 1,04 ед. и в Атырауской – 0,5 (рис. 3). По результатам программ ПЦФ высокая внедренческая активность отмечена в Шымкенте – 12 ед., Акмолинской – 8,7 и Алматинской областях – 3.

Сравнение регионов по общей результативности исследований показывает, что по проектам ГФ лидируют такие регионы, как Карагандинская, Восточно-Казахстанская, Актюбинская, Костанайская и Шымкент, показатели которых по всем критериям выше среднего по стране. По ПЦФ самую высокую продуктивность в расчете на программу имеют Акмолинская, Алматинская и Западно-Казахстанская области.

В целом, реализуемые НИР выполнялись

ционные и космические технологии (ИККТ); Исследования в области образования и науки (ИОиН); Исследования в области социальных и гуманитарных наук (ИСиГ); Науки о жизни и здоровье (НоЖЗ); Научные исследования в области естественных наук (ЕН); Научные основы «Мәңгілік ел» (образование XXI века, фундаментальные и прикладные исследования в области гуманитарных наук) (Мәңгілік ел); Национальная безопасность и оборона (НБиО); Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология и Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технология, безопасные изделия и конструкции (РИВР); Устойчивое развитие агропромышленного комплекса и безопасность сельскохозяйственной продукции (АПК); Энергетика и машиностроение (ЭиМ).

В рамках ГФ в приоритете Мәңгілік ел, включающем исследования в области гуманитарных наук, задействованы полностью все регионы страны, в ЕН, ИОиН и ИСИГ, с научными исследованиями в области естествен-

ных наук, образования и науки и социальных и гуманитарных наук - 15, 13 и 12 областей. Из оставшихся приоритетных направлений наибольший охват регионов наблюдается в РИВР (13), решающем технические и технологические вопросы. Следующими по количеству участвующих регионов стали приоритеты НоЖЗ и АПК, исследующие актуальные задачи наук о жизни и сельского хозяйства - по 10, далее ИККТ и ГДПМУС – по 9, ЭиМ – 8 и НБиО – 5 (рис. 7).

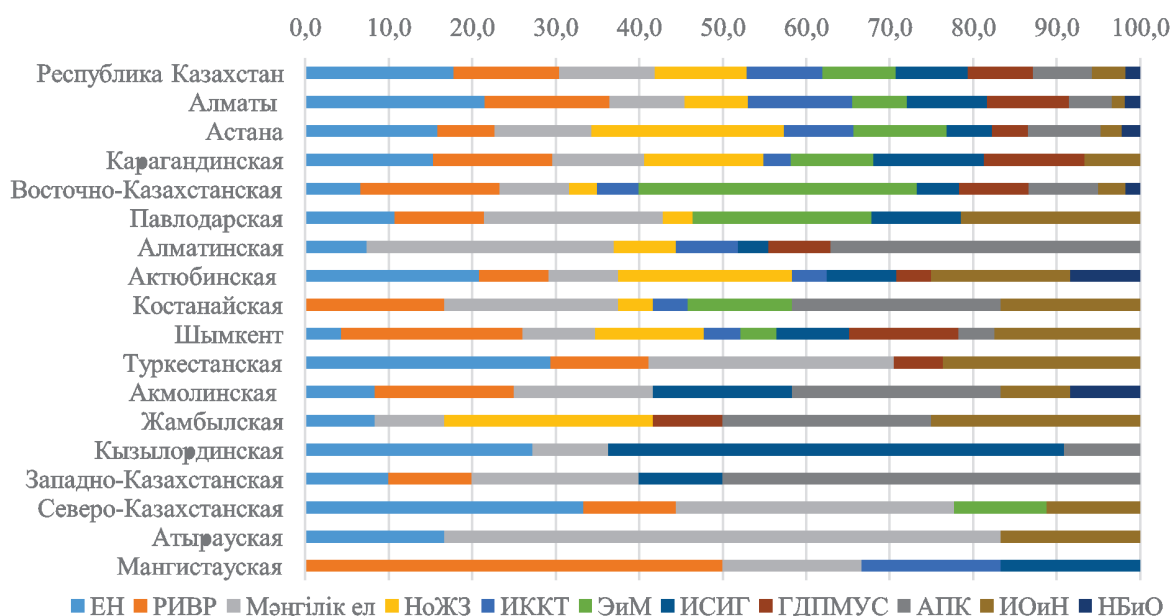


Рисунок 7 – Долевое распределение проектов, выполненных в рамках грантового финансирования, по приоритетным направлениям

Реализация программно-целевых исследований, как было уже отмечено, проводится в целом организациями 13 регионов. Самое большое число регионов приходится на по приоритеты АПК - 8 регионов и ИСИГ – 7. В остальных приоритетах задействованы, в основном организации Алматы, Астаны и, в некоторой степени, Восточно-Казахстанской области (рис. 8).

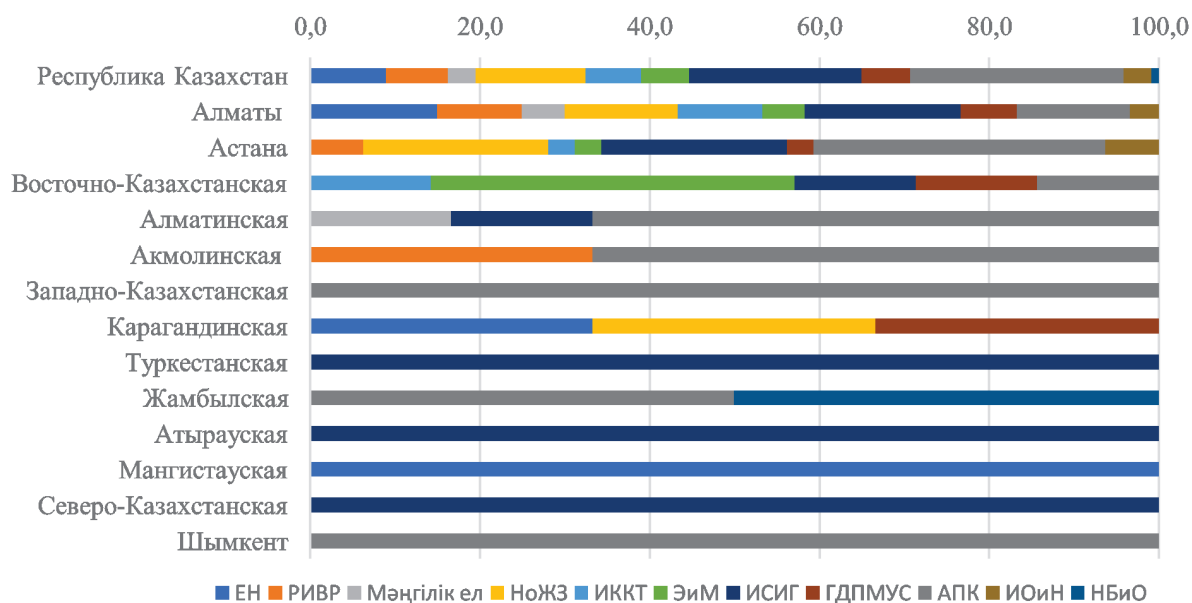


Рисунок 8 – Долевое распределение программ, выполненных в рамках программно-целевого финансирования, по приоритетным направлениям

Выполнение регионами научных исследований в каком-нибудь из этих направлений может быть связано с его спецификой и наличием профильных организаций и исследовательских кадров. В разрезе регионов только организациями Алматы, Астаны и Восточно-Казахстанской области осуществлен полный охват всех 11 приоритетов при реализации НИР ГФ и их основная часть при выполнении программ ПЦФ.

Некоторые области задействованы за исключением 1-2 приоритетов, так, Шымкент – за исключением НБиО, Актюбинская – ЭИМ и АПК, Карагандинская – АПК и НБиО. Остальные регионы представлены большей частью в актуальных для него приоритетах. Наибольший вес проектов Акмолинской, Алматинской, Западно-Казахстанской и Костанайской областей составляет направление АПК, Атырауской - Мәңгілік ел, Жамбылской – НоЖЗ и АПК, Павлодарской – ЭИМ, Мангистауской - РИВР. Кызылординская, Северо-Казахстанская, Туркестанская области профинансированы, в основном, для решения задач в области естественных, социальных и гуманитарных наук, образования и науки.

Заключение. Проведенный анализ выявил, что в последние годы несмотря на общее расширение сети научных организаций, численность работников сокращается. Вовлеченность работников в исследовательскую деятельность выше среднереспубликанских показателей была отмечена только в трех регионах: городах Алматы, Астана и Восточно-Казахстанской области. Наполняемость научных организаций низкая. В сферу научно-исследовательской деятельности приходится

мало выпускников послевузовской подготовки, что в целом не восполняет потери сокращения кадрового потенциала. Учитывая это обстоятельство, образовательным учреждениям необходимо работать над повышением мотивации молодежи к участию в научной жизни.

Увеличение внутренних затрат на НИО-КР незначительно сказалось на наукоёмкости ВВП, поднявшись на 0,01 процентный пункт, она составила 0,13%.

Структура финансовых затрат на научные исследования в регионах Казахстана, прежде всего ориентирована на государственный бюджет.

Более 70% организаций, участвующих в реализации проектов и программ грантового и программно-целевого финансирования, сосредоточены в главных научных центрах страны – в городах Алматы и Астане. Судя по критериям оценки результативности научных исследований, можно выделить несколько регионов, таких как Карагандинская, Костанайская Актюбинская области, а также город Шымкент с относительно высокими показателями результативности проектов и программ. Однако в среднем по стране результативность реализуемых НИОКР невысока.

Тем не менее казахстанская наука стремится занять достойное место в социально-экономическом развитии страны, перед которой сегодня стоит серьезная задача - обеспечить рост конкурентоспособности экономики, доступа отечественных предприятий к рынкам сбыта за счет высокой производительности и качества продукции. Не последнюю роль в этом должна сыграть казахстанская наука.

### Список использованной литературы

1. Сатпаева З.Т., Молдабекова А.Т., Мусаева Д.М. Роль науки в социально-экономическом развитии стран с разным научным потенциалом // *Вестник университета «Туран»*. 2020 - №3 – С. 223-228. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2020-1-3-223-228>
2. Coccia M. Technology in Society Why do nations produce science advances and new technology? // *Technol. Soc.* Elsevier Ltd. 2019. No. 59. P. 101–124.
3. Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 июля 2000 года N 1059. «О Концепции научной и научно-технической политики Республики Казахстан»
4. Аюпов А.Н., Абдурашитов А.А., Бровка Н.А. Региональная экономика: учебник. 2-е изд. Бишкек: КРСУ, 2015. - 374 с.
5. Харченко К. В. Цифровая среда развития региональной науки: новые возможности // *Управление наукой: теория и практика*. 2021. Т. 3, № 3. С. 103–117. DOI: <https://doi.org/10.19181/sntp.2021.3.3.5>
6. Боженев С. А. Региональная и муниципальная наука как основа стратегического развития территории / С. А. Боженев, К. В. Харченко // *Управление городом: теория и практика*. 2019. № 1 (32). С. 3–17.
7. Приказ Председателя Комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан от 6 октября 2016 года № 232 «Об утверждении Методики по формированию показателей статистики научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и инноваций»
8. OECD/Eurostat (2018), Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-e>
9. OECD (2015), Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
10. Руководство по работе с наукометрическими показателями. <https://incites.help.clarivate.com/Content/home.htm> (дата обращения: 08.02.2023).
11. Адамс Д., Пендлбери Д., Шомшор М. Ценность наукометрических баз данных: от поиска информации — к глубокой аналитике. Международный научно-исследовательский отчет, 2019 г. - URL: <https://onznnews.wdcb.ru/jul20/mezhdunarodnyj-otchet-tsennost-naukometricheskikh-baz-dannykh.html> (дата обращения: 15.02.2023).

---

### Г.А. Қозбағарова, Н.И. Пономарева, Г.Н. Беляева. ҚАЗАҚСТАН АЙМАҚТАРЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ

**Түйіндеме.** Өңірлердің ғылыми әлеуетін пайдалану деңгейі көбіне олардың келешегі мен тұрақты дамуын анықтайды, бұл ел халқының өмір сүру сапасын жақсартумен тікелей байланысты.

Мақалада 2017-2021 жылдарға арналған Қазақстан аймақтарының ғылыми әлеуетінің жағдайы мен дамуы туралы статистикалық ақпарат талқыланады. Өңірлердің әрқайсысында ҒЗТҚЖ әзірлеу қарқындылығының көрсеткіштері келтіріліп, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды орындайтын персоналдың саны мен құрамы, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарға жұмсалған шығындар туралы ақпарат берілген. Елдің жекелеген аймақтарының экономикасының ерекшелігі атап өтілді. 2021 жылы гранттық және бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде жүзеге асырылатын ғылыми, ғылыми-техникалық жобалар мен бағдарламалардың сипаттамасы берілген. Ғылыми-техникалық қызмет нәтижелері, әр аймақтың ғылыми білімнің дамуына қосқан үлесі аяқталған жобалар мен бағдарламалар саны, жарияланымдар саны, оның ішінде Web of Science және Scopus шетелдік ақпараттық ресурстарында, қауіпсіздіктің болуымен бағаланды. құжаттар, сонымен қатар зерттеу нәтижелерін енгізу.

**Түйін сөздер:** аймақ, аймақтық ғылым, аймақтық даму, аймақтық тиімділік, ғылыми-техникалық әлеует, инновациялық



**G.A. Kozbagarova, N.I. Ponomareva, G.N. Belyaeva. SCIENTIFIC AND TECHNICAL POTENTIAL OF THE REGIONS OF KAZAKHSTAN**

**Abstract.** The level of use of the scientific potential of the regions largely determines their prospects and sustainable development, which is directly related to improving the quality of life of the country's population. The article discusses statistical information on the state and development of the scientific potential of the regions of Kazakhstan for 2017-2021. The indicators of the intensity of R&D development in each of the regions are given, information is provided on the number and composition of personnel performing research and development, and the costs of research and development. The specificity of the economy of individual regions of the country is noted. The characteristics of the scientific, scientific and technical projects and programs implemented in 2021, carried out within the framework of grant and program-targeted financing, are given. The results of scientific and technical activities, the contribution to the development of scientific knowledge of each region were judged by the number of completed projects and programs, the number of publications, including in foreign information resources Web of Science and Scopus, the availability of security documents, as well as the implementation of research results.

**Keywords:** region, regional science, regional development, regional efficiency, scientific and technical potential, innovative development, publication activity, scientific priorities, fields of science

---

**Сведения об авторах**

**КОЗБАГАРОВА Гульнур Алимкуловна** – кандидат химических наук, главный специалист отдела информации и анализа, АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы», e-mail: g.kozbagarova@ncste.kz

**ПОНОМАРЕВА Нина Ивановна** – кандидат технических наук, главный специалист отдела информации и анализа, АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы», e-mail: n.ponomareva@ncste.kz

**БЕЛЯЕВА Галина Николаевна** – главный специалист отдела информации и анализа Управления информационно-аналитической работы, АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы», тел. +7 700 260 4502, e-mail: g.belyaeva@ncste.kz

## DERIVATION AND ANALYSIS OF THE DYNAMIC EQUATIONS OF MOBILE ROBOTS WITH RANDOM DISTURBING FORCES BASED ON THE PRINCIPLE OF LEAST GAUSS FORCE

*Tuleshov A.K.<sup>1</sup>, Seidakhmet A.Zh.<sup>1</sup>, Abduraimov A.E.<sup>1</sup>, Kamal A.N.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of mechanics and engineering named after U.A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan

---

**Abstract.** In this paper, the derivation of the equations of dynamics of a four-wheeled mobile robot is carried out using the variational principle of least constraint, known as the Gauss principle. Equations of nonholonomic constraints are obtained. The function of the measure of coercion of the four-wheeled mobile robot is composed. Dynamic equations based on the Gauss principle are obtained taking into account the dynamic characteristics of two DC motors. Methods for taking into account the friction forces on the wheels and random perturbations due to the unevenness of the canvas are proposed. On the Maple platform, an algorithm and a program for modeling the dynamics of a mobile robot based on the Gauss principle were developed the correctness of the obtained equations of robot motion were proved.

**Key words:** *Mobile wheeled robot, Gauss principle, equations of dynamics, motion modeling, disturbing forces.*

---

**Introduction.** The subject of the proposed study is a four-wheeled cargo mobile transport robot (CMTR). Such robots are used in the machine-building complex for flexible automated production tasks[1], warehouse terminals, and are gaining an increasing sector in the mining industry [2].

The research begins with modeling the dynamics of mobile robot (MR). A lot of works are devoted to solving this problem[1]. Algorithms for implementing dynamic calculations can be built using traditional Lagrange-Euler or Newton-Euler methods [3]. In many works, other forms of robot motion equations are used. These include the Wicker equations [4], or the recurrent Hollerbach equations [5], obtained using the Lagrange-Euler method; the Lu equations [6] based on the Newton-Euler method; the Lee equations [7] using the generalized D'Alembert equations. All these equations are different in form, since they are obtained for different purposes [1,3]. Some of them provide the minimum time for calculating control moments and reactions in the joints of the manipulator, others are used in the

synthesis and analysis of control laws, the third is used to simulate manipulator movements [8].

In the dynamics of wheeled MR, the main issue of modeling is the interaction of the wheel with the surface (relief), which is characterized as a non-holonomic bond [9] or the friction force based on the Coulomb-Amonton law [10,11,12], with liquid friction according to the Newton formula [12]. In [11], four possible cases of wheel-terrain interaction were noted. The first case is a rigid wheel moving over rough terrain. The second case is a rigid wheel moving over deformable terrain. The third case is a deformable wheel moving over a deformable terrain. The fourth case is a deformable wheel moving over rough terrain. Although many different types of models (i.e. finite elements, discrete elements, empirical) have been developed for each of these four cases, the focus here is on analytical models [12]. At the same time, in these works, the random nature of friction associated with the change of sign and the consideration of abrupt changes in the load were ignored. For highly loaded robots, dynamic performance indicators become essen-

tial because they have a significant impact on the modes of movement of the system.

Relevance in the design of a transport mobile robot is the description of its dynamics under the influence of external disturbances of a stochastic nature on the cart, the study of the robot's response to such disturbances (a jump-like change in the gravity of the load) and the consideration of nonholonomic constraints (wheel slippage).

In this regard, the practical application of a mobile transport robot requires extensive research of the dynamics and evaluation of the accuracy of the quality of movement in order to optimize the developed control system, while not changing the developed concept and hierarchical structure of the intelligent control system MR [13,14,15].

The novelty of this article is the differential equations of motion of a mobile robot obtained using the variational principle of least constraint, known as the Gauss principle.

Algorithms and numerical programs have been developed for analyzing and deriving calculated formulas of disturbing forces, including stochastic ones, due to random obstacles under the wheels, abrupt changes in the load and its movement on the upper platform, sudden changes in the directions of movement, acceleration and braking of the robot in a short period of time.

Derivation of dynamic equations. The universal platform of the mobile robot consists of a frame on which four wheels and two electric motors are attached (Figure 1). The two rear wheels are driving. The robot platform is a frame of variable length on which various mechanisms can be installed.

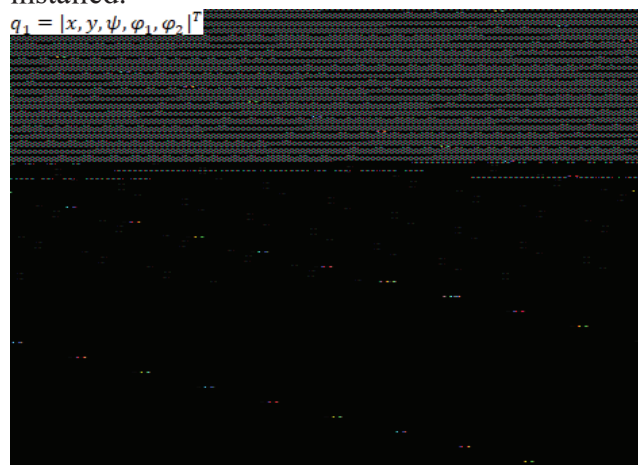


Figure 1 - Calculation scheme of a mobile robot for deriving equations of motion

We introduce the following coordinate systems: a fixed coordinate system  $Oxyz$ , the plane of which  $Oxy$  coincides with the horizontal rough plane on which the wheels of the robot roll, and the movable system  $Ax_1y_1z_1$  starting at point  $A$ , rigidly connected to its platform (Figure 1). At the same time, the axis  $Ay_1$  directed along the line  $C_3C_4$ , and the center of gravity of the robot  $C_1$  lies on the axis  $Ax_1$ , being the axis of symmetry of the chassis.

When modeling the movement of a mobile robot, we introduce a number of conditions: a) the robot is considered as a system of absolutely rigid bodies; c) the movement is carried out without slipping; d) the masses of the front wheels, gears of reduction gears are considered equal to zero; c) the robot moves with the driven wheel forward.

*Communication equations.* The position of the bodies of the mobile robot in the coordinate system  $Oxyz$  is determined by the vector of generalized coordinates  $q_1 = [x, y, \psi, \varphi_1, \varphi_2]^T$ , where  $x, y$  – coordinates of point  $A$  – the mid-points of the segment connecting the centers  $C_3C_4$  rear wheels 3,4;  $\psi$  - angle of rotation around the vertical platform 1, measured from the axis  $Ox$ ;  $\varphi_1, \varphi_2$  - angles of rotation of the driving wheels relative to the horizontal axes. Accordingly, the vector of generalized robot velocities has the form  $\dot{q} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi}, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2]^T$ .

The platform angular velocity vector is defined as  $\Omega = [0, 0, \dot{\psi}]^T$ , where vector  $\Omega$  given by projections on the axes  $Axyz$ . The vectors of the angular velocities of the drive wheels are determined by the relations:  $\Omega_1 = [0, \dot{\varphi}_1, \dot{\psi}]^T$ ,  $\Omega_2 = [0, \dot{\varphi}_2, \dot{\psi}]^T$ , where  $\Omega_1, \Omega_2$  given as projections on the axes  $Ax_1y_1z_1$ .

The speeds of the points of contact of the driving wheels with the surface can be determined from the equations:

$$V_{P_3} = V + [\Omega, l] + [\Omega_1, r], \quad (1)$$

$$V_{P_4} = V + [\Omega, l] + [\Omega_2, r],$$

where  $V$  - linear velocity vector of point  $A$  of the platform;  $V_{P_3}$  - contact point velocity vector  $P_3$  left wheel;  $V_{P_4}$  - contact point velocity vector  $P_4$  right wheel;  $l = AC_3 = AC_4$  – half the distance

between the driving wheels;  $r = C_3P_3 = C_4P_4$  – drive wheel radius.

Since the movement of the drive wheels occurs without slipping, it means  $V_{P_4} = V_{P_3} = 0$ . Taking into account this condition, based on the projection of equation (1) on the axis  $Ax_1y_1z_1$  we obtain three independent equations of non-integrable (non-holonomic) constraints:

$$\begin{cases} V_{P_3y_1} = V_{P_4y_1} = -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0, \\ V_{P_3x_1} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_1 = 0, \\ V_{P_4x_1} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_2 = 0, \end{cases} (2)$$

Vector of pseudovelocities ( $\dot{\pi} = [V \ \Omega]$ ) includes two elements: velocity  $V = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi$  points A, angular velocity of platform  $\Omega = \dot{\psi}$ . The relationship between the generalized and pseudovelocities of the system in this case has the form

$$\dot{q} = H \dot{\pi} \quad (3)$$

Let's write down the matrix H:

$$H = \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 \\ \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 \\ \frac{1}{r} & \frac{l}{r} \\ \frac{1}{r} & -\frac{l}{r} \end{pmatrix}$$

Dependence (3) between generalized velocities and pseudovelocities can be rewritten in scalar form:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \psi, \quad \dot{y} = V \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \Omega, \quad \dot{\phi}_1 = \frac{V + l\Omega}{r}, \quad \dot{\phi}_2 = \frac{V - l\Omega}{r}, \end{aligned} \quad (4)$$

*Dynamic equations.* The derivation of differential equations will be carried out using the variational principle of least constraint, known as the Gauss principle. As a measure of coercion, a value Z is taken in the form of the following functional

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left[ m_i \left( \ddot{x}_i - \frac{F_{ix}}{m_i} \right)^2 + m_i \left( \ddot{y}_i - \frac{F_{iy}}{m_i} \right)^2 + J_i \left( \ddot{\phi}_i - \frac{M_i}{J_i} \right)^2 \right], (5)$$

Here  $F_{ix}, F_{iy}$  – projections of external forces reduced to the center of mass,  $M_i$  – moment of external forces,  $m_i, J_i$  – mass and moment of inertia relative to the center of mass of the  $i$ -th link,  $\delta \ddot{x}_i, \delta \ddot{y}_i, \delta \ddot{\phi}_i$  – variations of projections of the acceleration vector and angular acceleration.

The equations of dynamics of a mechanical system are obtained from the stationarity condition in variational form and the necessary condi-

tions for the minimum of the functional (5)

$$\delta Z = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial \dot{\pi}} = 0. \quad (6)$$

The moving parts of the mobile robot are the platform and wheels, which, relative to the plane of their location, make flat movements. The following designations are accepted:  $m_1$  – суммарная масса платформы,  $J_1$  – the moment of inertia of the robot about the vertical axis passing through its center of mass  $C_1$ ,  $a = AC_1$  – distance from point A to the center of gravity of the robot  $C_1$ ,  $m_k$  – total weight of the driving wheel,  $J_y$  – moment of inertia of the wheel about the horizontal axis.

Then functional (5) for the considered mobile robot can be written in the form

$$Z = \frac{1}{2} \left[ m_1 \left( \dot{V} - \frac{F}{m_1} \right)^2 + (J_1 + m_1 a^2) \left( \ddot{\psi} - \frac{M_R}{J_1 + m_1 a^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left( \ddot{\phi}_1 - \frac{M_{fr1} - M_{d1}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left( \ddot{\phi}_2 - \frac{M_{fr2} - M_{d2}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 \right], \quad (7)$$

where  $M_{fr1}, M_{fr2}$  – moments of rolling friction on the driving wheels;  $M_{d1}, M_{d2}$  – driving moments;  $F$  – projection of the main force on the direction of velocity  $V$ , brought to point A platform,  $M_R$  – main moment of forces acting on the platform.

In equation (7) from system (4), we substitute the last two equations, which are presented in the form

$$\begin{aligned} \ddot{\phi}_1 &= b_1 \dot{V} + b_2 \dot{\Omega}, \\ \ddot{\phi}_2 &= b_1 \dot{V} - b_2 \dot{\Omega}, \end{aligned} \quad (8)$$

where  $b_1 = 1/r, b_2 = l/r$ .

Then

$$Z = \frac{1}{2} m_1 \left( \dot{V} - \frac{F}{m_1} \right)^2 + (J_1 + m_1 a^2) \left( \dot{\Omega} - \frac{M_R}{J_1 + m_1 a^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left( b_1 \dot{V} + b_2 \dot{\Omega} - \frac{M_{fr1} - M_{d1}}{J_y + m_k r^2} \right)^2 + (J_y + m_k r^2) \left( b_1 \dot{V} - b_2 \dot{\Omega} - \frac{M_{fr2} - M_{d2}}{J_y + m_k r^2} \right)^2, \quad (9)$$

From conditions (6) one can obtain four equations. The first condition satisfies the equation

$$\delta Z = B_1(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) \delta \ddot{\pi}_1 + B_2(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) \delta \ddot{\pi}_2 = 0. \quad (10)$$

Note that synchronous variation takes place here, in which only the acceleration remains  $\bar{v}_{i1} = \bar{v}_{i2}, \bar{w}_{i1} \neq \bar{w}_{i2}$ , which is called Gaussian variation:

$$\delta \bar{r}_i = \frac{1}{2} \delta \bar{w}_i (\Delta t)^2, \quad (11)$$



where  $\Delta t$  - short time,  $\delta \vec{r}_i$  - displacement vector variation,  $\delta \vec{w}_i$  - acceleration vector variation.

Taking into account the independence of pseudoaccelerations  $\ddot{\pi}_1 = \dot{V}_{H1} \delta \ddot{\pi}_2 = \dot{\Omega}$  to fulfill equation (10), it is necessary that

$$B_1(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) = 0, B_2(\ddot{\pi}_1, \ddot{\pi}_2) = 0. \quad (12)$$

Equation (12) is used to determine the driving forces  $M_{d1}, M_{d2}$ .

The equations of motion of the mobile robot will be obtained from the equations

$$\frac{\partial Z}{\partial \ddot{\pi}_1} = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial \ddot{\pi}_2} = 0 \quad (13)$$

Let us assume that DC motors are installed on the driving wheels [13,17]. Then, based on equations (12) and (13), we obtain the equations of the dynamics of a mobile robot in the following form:

$$\begin{cases} m\dot{V} = \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) - \mu_n V + \frac{1}{r}(M_{fr1} + M_{fr2}) + m_1 a \Omega^2 \\ J\dot{\Omega} = \frac{nc l}{r}(i_1 - i_2) - \mu_b \Omega + \frac{1}{r}(M_{fr1} - M_{fr2}) - m_1 a V \Omega \\ L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1 \\ L \frac{di_2}{dt} + R i_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2 \end{cases} \quad (14)$$

where  $L$  - inductance;  $i_1, i_2$  - currents in the armature circuits;  $R$  - armature circuit resistance;  $U_1, U_2$  - circuit voltage (control parameters);  $n$  - gear ratio.

The coefficient of electromechanical interaction with is determined as follows:

$$c = \frac{(M_1 - M_2)U_H}{\dot{y}_H M_1}, \quad (15)$$

where  $M_1$  - motor starting torque;  $M_2$  - rated motor torque;  $\dot{y}_H, U_H$  - respectively, the rated angular velocity and the rated voltage of the electric motor.

Values  $M_{frk}$  ( $k=1,2$ ) from equations (14) we define as follows:

$$M_{frk} = \begin{cases} -\delta N_k \text{sign}(\dot{\varphi}_k), \dot{\varphi}_k \neq 0, \\ -nc i_k, \dot{\varphi}_k = 0, |nc i_k| \leq \delta N_k, \\ -\delta N_k \text{sign}(i_k), \dot{\varphi}_k = 0, |nc i_k| > \delta N_k \end{cases} \quad (16)$$

where  $\delta$  — коэффициент трения качения;  $N_k$  — normal reaction force of the horizontal reference plane acting on  $k$  - driving wheel.

Discussion of results and conclusion. As a result, based on the Gauss principle of least constraints, the equations of dynamics of a four-wheeled mobile robot with two driving wheels are obtained. Equations (14) take into account

the moments of friction force that occur between the wheels and the web, as well as the dynamic characteristics of DC motors. The unevenness of the web when modeling the dynamics of a mobile robot is carried out by adding to the system (14) the following equation

$$m\ddot{z} = -c(z - h) - \alpha(\dot{z} - \dot{h}), \quad (17)$$

where the functions  $h(z)$  of the road roughness and has the form of a function with a random amplitude.

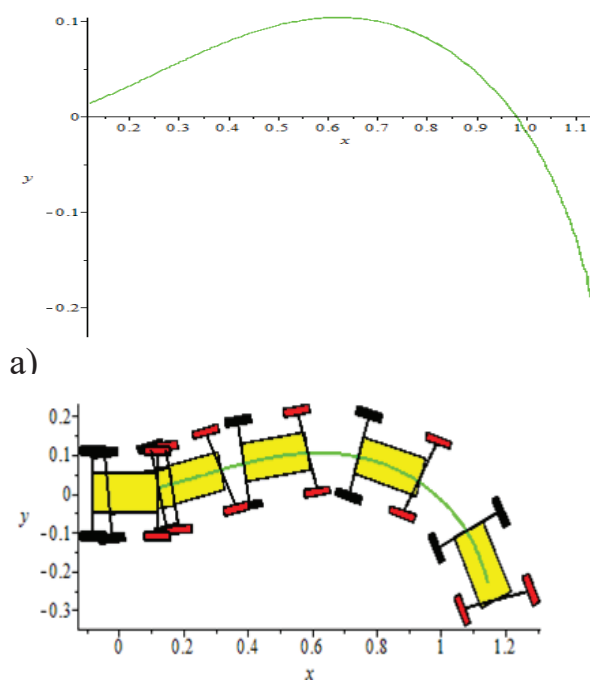


Figure 2 – Graphs of the movement of a mobile robot:  
a) the trajectory of movement;  
b) animation of moving the robot platform

In the Maple analytical computing system, a program was compiled for simulating the movement of a mobile robot based on equations (14) and calculating the transverse vibrations of the robot body when moving along a road with bumps based on equation (17). Figure 2 shows the simulation results. Figure 2a shows the trajectory of the center of gravity of the mobile robot with the speed  $V$  and the angular velocity of rotation  $\Omega$  of the platform relative to this center. The turn can be clearly seen in Figure 2b, which shows the animation of platform movements along the center trajectory. Figure 3 shows a plot

of the speed  $V$  of the platform along the trajectory. The movement speed is controlled by changing the control parameters  $U_1, U_2$ .

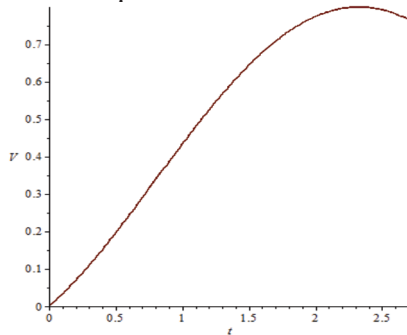


Figure 3 - Graph of the change in the speed  $V$  of the platform along the trajectory

The segments of the piecewise linear characteristic determine the number of segments that are involved in the fitting procedure. The fitting method is an exact method for solving a particular equation.

In the Maple system, a program was compiled for solving the differential equation of a mobile robot, taking into account (17). Let's take the coefficient of road resistance ?

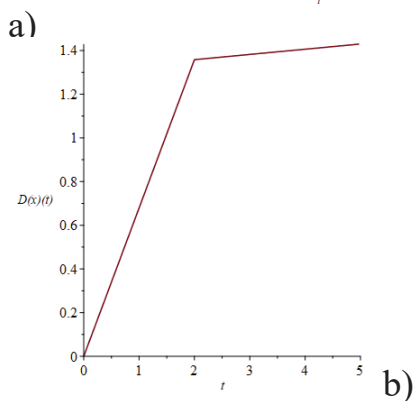
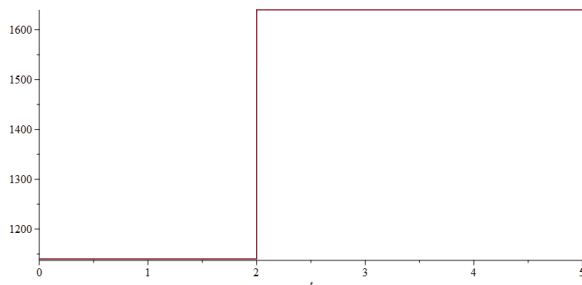


Figure 4 - Simulation of the dynamics of the robot, taking into account the unevenness of the web: a) a graph of the change in the function  $h(z)$ ; b) the graph of the speed during the acceleration of the mobile robot for 5sec and the abrupt change in the load at  $t = 2$  c

Graph 4b shows the acceleration rate of the mobile robot for 5 seconds. As can be seen from the graph, after the mass was added ( $t = 2$  s), the acceleration speed became slow.

In addition, the value of the functional is indirectly related to the reactions in kinematic pairs according to the equality obtained from the Gauss principle

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \frac{R_i^2}{m_i} \quad (18)$$

The condition that the quantity is minimal for actual motion leads to an extreme property of constraint reactions: for actual motion, constraint reactions are minimal.

For example, in order to estimate the main vector of force and the main moment of forces reduced to the center of gravity of the platform, we have:

$$Z = \frac{1}{2} \left[ \frac{R_{12}}{m_1} + \frac{M_{12}}{J_1 + m_1 a^2} \right], \quad (19)$$

where  $R_{12}$  – the reaction of the connection between the platform and the wheels, reduced to a point  $A$ ,  $M_{12}$  – moment of coupling reactions between the platform and wheels, relative to the point  $A$ .

To find  $R_{12}$  и  $M_{12}$  needs to (7) be shaped for (19).

Thus, the Gaussian principle of no less compulsion made it possible to simplify the procedure for deriving the equations of the dynamics of a mobile robot, taking into account the perturbing forces, and to evaluate the reactions between individual moving parts (links) of the robot. The equations of dynamics obtained on the basis of the Gauss principle are correct and make it possible to simulate the motion of the MR taking into account random perturbing forces.

### Literature list

- 1 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 24 and 49. Wheeled Robots. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg, 2016
- 2 P. Corke, J. Roberts, J. Cunningham, and D. Hainsworth, Handbook of Robotics. Berlin, Germany: Springer, 2008, pp. 1127-1150.
- 3 К. Фy, Р. Гонсалес, К. Ли. Робототехника.



Перевод с англ.- М.:Мир, 1989. -624 с., [K. Fu, R. Gonzalez, K. Lee. Robotics. Translation from English - M.: Mir, 1989. -624 p.]

4 Hollerbach J.M. Dynamic Scalling of Manipulator Trajectories, Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control, 106, pp. 102-106, 1984.

5 Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators, Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control, 120, pp. 69-76, 1980.

6 Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators, Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex., pp. 1205-1210, 1983.

7 Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms, Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control, 104, pp. 205-211, 1982.

8 G. Campion, G. Bastin, B. d'Andrea-Novel: Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots, IEEE Trans. Robotics Autom. 12, 47–62 (1996)

9 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 24. Wheeled Robots. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg 2016

10 W. Chung: Nonholonomic Manipulators, Springer Tracts Adv. Robotics, Vol. 13 (Springer, Berlin, Heidelberg 2004)

11 Левитский Н.И. Колебания в механизмах. Уч.пос. –М.: Наука, 1988.-336 с.[ Levitsky N.I. Vibrations in mechanisms. Uch.pos. –M.: Nauka, 1988.-336 p.]

12 Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.). Springer Handbook of Robotics// Chapter 47. Motion Planning and Obstacle Avoidance. 2nd Edition. Verlag Berlin Heidelberg 2016

13 Отчет по НИР по грантовому финансированию (ГФ.2012) на тему: «Исследование динамики, разработка системы управления, проектирование и создание опытного образца мобильного робота» на 2012-2014 годы (№ госрегистрации 0112PK0206). [Report on research on grant financing (GF.2012) on the topic: "Research of dynamics, development of a control system, design and creation of a prototype of a mobile robot" for 2012-2014 (state registration number 0112RK0206).]

14 Bissebayev K., Jomartov A., Tuleshov A., Dikambay T. Analysis of the Oscillating Motion of a Solid Body on Vibrating Bearers // Machines, 2019. – V. 7. - №3. – С. 58. (Scopus: CiteScore percentile Mechanical Engineering = 68; WoS).

15 Tuleshov, A., Ozhikenov, K., Ozhiken A. The Dynamical Processes Adaptive Stabilization in the Robot Electric Drives Control System, ISSN 1996-3947: International Journal of Experimental Education. - Issue 2. - 2013. - pp. 63-65.

16 Tuleshov A., Kassymbek Ozhikenov, R. Utebayev, E. Tuleshov. Modeling the Dynamics of Robot Motor Drive Control System// Applied Mechanics and Materials. -2014. - Volume 467. - pp. 510-515. ISSN: 1662-7482(Scopus: SJR 0.415)

17 Зегжда С.А., Солтаханов Ш.Х., Юшков М.П. Уравнения движения неголономных систем и вариационные принципы механики. - СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2002. - 408 с.[ Zegzhda S.A., Soltakhanov Sh.Kh., Yushkov M.P. Equations of motion of nonholonomic systems and variational principles of mechanics. - St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2002. - 408 p.]

---

### **А.К. Тулешов, А.Ж. Сейдахмет, А.Е. Абдураимов, А.Н. Камал ВЫВОД И АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НАИМЕНЬШЕГО ПРИНУЖДЕНИЯ ГАУССА**

**Аннотация.** В работе вывод уравнений динамики четырехколесного мобильного робота осуществляется с использованием вариационного принципа наименьшего принуждения, известного как принцип Гаусса. Получены уравнения неголономных связей. Составлена функция меры принуждения четырехколесного мобильного робота. Уравнения динамики на основе принципа Гаусса получены с учетом динамической характеристики двух двигателей постоянным током. Предложена методики учета сил трения на колесах и случайных возмущений за счет неровности полотна. На платформе Maple разработан алгоритм и программа моделирования динамики мобильного робота на основе принципа Гаусса и доказана корректность и правильность полученных уравнений движения робота.

**Ключевые слова:** Мобильный колесный робот, принцип Гаусса, уравнения динамики, моделирование движения, возмущающие силы.

**А.К. Тулешов, А.Ж. Сейдахмет, А. Е. Абдураимов, А.Н. Камал ЕҢ АЗ ШЕКТЕУ ГАУСС ПРИНЦИПІ НЕГІЗІНДЕ КЕЗДЕЙСОҚ ҚОЗДЫРҒЫШ КҮШТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ЖЫЛЖЫМАЛЫ РОБОТТАРДЫҢ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ТЕҢДЕУЛЕРІН ШЫҒАРУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ**

**Түіндеме.** Бұл жұмыста төрт доңғалақты жылжымалы роботтың динамикасының теңдеулерін шығару Гаусс принципі деп аталатын ең аз шектеудің вариациялық принципін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Голономдық емес шектеулердің теңдеулері алынды. Төрт доңғалақты мобильді роботтың мәжбүрлеу функциясын құрастырылды. Гаусс принципіне негізделген динамикалық теңдеулер тұрақты токтың екі қозғалтқышының динамикалық сипаттамаларын ескере отырып алынады. Дөңгелектердегі үйкеліс күштерін және кенептің кедір-бұдырлығына байланысты кездейсоқ бұзылуларды есепке алу әдістері ұсынылған. Maple платформасында Гаусс принципі бойынша жылжымалы роботтың динамикасын модельдеу алгоритмі мен бағдарламасы жасалып, роботтың қозғалыс теңдеулерінің алынған дұрыстық мен дұрыстығы дәлелденді.

**Түйінді сөздер:** Қозғалмалы доңғалақты робот, Гаусс принципі, динамика теңдеулері, қозғалысты модельдеу, кедергі күштері.

---

**Сведения об авторах**

**Тулешов Амандық Куатович**, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН РК.

e-mail: aman\_58@mail.ru:

**Сейдахмет Аскар Жунусович**, канд.техн.наук, доцент.

e-mail: seydakhmet@mail.ru:

**Абдураимов Азизбек Ералиевич**, магистр естественных наук.

e-mail: zizo\_waterpolo@mail.ru:

**Камал Азиз Нутпулла-оглы**, магистр естественных наук.

e-mail: kan77705@gmail.com:

## ОПТИМАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ БЕЗБАЛАНСИРНОГО ПРИВОДА ШТАНГОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ШЕСТИЗВЕННОГО ПРЯМОЛИНЕЙНО-НАПРАВЛЯЮЩЕГО ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА III КЛАССА.

*Рахматулина А.Б.<sup>1,3</sup>, Ибраев С.М.<sup>1</sup>, Иманбаева Н.С.<sup>1,2</sup>,  
Сакенова А.М.<sup>1</sup>, Мажен А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт механики и машиноведения им. акад. У. А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Сатпаев, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан

**Аннотация.** В работе разработана оптимальная конструкции привода штанговых насосных установок (ПШНУ) на основе прямолинейно-направляющих преобразующих механизмов с использованием современных методов расчета механических систем, поиска оптимальных решений в задачах со многими критериями, и отвечающая современным требованиям.

Механизм привода станка качалки, содержащий основание, кривошипно-шатунную пару соединенный к основному шарнирно четырехзвенному механизму, опору балансира, двуплечий балансир с передним плечом и задним плечом, отличающийся тем, что имеет шатун состоящей из двух треугольных контуров, которая шарнирно-соединена с задним плечом двуплечего балансира и с коромыслом, а передний треугольный контур, который служит передним плечом шатуна соединен с точкой подвеса колонный штанг, причем противовес закреплен на переднем плече двуплечего коромысла.

Технический результат достигается тем, что на основной четырехзвенный механизм присоединяется двухповодковая группа, образуя механизм III класса. Присоединенная двухповодковая группа является ведущим кривошипом, связанное с стойкой и шатуном.

Целью изобретения является разработка оптимальной конструкции безбалансирного привода штанговых насосных установок на основе шестизвенного прямолинейно-направляющего преобразующего механизма III класса. Основная идея заключается в разработке новой малогабаритной конструкции СК на основе безбалансирного привода малой металлоёмкостью.

**Ключевые слова:** механизм, двухповодковая группа, кривошип, шатун, безбалансирный привод, оптимальная конструкция.

### Введение.

В качестве привода для штанговых насосов традиционно используются балансирные станки качалки, имеющие простую изученную схему, и по сравнению с другими приводами экономичную, ремонтно-пригодную конструкцию [1, 2, 3-7, 8, 9,10].

В работах [11, 12] созданы методика, алгоритмы и пакет прикладных программ для кинематического и кинетостатического расчёта и оптимального уравнивания преобразующих механизмов ШНУ с двухплечим балансиром и роторным уравниванием.

Методика и программы использовалась для расчёта станков-качалок ПШН6-2,5-3500 и ПШН 8-3-4500 с максимальными нагрузками в устьевом сальнике 6т и 8т.

Альтернативной возможностью является использование прямолинейно-направляющих механизмов в качестве преобразующего механизма. Так, преимущество СК «с плавающим балансиром» были подтверждены опытом разработки и эксплуатации типа 2СКМ7, созданного на базе станка-качалки СКН70-3012 [2, 11]. В качестве преобразующего механизма здесь использовано лемнискатное

прямо Эванса. Другой пример использования прямолинейно-направляющих механизмов - недавняя разработка «Миннесота» [13], в котором возвратно-поступательное движение подвеса штанги обеспечивается механизмом Робертса. Целью разработки является первоначально устранение массивной и сложной головки («horse head») в типовых установках [6]. Больше того, габаритные размеры в обоих случаях оказались почти в два раза меньше по сравнению с прототипами. Существуют и другие разновидности прямолинейно-направляющих механизмов, которые могли бы быть также эффективно использованы [11, 12, 13, 14, 15]. Но систематическое исследование их применительно к рассматриваемой задаче никогда не проводилось.

В работе [16] изложены общие основы структурного анализа механизмов, особенности кинематического анализа с использованием переменных Лагранжа и динамического анализа на основе энергетической модели механики с выполнением закона сохранения энергии на любых элементах и для механизма в целом для любого интервала времени.

Здесь подробно описаны методики кинематического анализа и синтеза сложных эпициклических зубчатых механизмов, метрического синтеза по заданным условиям рычажных механизмов, их кинематического, силового расчетов и уравнивания [17].

В исследовании [18] рассматриваются пути увеличения ресурса деталей нажимных механизмов. Механизм уравнивания верхнего валка существенно влияет на точность прокатки и условия эксплуатации нажимного устройства.

На основе этих исследований будем решать задачу оптимального динамического уравнивания шестизвенного преобразующего механизма штанговых насосных установок аналитический.

Цель работы является разработка оптимальной конструкции привода штанговых насосных установок (ПШНУ) на основе прямолинейно-направляющих преобразующих механизмов; разработка универсальной программы для оптимального проектирования конструкций станка-качалки (СК) с использо-

ванием современных методов расчета механических систем, поиска оптимальных решений в задачах со многими критериями, и отвечающая современным требованиям.

### Методы исследований

Преобразующий механизм станка качалки, представленный на рисунке 1 представляет собой механизм III класса, который состоит из кривошипа - GF, группы Ассура III класса, состоящий из звеньев (2,3,4,5). Рабочей точкой является точка подвеса колонны штанг точка К.

Целью кинематического анализа является определение траекторий точки К подвеса колонны штанг при равномерно вращении кривошипа GF, а так же в определений скоростей и ускорения этой точки. Считается, что задан закон изменения углового положения кривошипа 1 по закону  $\varphi = \varphi_0 + \omega t$ , где **угловая** скорость вращения кривошипа. Для анализа положений считается заданным N конечно удаленных угловых положений кривошипа  $\varphi_i$  задаваемого по формуле

$$\varphi_i = 2\pi \frac{i-1}{N-1}, \quad i = 1, \dots, \quad (1)$$

При этих законах изменения угловых положений кривошипа необходимо определить ее угловые положения всех звеньев. Рассмотрим векторный контур OCG (Рисунок 1). Составим уравнение замкнутости векторного контура OCG

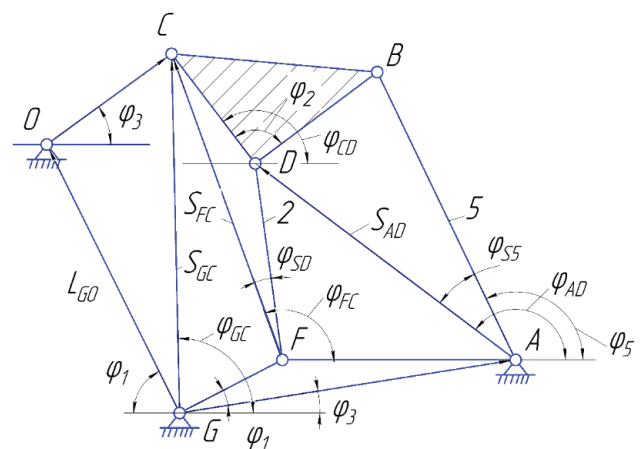


Рисунок 1 – Кинематический анализ шестизвенного шарнирно-рычажного преобразующего механизма

Составим уравнение замкнутости векторного контура OCG

$$l_{GO} + l_3 = s_{GC} \quad (2)$$

Проектируем векторы уравнения (2) на оси координат и имеем

$$-l_{GO} \cos(\pi - \gamma_1) + l_3 \cos \varphi_3 = -s_{GC} \cos(\pi - \varphi_{GC}) \quad (3)$$

$$l_{GO} \sin(\pi - \gamma_1) + l_3 \sin \varphi_3 = s_{GC} \sin(\pi - \varphi_{GC}) \quad (4)$$

Учитывая  $\cos(\pi - \varphi_s) = -\cos \varphi_s$  и  $\sin(\pi - \varphi_s) = \sin \varphi_s$  из уравнений (3) и (4) получаем

$$\begin{cases} -l_{GO} \cdot \cos \gamma_1 + l_3 \cos \varphi_3 = s_{GS} \cos \varphi_{GS} \\ l_{GO} \cdot \sin \gamma_1 + l_3 \sin \varphi_3 = s_{GS} \sin \varphi_{GS} \end{cases}, \quad (5)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \varphi_{GC} = \frac{l_{GO} \cdot \sin \gamma_1 + l_3 \sin \varphi_3}{-l_{GO} \cdot \cos \gamma_1 + l_3 \cos \varphi_3} \quad (6)$$

Четверть тригонометрического круга, в которой расположен угол  $\varphi_{GS}$  полностью определится знаком числителя и знаменателя выражения (6). Далее из уравнения (3) определим модуль вектора  $\overline{s_{GC}}$ .

$$s_{GC} = \frac{-l_{GO} \cdot \cos \gamma_1 + l_3 \cos \varphi_3}{\cos \varphi_{GC}}, \quad (7)$$

где углы постоянные  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 = const$

Далее рассматриваем треугольник GCF (Рисунок 1).

$$\overline{l_1} + \overline{s_{FC}} = \overline{s_{GC}}. \quad (8)$$

Проецируя уравнение (8) на координатные оси, получим следующие уравнения:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos \varphi_1 - s_{FC} \cos(\pi - \varphi_{FC}) = -s_{GC} \cos(\pi - \varphi_{GC}) \\ l_1 \cdot \sin \varphi_1 - s_{FC} \sin(\pi - \varphi_{FC}) = -s_{GC} \sin(\pi - \varphi_{GC}) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos \varphi_1 + s_{FC} \cos \varphi_{FC} = s_{GC} \cos \varphi_{GC} \\ l_1 \cdot \sin \varphi_1 + s_{FC} \sin \varphi_{FC} = s_{GC} \sin \varphi_{GC} \end{cases} \quad (10)$$

Из уравнений (9) и (10) определяем угол

$$\varphi_{FC} = \arctan\left(\frac{s_{GC} \cdot \sin \varphi_{GC} - l_1 \sin \varphi_1}{s_{GC} \cdot \cos \varphi_{GC} - l_1 \cos \varphi_1}\right) \quad (11),$$

так же

$$s_{FC} = \frac{s_{GC} \cdot \cos \varphi_{GC} - l_1 \cos \varphi_1}{\cos \varphi_{FC}} \quad (12)$$

Далее рассмотрим треугольник  $\Delta FCD$  и из теоремы косинусов получим уравнение для определения угла  $\varphi_{S2}$

$$l_{OD}^2 = s_{FC}^2 + l_2^2 - 2s_{FC} \cdot l_2 \cdot \cos \varphi_{S2} \quad (13)$$

откуда

$$\cos \varphi_{S2} = \frac{s_{FC}^2 + l_2^2 - l_{CD}^2}{2s_{FC} \cdot l_2} \quad (14)$$

тогда

$$\varphi_2 = \varphi_{FC} - \varphi_{S2} \quad (15)$$

Составляем векторное уравнение замкнутости контура FCD

$$\overline{s_{FC}} + \overline{l_{CD}} = \overline{l_2} \quad (16)$$

Проекция векторного уравнения (16) представляется в следующем виде

$$\begin{cases} -s_{FC} \cdot \cos(\pi - \varphi_{FC}) - l_{CD} \cos(\pi - \varphi_{CD}) = -l_2 \cos(\pi - \varphi_2) \\ s_{FC} \cdot \sin(\pi - \varphi_{FC}) - l_{CD} \sin(\pi - \varphi_{CD}) = l_2 \sin(\pi - \varphi_2) \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} s_{FC} \cdot \cos \varphi_{FC} - l_{CD} \cos \varphi_{CD} = l_2 \cos \varphi_2 \\ s_{FC} \cdot \sin \varphi_{FC} - l_{CD} \sin \varphi_{CD} = l_2 \sin \varphi_2 \end{cases} \quad (18)$$

Откуда определим угол



$$\varphi_{CD} = \arctan\left(\frac{S_{FC} \sin \varphi_{FC} - l_2 \sin \varphi_2}{S_{FC} \cos \varphi_{FC} - l_2 \cos \varphi_2}\right) \quad (19)$$

тогда изменение угла звена BD

$$\varphi_{BD} = \varphi_{CD} - \gamma_2 \quad (20)$$

Теперь векторное уравнение замкнутости контура GFDA имеет вид

$$\overline{l_{GA}} + \overline{l_1} + \overline{l_2} = \overline{S_{AD}} \quad (20)$$

Для получения выражения определения угла  $\varphi_{AD}$  проецируем векторное уравнение (20) на декартовы координатные оси

$$\begin{cases} -l_{GA} \cdot \cos \gamma_3 + l_1 \cdot \cos \varphi_1 - l_2 \cos(\pi - \varphi_2) = -s_{AD} \cos(\pi - \varphi_{AD}) \\ -l_{GA} \cdot \sin \gamma_3 + l_1 \cdot \sin \varphi_1 + l_2 \sin(\pi - \varphi_2) = s_{AD} \cos(\pi - \varphi_{AD}) \end{cases} \quad (21)$$

Учитывая  $\cos(\pi - \varphi) = -\cos \varphi$  и  $\sin(\pi - \varphi) = \sin \varphi$  из уравнений (21) получаем

$$\begin{cases} l_{GA} \cdot \cos \gamma_3 + l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = s_{AD} \cos \varphi_{AD} \\ -l_{GA} \cdot \sin \gamma_3 + l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = s_{AD} \cos \varphi_{AD} \end{cases} \quad (22)$$

Тогда тангенс угла  $\varphi_{AD}$

$$\operatorname{tg} \varphi_{AD} = \frac{-l_{GA} \cdot \sin \gamma_3 + l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2}{-l_{GA} \cdot \cos \gamma_3 + l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2} \quad (23)$$

Далее из уравнения (22) определим модуль вектора  $S_{AD}$ .

$$S_{AD} = \frac{l_{GA} \cdot \cos \gamma_3 + l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2}{\cos \varphi_{AD}} \quad (24)$$

Применяя теорему косинусов к треугольнику  $\Delta ADB$  получим следующее уравнение для определения угла  $\varphi_{S5}$

$$l_{DB}^2 = S_{AD}^2 + l_5^2 - 2S_{AD} \cdot l_5 \cdot \cos \varphi_{S2} \quad (25)$$

Тогда

$$\varphi_{S5} = \arccos\left(\frac{S_{AD}^2 + l_5^2 - l_{DB}^2}{S_{AD} \cdot l_5}\right) \quad (26)$$

Закон изменения угла 5-го звена имеет следующий вид

$$\varphi_5 = \varphi_{AD} - \varphi_{S5} \quad (27)$$

### Основные результаты

После определения угловых положений звеньев преобразующего механизма станка качалки можем определить абсолютные координаты всех точек всех звеньев.

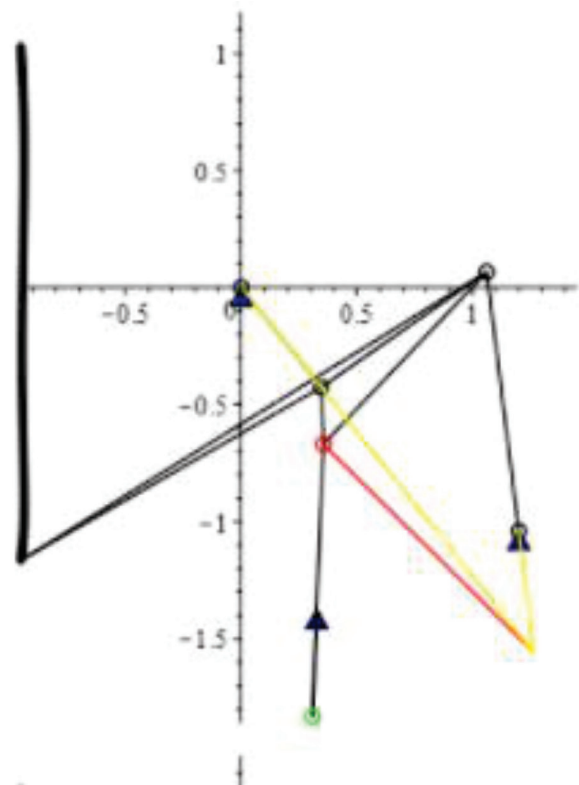


Рисунок 2 - Преобразующего механизма привода ШНУ

Используя найденные абсолютные координаты всех шарниров и рабочей точки К, можно построить анимацию движения преобразующего механизма привода ШНУ (Рисунок 2).

Используя принцип возможных перемещений для достоверности



определяем уравнивающий момент и проводим сравнительный анализ. Для оптимального проектирования проводим многокритериальный динамический синтез и получаем таблицу испытаний.

Таблица 1 – Варьируемые параметры

Варьируемые параметры		
	мин.	макс.
X_G	0,3	0,7
Y_G	-1,4	-1
x_E_loc	0,6	1
y_E_loc	-0,1	0,3

Таблица 2 – Механизм с лучшим углом передачи

i_LPT	t1	t2	t3	t4	X_G	Y_G	x_E_loc	y_E_loc
136	0,06641	0,05859	0,99609	0,76172	0,32656	-1,3766	0,99844	0,20469

При многокритериальном синтезе рассматриваемого механизма будем считать заданными следующие данные:

$l_{AB} = 1.115$ ,  $l_{BD} = 2.36$ ,  $l_{OC} = 0.54$  м,  $l_{BC} = 0.86$ ,  $X_{D1} = 2.36$ ,  $Y_{D1} = 0.13$ ,  $l_{CD} = 1.5$  м. Задаем также координаты крепления шарниров к стойке:

$X_G = 0$ ,  $Y_G = 0$ ,  $X_A = 1.2$  м,  $Y_A = -1.0$ . Здесь варьируемые параметры:

$X_G$ ,  $Y_G$ ,  $X_E^{loc}$ ,  $Y_E^{loc}$  (Таблица 1). Необходимо найти значения, соответствующий наилучшему углу передачи механизма. Используя метод ЛП-поиска, найден механизм с лучшим углом передачи (Таблица 2).

**Оптимальная конструкция механизма станка качалки**

Механизм привода станка качалки, содержащий основание, кривошипно-шатунную пару соединенный к основному шарнирно четырехзвенному механизму, опору балансира, двулучий балансир с передним плечом и задним плечом, отличающийся тем, что имеет шатун состоящей из двух треугольных контуров, которая шарнирно-соединена с задним плечом двулучевого балансира и с коромыс-

лом, а передний треугольный контур, который служит передним плечом шатуна соединен с точкой подвеса колонный штанг, причем противовес закреплен на переднем плече двулучевого коромысла.

Целью изобретения является разработка оптимальной конструкции безбалансирного привода штанговых насосных установок на основе шестизвенного прямолинейно-направляющего преобразующего механизма III класса

Технический результат достигается тем, что на основной четырехзвенный механизм присоединяется двухповодковая группа, образуя механизм III класса. Присоединенная двухповодковая группа является ведущим кривошипом, связанное с стойкой и шатуном.

На рисунке 3 показана кинематическая схема механизма привода штанговых насосных установок на основе шестизвенного прямолинейно-направляющего преобразующего механизма III класса.

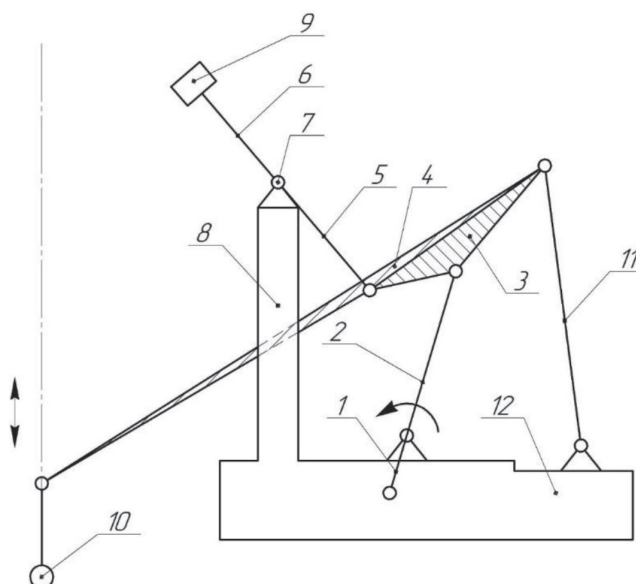


Рисунок 3 - Кинематическая схема механизма привода штанговых насосных установок в нижнем положении

Размеры:  $L_{AB} = 1115$  мм,  $L_{BD} = 2360.35$  мм,  $L_{BE} = 1019.205$  мм,  $L_{BC} = 868.28$  мм,

$L_{CD}=1494.10$  мм,  $L_{BC}=868.28$  мм,  $L_{OC}=548.95$  мм,  $L_{CE}=533.729$  мм,  $L_{EF}=1163.4655$  мм,  $L_{FG}=454.879$  мм.

Механизм привода СК содержит кривошип 1 (Рисунок 8), шатун 2 шарнирно-соединенный с одной стороны к кривошипу 1, а другой стороны к шатуну, который состоит из двух треугольных контуров 3 и 4. Балансир 6 на заднем плече 5 соединен с шатуном 3, средним шарниром 7 соединен к опоре 8, а на переднем плече балансира-6 закреплен противовес 9. Шатун 3 соединен к коромыслу 11, а на переднем плече 4 шатуна 3 закреплена головка 10. Коромысло 11 и кривошип 1– шарнирно соединены со стойкой 12.

Механизм привода СК работает следующим образом. Крутящий момент передается от редуктора (на схеме не показано) к оси кривошипа 1. Вращение кривошипа 1 посред-

ством шатуна 2 передается на шатун 3, а также к заднему плечу 5 двухплечевого балансира 6, при шатун 3 воздействует на коромысло 11, что заставляет совершать заднее 5 и переднее плечо двухплечевого балансира 6, коромысла 11 совершает возвратно-качательное движение по дугам а головка 10 за которую крепятся колонна штанг, находящаяся на переднем плече 4 шатуна 3 совершает прямолинейное возвратно-поступательное движение.

#### Разработка ПКД и экспериментального образца

Для изготовления экспериментального образца конструкции шестизвенного прямолинейно-направляющего преобразующего механизма привода штанговых насосных установок, в рамках работы была спроектирована геометрическая модель всех конструктивных составных частей механизма в Kompas 3D (рисунок 4).

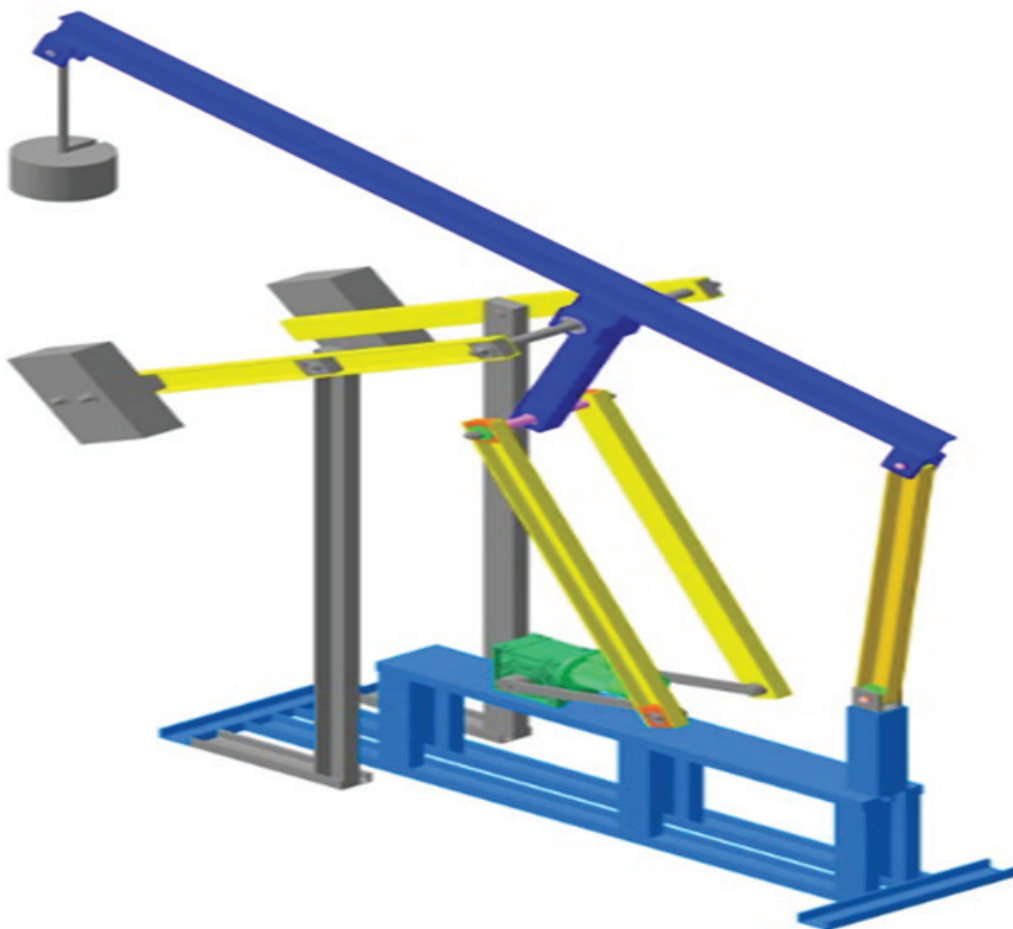


Рисунок 4 – 3Д схема механизма привода штанговых насосных установок в верхнем положении



**Рисунок 5** – Экспериментальный образец шестизвенного прямолинейно-направляющего преобразующего механизма привода

Экспериментальный образец преобразующего механизма привода штанговых насосных установок представлена на рисунке 5.

Проведён синтез преобразующего механизма, разработан ПКД макета и изготовлен экспериментальный образец установки, который полностью подтвердил работоспособность преобразующего механизма.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты проведенных работ показывают, что достигнута поставленная цель исследования. Поскольку детальный кинестатический анализ подтверждает возможность использования, исследованного шестизвенного прямолинейного направляющего механизма в качестве преобразующего механизма привода штанговых насосных установок.

Проведен кинестатический анализ и разработана математическая модель кинестатического анализа шестизвенного преобразующего механизма в среде Maple с целью проверки работоспособности новой конструкции.

Полученные различными способами численные результаты, подтверждают, что результаты достоверные.

Проведён синтез преобразующего механизма, разработан ПКД макета и изготовлен экспериментальный образец, который полностью подтвердил работоспособность преобразующего механизма.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP08052127).

**Список литературы**

- 1 Wang, D., Liu H.. Dynamic Modeling and Analysis of Sucker Rod Pumping System in a Directional Well // Mechanism and Machine Science of ASIAN MMS, 2016. – P. 1115-1127
- 2 Reges GD, Schnitman L, Reis R et al. A new approach to diagnosis of sucker rod pump systems by analyzing segments of downhole dynamometer cards.// In: SPE artificial lift conference – Latin America and Caribbean: Society of Petroleum Engineers, Salvador, 2015. – P. 1–13.
- 3 Chen, G.S., Liu, X. Friction Dynamics of Oil-Well Drill Strings and Sucker Rods. – Friction Dynamics, 2016. – P 211-246
- 4 Мезрина Н.М. Алгоритм расчета экономических нормативов для планирования технического обслуживания и ремонта оборудования и рыночной стоимости оборудования// Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. Т.20. № 1. – 2017. – С. 64 - 69.
- 5 Паспорт программы инновационного развития ПАО НК «Роснефть». М., 2016. – 30 с.
- 6 Niladri Kumar Mitra. Principles of Artificial Lift // Allied Publishers, 2012. – 464 p.
- 7 Tan, Ch., Qu, Y., Yan, X., Bangert, P. Predicting the Dynamometer Card of a Rod Pump //Algorithmica Technologies, 2018. – P.1-8
- 8 Guo, B., Liu, X., Tan, X. Petroleum Production Engineering // Houston: Gulf Professional Publishing, 2017. –780 p.
- 9 Ибраев С.М. Динамический синтез и оптимизация привода рычажных механизмов. – Алматы, 2014. – 303 с.
- 10 RU № 2018130381 F 04 B 47/02, 21.05.2019
- 11 Hand A. Cost Cutting's Effect on Oil and Gas Safety // Automation World Journal. – 2018. – P. 52-57.
- 12 KZ 31911 МПК F04B47/02, 15.03.17
- 13 S. Ibrayev, N. Imanbaeva, A. Nurmaganbetova, A. Zhauyt. Computerized modeling of kinematics and kineto-statics of sucker-rod pump power units. // 16th International Scientific Conference: Engineering for Rural Development . – 2017. – P.904-907
- 14 Иманбаева Н.С., Рахматуллина А.Б., Исаметова М.Е., Нурмаганбетова А.Т. Штангалы піспекті қондырғының (ШПҚ) түрлендіруші механизмiнiң, қарсы салмақтың орнын анықтай отырып, теңгерілу режимдерін зеттеу. Вестник КазННТУ №1, 2017. – С. 328-332
- 15 Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В., Рабинович А.М, и др. Расчёт и конструирование нефтепромыслового оборудования. –М.: Недра, 1987. –422 с.
16. Алюшин Ю. Структурный, кинематический и динамический анализ рычажных механизмов. – Издательский дом МИСиС, 2015. –104 с.
17. Рязанцева И.Л. Прикладная механика схемный анализ и синтез механизмов и машин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. –184 с.
18. Артюх В.Г., Мельников Б.Е., Чернышева Н.В., Чигарева И.Н., Мазур В.О. Исследование механизма уравнивания подвижных частей прокатной клетки //Механика упругого тела. – 2020. – С. 54-66

**А.Б.Рахматулина, С.М. Ибраев, Н.С.Иманбаева, А.М.Сакенова, А.Н.Мәжен. АЛТЫ БУЫНДЫ ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ-БАҒЫТТАУШЫ ІІІ КЛАСТЫ ТҮРЛЕНДІРУ МЕХАНИЗМІ НЕГІЗІНДЕГІ ШТАНГАЛЫҚ СОРҒЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫ ЖЕТЕГІНІҢ ОҒТАЙЛЫ КОНСТРУКЦИЯСЫ.**

**Аңдатпа.** Жұмыста механикалық жүйелерді есептеудің заманауи әдістерін қолдана отырып, көптеген критерийлері бар тапсырмаларда оңтайлы шешімдерді іздеу және заманауи талаптарға жауап беретін Түзу сызықты-бағыттаушы түрлендіргіш механизм негізінде штангалық сорғы қондырғылары жетегінің (ШСҚЖ) оңтайлы құрылымын әзірленді.

Негізгі топсалы төрт буынды механизмге қосылған иінді жұптаң, теңгерім тірегінен, алдыңғы және артқы қолы бар екі иінді теңгергіштен тұратын піспекті қондырғының жетек механизмі, оның байланыстырушы тетігі болуымен сипатталады. екі үшбұрышты контурдан тұратын өзек, ол артқы иінге екі иінді теңестіргішпен және рокерлі ілмекпен біріктірілген және шатунның алдыңғы иіні қызметін атқаратын алдыңғы үшбұрышты контур ілу нүктесіне қосылған. бағанның өзектері, ал қарсы салмақ екі қолды күйінде алдыңғы иініне бекітілген.

Техникалық нәтижеге екі буынды топ негізгі төрт буынды механизмге бекітіліп, ІІІ класты механизмді құрайды. Бекітілген екі жетекті топ тірекке және шатунға қосылған жетекші иінді.

Өнертабыстың мақсаты алты буынды түзу сызықты бағыттаушы ІІІ класты түрлендіру механизмi

негізіндегі сорғыш штангалы сорап қондырғыларының теңгерімсіз жетектерінің оңтайлы конструкциясын әзірлеу болып табылады. Негізгі идея - металл шығыны аз теңгерілмеген жетекке негізделген СК жаңа шағын өлшемді дизайнын жасау.

**Кілт сөздер:** механизм, екі жетекті топ, иінді, шатун, теңгерімсіз жетек, оңтайлы құрылым.

---

**A.B. Rakhmatulina, Sayat Ibrayev, Nurbibi Imanbaeva, A.M. Sakenova, A.N.Mazhen. OPTIMAL DESIGN OF AN UNBALANCED DRIVE OF SUCKER-ROD PUMPING UNITS BASED ON A SIX-LINK RECTILINEARLY GUIDING CLASS III CONVERTING MECHANISM.**

**Abstract.** The paper developed the optimal design of the rod pumping unit (RPU) drive based on rectilinearly guiding converting mechanisms using modern methods for calculating mechanical systems, searching for optimal solutions in tasks with many criteria, and meeting modern requirements.

The drive mechanism of the rocking machine, comprising a base, a crank pair connected to the main articulated four-link mechanism, a balancer support, a two-arm balancer with a front arm and a rear arm, characterized in that it has a connecting rod consisting of two triangular contours, which is pivotally connected to the rear arm a two-arm balancer and with a rocker arm, and the front triangular contour, which serves as the front arm of the connecting rod, is connected to the suspension point of the column rods, and the counterweight is fixed on the front arm of the two-arm rocker.

The technical result is achieved by the fact that a two-link group is attached to the main four-link mechanism, forming a class III mechanism. The attached two-drive group is the leading crank connected to the rack and connecting rod.

The aim of the invention is to develop an optimal design for a balanceless drive of sucker-rod pumping units based on a six-link rectilinearly guiding class III converting mechanism. The main idea is to develop a new small-sized design of the SC based on an unbalanced drive with low metal consumption.

**Key words:** mechanism, two-drive group, crank, connecting rod, unbalanced drive, optimal design.

---

**Сведения об авторах**

**Рахматулина Аяулым Багдатовна**, PhD. e-mail: kazrah@mail.ru

**Ибраев Саят Мұратұлы д.т.н.**, профессор. e-mail: sayat\_m.ibrayev@mail.ru

**Иманбаева Нурбиби Сайрамовна**, к.т.н. ассоц.профессор. e-mail: imanbaevan@mail.ru

**Сакенова Айжан Мураткановна**, докторант. e-mail: sam2810@mail.ru

**Мәжсен Алтынай Нұртілеуқызы**, докторант. e-mail: zolotinka2210@gmail.com



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВЕСНОГО ТРОСОВОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Тулешов А.К.<sup>1</sup>, Джомартов А.А.<sup>1</sup>, Камал А.Н.<sup>1</sup>, Абдураимов А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан

**Аннотация.** В настоящее время, проводятся исследования тросовых параллельных роботов (ТПР). В ТПР тросы могут работать только на растяжение. Данная особенность ограничивает разработку и применение тросовых параллельных роботов и требует дальнейшего развития методов анализа и проектирования. Опыт работы наших преподавателей, показал, что для лучшего понимания студентами особенностей ТПР, необходимы разработка прототипа ТПР. В этой статье проводится анализ и разработка подвешного ТПР с точечной массой, для практического применения в учебном процессе. Разработана конфигурация системы прототипа подвешного точечного ТПР с учетом удобства и наглядности при демонстрации его работы студентам и изготовлен его прототип. Экспериментальные работы студентов на прототипе подвешного точечного ТПР, позволили существенно улучшить учебный процесс и привлечь внимание к изучению курса робототехники в институте.

**Ключевые слова:** тросовый параллельный робот, кинематика, статика, прототип, натяжение, рабочий орган

**Введение.** Тросовый параллельный робот (ТПР) это особый класс параллельного робота, в котором звено рабочего органа поддерживается параллельно  $m$  тросами, которые приводятся в движение  $n$  приводами. Для контроля положения и ориентации рабочего органа ТПР приводятся в движение гибкими тросами, а не жесткими звеньями в отличие от обычных параллельных роботов. ТПР обладают преимуществами параллельных роботов и имеют более высокое соотношение нагрузки и веса. ТПР имеют меньшие инерционные характеристики, что обеспечивает высокую скорость и ускорение рабочего органа. Благодаря гибкости тросов, ТПР имеет самую большую рабочую зону обслуживания среди существующих роботов. Главным недостатком ТПР является то, что тросы могут работать только на растяжение, и теряют свою работоспособность при сжатии.

Одним из первых ТПР был Robocrane (рисунок 1), который был разработан в 1989 году в США, Национальным институтом

стандартов и технологий (NIST) [1,2]. ТПР Robocrane предназначался для обработки грузов в портах, при строительстве мостов и т.д. ТПР Robocrane представляет собой подвешенную на шести тросах платформу Стюарта с шестью. Здесь вместо гидроцилиндров применяются тросы, и сила тяжести является неявным дополнительным приводом.





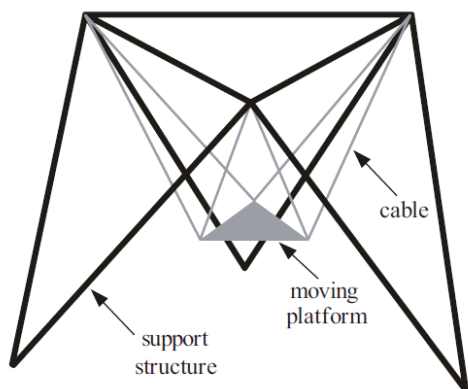


Рисунок 1 – ТПР RoboCrane (NIST)

Типовая ТПР состоит из трех частей, включая неподвижную раму, рабочий орган (РО), который соединяется через  $m$  тросов к неподвижной раме. Длина тросов изменяется лебедками, которые приводятся в действие серводвигателями, установленными на неподвижной раме, как показано на рис. 2 [3, 4].

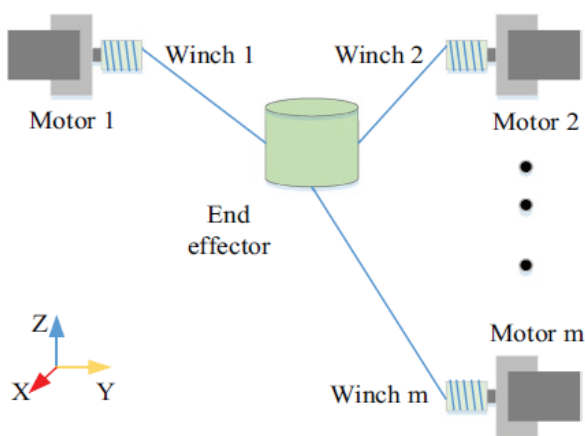


Рисунок 2 – Схема ТПР с  $m$  тросами

ТПР с  $m$ -количеством тросов и  $n$ -степенями свободы DOF, можно классифицировать [5], как не полностью удерживаемый  $m < n + 1$ , полностью закрепленный  $m = n + 1$ , непонтольно закрепленный  $m > n + 1$ . Кроме вышеуказанной классификации ТПР подразделяются на два вида - подвесные и не подвесные, в зависимости от расположения тросов. Если в ТПР все приводные тросы находятся над рабочим органом РО, а

сила тяжести действует как виртуальный трос для поддержания равновесия, то такой ТПР называется подвесным [1, 6-8]. В случае если в ТПР хотя бы один приводной трос находится ниже рабочего органа РО, то такой ТПР называется не подвесным [9,10].

В подвесных ТПР тросы находятся над рабочим органом РО, и полезная нагрузка распределяется между тросами, поэтому данные ТПР имеют большую нагрузочную способность. Особенностью подвесных ТПР является меньшая вероятность того, что тросы столкнутся с другим объектам внешней среды, в следствии того, что все тросы находятся выше РО. Структура подвесных ТПР хорошо подходит для работ по подъему и перемещению различных грузов. Недостатками подвесных ТПР является низкая жесткость в вертикальном направлении. Подвесные ТПР могут выйти из-под контроля при переменных внешних силах, особенно при операции разгрузки.

Особый интерес представляют подвесные ТПР с точечной массой [11,12]. ТПР с точечной массой представляют собой особую группу подвесных ТПР, в которых все тросы прикреплены к одной точке на РО и могут изменять длину, для контроля положения РО. Обычно РО моделируется как сосредоточенная масса, расположенная в точке пересечения тросов. Хотя во многих случаях центр масс РО не расположен в точке пересечения тросов, расстояние этого смещения считается небольшим по сравнению с размерами ТПР. ТПР с точечной массой хорошо подходят для выполнения операций, аналогичных операциям строительных кранов при подъеме и перемещении грузов. Однако ТПР имеет значительно меньшее колебание полезной нагрузки, чем кран, при выполнении той же операции из-за своей параллельной конструкции.

В работе [13] разработан подвесной ТПР с точечной массой для транспортировки и размещения тяжелых предметов на строительных площадках, как показано на рисунке 3.

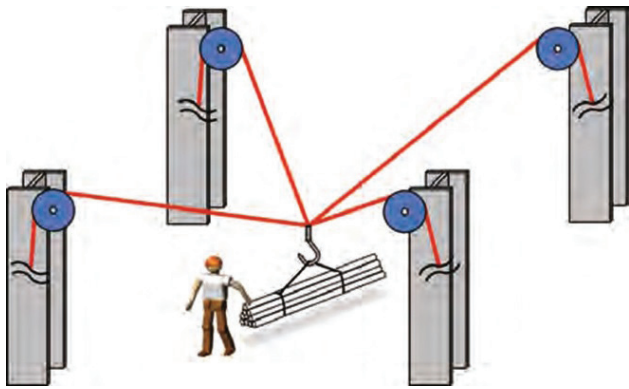


Рисунок 3 – Подвесной ТПР с точечной массой для транспортировки грузов

На рисунке 4 четыре троса соединяются в одной точке рабочего органа РО, и к нему подвешивается объект. Следовательно, положение объекта не ограничено. Рабочая зона находится между четырьмя колоннами. Жесткость ТПР в горизонтальной плоскости выше, чем у мостового крана, что выгодно для точного позиционирования.

В этой статье проводится анализ и проектирование конкретного типа ТПР, а именно подвесного ТПР с точечной массой с практическим применением в учебном процессе. В связи с тем, что ТПР являются относительно новыми роботами, которые принципиально отличаются от классических параллельных роботов с жесткими звеньями, возникли проблемы при проведении учебного процесса. Наши исследования показали, что чтение лекций и показ видео работы существующих ТПР, недостаточен для понимания студентами особенностей структуры, кинематики, статики данного вида роботов. Для улучшения учебного процесса, необходима разработка более простых методов анализа кинематики, статики ТПР. Кроме того необходимо спроектировать и изготовить прототип ТПР с возможностью проведения эксперимен-

тальных исследований студентами.

Методы исследования. Рассмотрим подвесной точечный ТПР с 3 степенями свободы и четырьмя приводными тросами, который показан на рисунке 4. Особенность данной конфигурации ТПР состоит в том, что для поддержания равновесия необходимо учитывать гравитацию. В данной конфигурации подвесного ТПР РО рассматривается как точечная масса, которая обладает только поступательными степенями свободы. Это предположение верно так, как размеры РО намного меньше рабочего пространства ТПР.

Как видно из рисунка 4, подвесной точечный ТПР состоит из металлической рамы в форме прямоугольного параллелепипеда 1, возле основания каждой вертикальной стойки размещены лебедки с серводвигателями 4, предназначенные для намотки (или смотки) тросов 2. Другие концы тросов 2, проходящие через шкивы 5, соединяются со схватом 3. Направление вращения, а также скорость вращения лебедок с серводвигателями 4 задается блоком управления 6. Таким образом, меняя длины тросов 2 путем их намотки (смотки) на барабаны 4 изменяется положение схвата 3 в пространстве рабочей зоны ТПР, которая ограничена рамой 1. В конструкции подвесного точечного ТПР, показанной на рис. 4, схват обладает тремя поступательными степенями свободы.

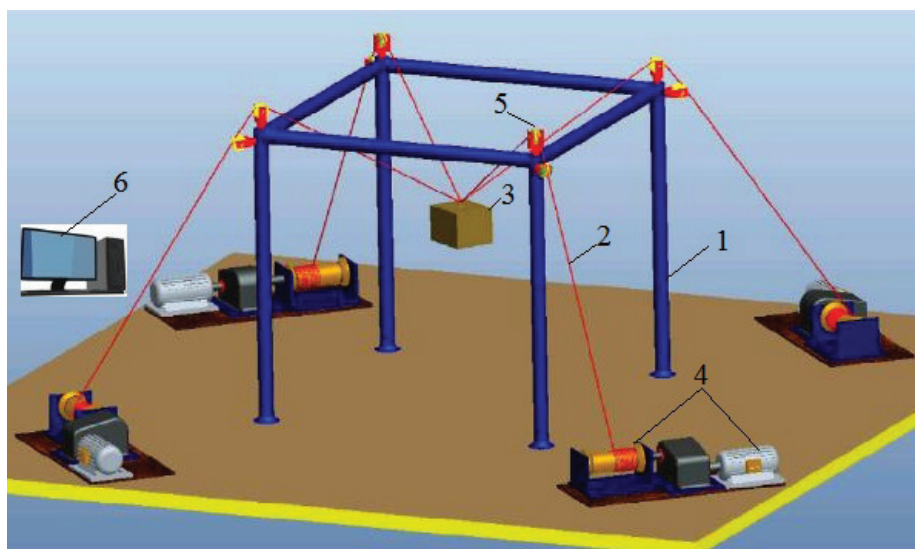


Рисунок 4 – Подвесной точечный ТПР

Кинематическая схема подвешенного точечного ТПР (рисунок 4) показана на рисунке 5. Введены следующие обозначения размеров неподвижной прямоугольной рамы ТПР:  $a$  - ширина,  $b$  - длина,  $h$  - высота. Глобальная система координат  $O(XYZ)$  устанавливается в середине прямоугольного основания рамы ТПР, а РО имеет координаты положения  $P(x, y, z)$ . Расстояние между каждой вершиной  $A, B, C, D$  стоек тросовой опоры и РО составляет  $L_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). Координаты точек вершин опор следующие  $A(-\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, h)$ ,  $B(\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, h)$ ,  $C(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, h)$ ,  $D(-\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, h)$ .

Четыре стойки тросовых опор имеют одинаковую высоту и расположены прямоугольником на земле, если не учитывать деформацию. Для упрощения модели тросы рассматриваются как безмассовое тело без деформации и предполагается, что тросы прямолинейные и натянутые.

На рисунке 5 введены обозначения:  $\mathbf{p}_i$  - векторы положения точек  $A, B, C, D$  прикрепленных к неподвижной раме относительно глобальной системы координат  $O(XYZ)$ ,  $\mathbf{L}_i$  - вектор длины тросов относительно глобальной системы координат  $O(XYZ)$ ,

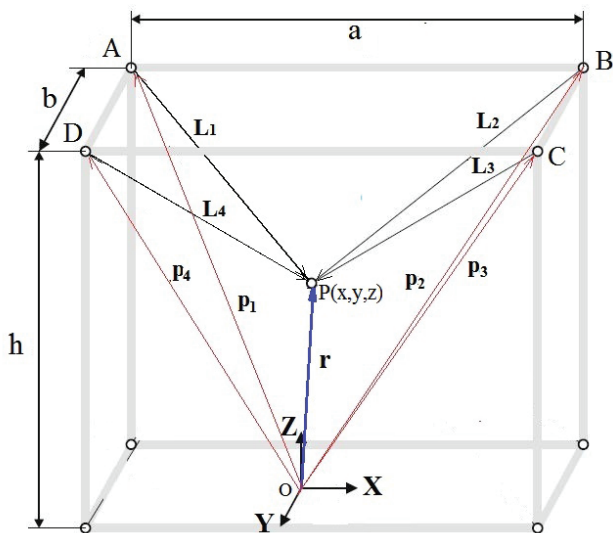


Рисунок 5 – Кинематическая схема подвешенного точечного ТПР

Уравнения для обратной задачи кинематики для указанной кинематической схемы

ТПР представлены как расстояния от точки  $P$  с текущими координатами  $x, y, z$  до вершин четырехугольника  $A, B, C, D$  получим из рисунке 5. Применяя метод замкнутых векторных контуров (рисунок 5) получим следующую систему ограничений

$$\mathbf{p}_i - \mathbf{r} - \mathbf{L}_i = \mathbf{0} \quad i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

где вектор  $\mathbf{r} = [x, y, z]^T \in \mathbb{R}^3$  - декартово положение РО, относительно глобальной системы координат  $O(XYZ)$ . Из (1) можно определить вектор длины тросов  $\mathbf{L}_i$

$$\mathbf{L}_i = \mathbf{p}_i - \mathbf{r}, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (2)$$

Скалярная длина троса определяется по формуле

$$L_i = \|\mathbf{p}_i - \mathbf{r}\|, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (3)$$

Единичный вектор  $\mathbf{u}_i$  вдоль троса имеет вид

$$\mathbf{u}_i = \frac{\mathbf{L}_i}{\|\mathbf{L}_i\|_2} = \frac{L_{xi}L_{yi}L_{zi}}{\sqrt{L_{xi}^2 + L_{yi}^2 + L_{zi}^2}} \quad (4)$$

Единичный вектор  $\mathbf{u}_i$  по соглашению направлен от РО к неподвижному основанию, это значит, что положительные силы направлены в направлении уменьшения значения векторов длины  $\mathbf{L}_i$  т.е. тросы укорачиваются.

Для решения прямой задачи о положении ТПР, из (3) и рисунка 5 получим

$$\begin{cases} L_1^2 = (x + \frac{a}{2})^2 + (y + \frac{b}{2})^2 + (z - h)^2 \\ L_2^2 = (x - \frac{a}{2})^2 + (y + \frac{b}{2})^2 + (z - h)^2 \\ L_3^2 = (x - \frac{a}{2})^2 + (y - \frac{b}{2})^2 + (z - h)^2 \\ L_4^2 = (x + \frac{a}{2})^2 + (y - \frac{b}{2})^2 + (z - h)^2 \end{cases} \quad (5)$$

Далее из системы четырех уравнений (5) нужно выбрать три из них и непосредственно рассчитать положение РО. Давайте выберем

уравнения, относящиеся первому, второму и третьему тросам, тогда из уравнения (5) получим значения координат РО

$$\begin{cases} x = \frac{L_2^2 - L_1^2}{2a} \\ y = \frac{L_3^2 - L_1^2}{2b} \\ z = h \pm \sqrt{L_1^2 - (x - \frac{a}{2})^2 - (y - \frac{a}{2})^2} \end{cases} \quad (6)$$

где  $z$  имеет два решения и в соответствии с особенностями рабочего пространства подвешного точечного ТПР, решение с отрицательным знаком является корректным. Необходимо отметить, что в (5) уравнение определения длины четвертого троса не используется. Координаты положения РО определяются с помощью первых трех уравнений системы (4).

В отличие от обычных последовательных или параллельных роботов, неясно, является ли ТПР статически устойчивым для данной позиции. Для исследования устойчивости различных позиций, в которых РО может быть статически уравновешен тросами, необходимо учитывать механическое равновесие РО. Для уравновешивания силы (рисунок 6) РО необходимо учитывать все силы, действующие на РО. Таким образом, верно [5]

$$\sum_{i=1}^4 \mathbf{T}_i + \mathbf{F}_p = 0 \quad (7)$$

где  $\mathbf{F}_p = [f_x, f_y, f_z]^T \in \mathbb{R}^3$  – приложенные к РО внешние силы,  $f_z = m_e g$ ,  $m_e$  – масса РО,  $\mathbf{T}_i = T_i \cdot \mathbf{u}_i$  – вектор натяжения  $i$ -го троса.

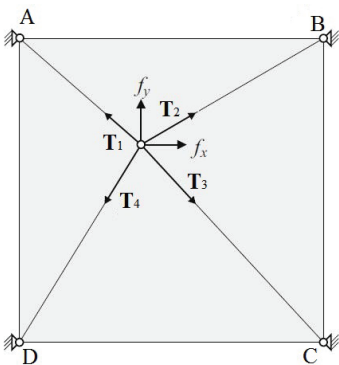


Рисунок 6 - Схема действия сил для ТПР с чисто поступательной схемой движения

Здесь вектор нормали троса  $\mathbf{u}_i$ , направлен от РО к раме ТПР. Из определения  $\mathbf{u}_i$  следует, что положительное натяжение тросов приводит к положительным значениям для  $T_i$ . Отсюда положительные значения сил натяжения тросов вызывают движение, которое уменьшает длину троса  $L_i$ .

Запишем уравнение (7) в матричной форме получаем линейную систему

$$\mathbf{A}^T(\mathbf{r})\mathbf{T} + \mathbf{F}_p = 0, \quad (8)$$

где  $\mathbf{T} = [T_1, T_2, T_3, T_4]^T \in \mathbb{R}^3$ ,  $\mathbf{A}^T$  транспонированная матрица Якоби и называется структурной матрицей [5]. Таким образом, мы рассматриваем чисто силовое равновесие, и матрица структуры принимает вид

$$\mathbf{A}^T = [\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_4] \quad (9)$$

где векторы  $\mathbf{u}_i = [u_{ix}, u_{iy}, u_{iz}]^T \in \mathbb{R}^3$ .

В уравнении (8) количество неизвестных переменных ( $m=4$ ) больше, чем количество уравнений ( $n=3$ ), поэтому существует бесконечное количество решений для натяжения троса вектор  $\mathbf{T}$ , при действии силы  $\mathbf{F}_p$ .

В случае  $m > n$  Накамура [14] показал, что решение по натяжению можно записать, используя псевдообратную матрицу для обращения уравнения (8) и получения известного частного и однородного решения для натяжения троса следующим образом:

$$\mathbf{T} = -\mathbf{A}^{+T}\mathbf{F}_p + (\mathbf{I} - \mathbf{A}^{+T}\mathbf{A}^T)\mathbf{Z} \quad (10)$$

где  $\mathbf{A}^{+T} = \mathbf{A}(\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1} \in \mathbb{R}^{m \times n}$  – псевдообратная матрица к структурной матрице  $\mathbf{A}^T$

$\mathbf{I} \in \mathbb{R}^{m \times n}$  - единичная матрица

$\mathbf{Z} = [z_1, z_2, \dots, z_m]^T$  - произвольный вектор-столбец

В уравнении (10) первый член  $\mathbf{A}^{+T}\mathbf{F}_p$  представляет собой конкретное решение по натяжению при действии силы  $\mathbf{F}_p$ . Вторым членом  $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^{+T}\mathbf{A}^T)\mathbf{Z}$ , который называется однород-



ным решением, представляет собой эффект избыточности, который пресецирует  $\mathbf{Z}$  в нулевое пространство  $\mathbf{A}^T$ .

Для нашего подвешенного точечного ТПР количество тросов  $m = n + 1$ . Отсюда ТПР имеет одну степень резервирования срабатывания, которую можно использовать для поддержания положительного натяжения в каждом тросе [5]. Тогда уравнение (10) для этого случая выглядит в виде:

$$\mathbf{T} = -\mathbf{A}^{+T}\mathbf{F}_p + \lambda\mathbf{N} \quad (11)$$

где однородное решение теперь выражается как вектор ядра структурной матрицы  $\mathbf{A}^T$ ,

$\mathbf{N} = [n_1, n_2, \dots, n_4]^T$  умноженный на произвольный скаляр  $\lambda$ . При использовании этого метода для обеспечения положительного натяжения  $T_i$  на всех тросах для всех возможных действующих сил необходимо и достаточно, чтобы все компоненты вектора ядра  $n_i$  имели один и тот же знак. То есть для данной точки, лежащей в статической рабочей области, все  $n_i > 0$  или все  $n_i < 0$ . Если одно из этих двух условий выполняется, независимо от конкретного решения, скаляр  $\lambda$  может быть найден в уравнении (11). Это гарантирует, что все натяжения тросов  $\mathbf{T}$  будут положительными, путем добавления (или вычитания) достаточно однородного решения. Обратите внимание, что требуется строгое неравенство; если один или несколько  $n_i = 0$ , рассматриваемая конфигурация не находится в статической рабочей области. В этом подходе (подход с нулевым пространством) вектор ядра можно найти с помощью правила Крамера. Следовательно,  $i$ -й нулевой компонент является определителем матрицы, образованной удалением  $i$ -го столбца структурной матрицы  $\mathbf{A}^T$ . Знак противоположен от одного компонента к следующему компоненту. Из выражения  $\mathbf{A}^T$  в уравнении (8) нулевые компоненты могут быть выражены как:

$$n_i = (-1)^i \cdot |u_1, \dots, u_4| \quad (12)$$

После определения вектора ядра нужно проверить, все ли нулевые компоненты имеют одинаковый знак, согласно уравнения

$$\sum_{i=1}^4 |n_i| = |\sum_{i=1}^4 n_i|, \quad n_i \neq 0$$

После проверки это условие, можно найти правильный скаляр  $\lambda$  чтобы сохранить все тросы в натяжении.

Для определения скаляра  $\lambda$  используем метод оценки натяжения тросов ТПР [5]. Для устранения провисания тросов каждый компонент  $\mathbf{T}$  должен быть больше или равен заданному минимальному натяжению  $T_{min}$ . Для получения гарантированного минимального положительного натяжения во всех тросах, необходимо определять  $\lambda$  в каждом цикле управления ТПР.

Натяжение тросов  $\mathbf{T}$  рассчитывается для заданной силы  $\mathbf{F}_p$ , по уравнению:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_{p1} \\ T_{p2} \\ T_{p3} \\ T_{p4} \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix} \geq T_{min} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

где  $T_{pi}$  компоненты конкретного решения по натяжению тросов для заданной силы  $\mathbf{F}_p$ .

Проведем расчет для каждой конкретной составляющей натяжения

$$\lambda_i = \frac{(T_{min} - T_{pi})}{n_i}$$

Скаляр  $\lambda$  определяем, как максимум от  $\lambda_i$   
 $\lambda = \max\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$

Полученное значение  $\lambda$  должно использоваться для всех компонентов в уравнении (11).

**Результаты исследования.** Для сборки прототипа подвешенного точечного ТПР была разработана конфигурация его системы с учетом удобства и наглядности при демонстрации его работы студентам. По разработанной конфигурации системы подвешенного точечного ТПР, был изготовлен его прототип (рисунок 7). Прототип ТПР имеет следующие исходные данные: размеры  $a = 1485$  мм,  $b = 1230$  мм, и  $h = 1565$  мм. Масса рабочего органа  $m=1,0$  кг. Тросы марки Dунема, LIROS D-Pro 01505-0200, диаметр 2 мм площадь сечения  $A = 3,14$  мм<sup>2</sup>, масса единицы длины  $\rho = 0,18 \cdot 10^{-2}$  кг/м, Радиусы шкивов барабанов лебедок  $R=40$  мм. Привод тросов ТПР состоит из четырех лебе-

док с барабанами, закрепленными на валу с двумя подшипниками на обоих концах. Лебедки соединены через муфту с четырьмя гибридными шаговыми двигателями Nema34 - 86HB250-156 В с драйверами HBS86H. Драйвера HBS86H соединены с контроллером гибридных шаговых двигателей Mach 3. Контроллер поддерживает 4-осевое управление. С помощью контроллера Mach 3 управление ТПР осуществляется компьютером через порт USB. Напряжения в тросах ТПР определяются при помощи четырех тензодатчиков.

тросов с тензометрических датчиков, через АЦП отправляется в контроллер Mach 3, который связан с компьютером через порт USB. В компьютере задается значение минимальных натяжений в тросах подвешенного точечного ТПР, которое будет поддерживаться, с учетом полученных данных с тензодатчиков, во время его работы. Датчики силы подключены к измерительной тензометрической системе ZET 058 [15], которая совместно с программным обеспечением ZETLAB TENZO позволяет

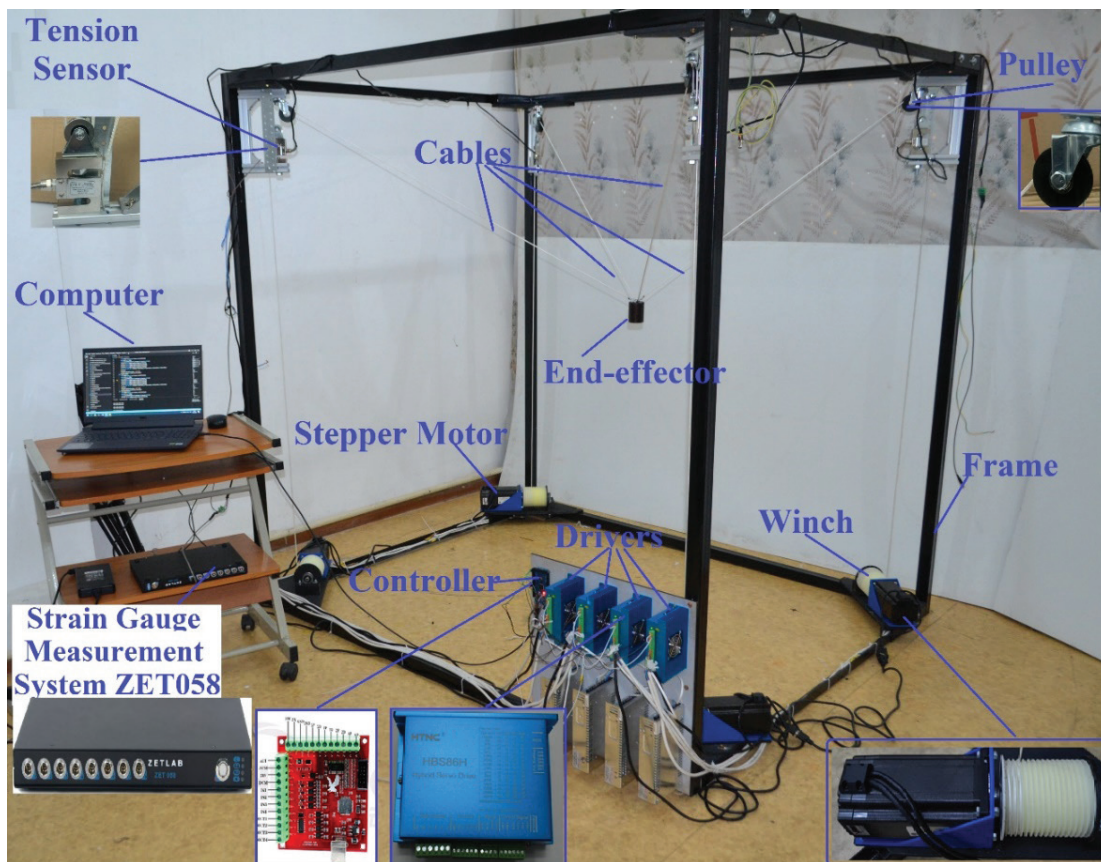


Рисунок 7 - Прототип подвешенного точечного ТПР

Для нормальной работы подвешенного точечного ТПР, необходимо поддерживать заданное минимальное натяжение тросов на протяжении всего цикла его работы. Для этого в системе управления подвешенного точечного ТПР учитываются данные с тензометрических датчиков. Сигнал об уровне натяжений

осуществлять сбор информации с тензодатчиков в режиме реального времени по восьми каналам одновременно.

На рисунке 8 показан интерфейс программы для управления подвешенным точечным ТПР.



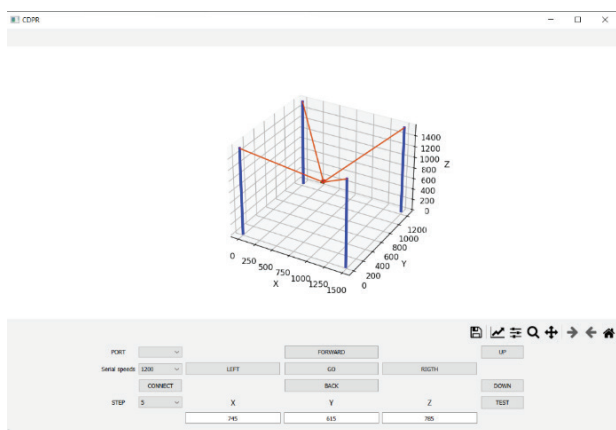


Рисунок 8 - Интерфейс программы для управления ТПР

интерфейс ТПР круговой траектории РО.

Выводы. Рассмотрены методы кинематического, статического анализа подвешенного точечного ТПР с 3 степенями свободы и четырьмя приводными тросами, совершающего только поступательное движение.

Разработана конфигурация системы прототипа подвешенного точечного ТПР с учетом удобства и наглядности при демонстрации его работы студентам. Изготовлен прототип подвешенного точечного ТПР, которая состоит из неподвижной прямоугольной рамы, четырех ле-

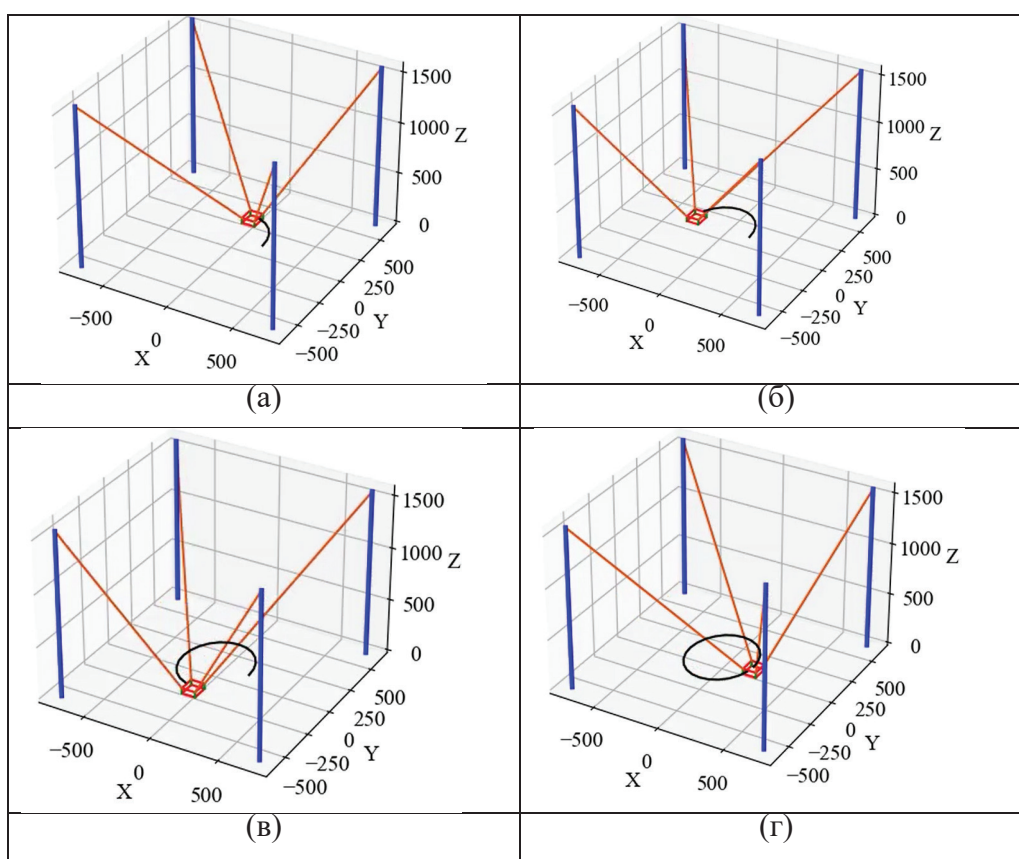


Рисунок 9 - Демонстрационный интерфейс траектории РО ТПР в разное время: (а)  $t = 2$  с, (б)  $t = 5$  с, (в)  $t = 8$  с и (г)  $t = 10$  с

При помощи интерфейса управления ТПР, мы можем вручную управлять РО. Можно совершать ручную поступательные движения РО: вперед-назад, влево-вправо. Кроме того имеется возможность воспроизведения траекторий движения РО ТПР заданных уравнениями кривых, например круг, эллипс и т.д. На рисунке 9. приведен демонстрационный

бедок, четырех гибридных шаговых двигателей с драйверами и четырех тросов. Прототип ТПР оснащен 4 датчиками силы, для экспериментального определения силы натяжения тросов. Датчики силы подключены к измерительной тензометрической системе ZET 058. Разработан графический интерфейс управления прототипом ТПР для воспроизведения РО

кривых (круг, эллипс и т.д.). Прототип ТПР имеет возможность ручного управления по ступательным движением РО: вперед-назад, влево-вправо, верх-вниз.

Проведение студентами лабораторных работ, с использованием прототипа подвешенного точечного ТПР, дало эффект лучшего понимания структуры и работы ТПР. Стоит отметить, что студенты, после практической работы на прототипе ТПР, быстрее усвоили методы кинематического, статического и динамического анализа и управления ТПР. Кроме этого, у студентов появился интерес к усо-

вершенствованию и созданию принципиально новых ТПР

Будущие работы будут в основном сосредоточены на экспериментальных методах измерения положения РО подвешенного точечного ТПР в пространстве, с целью повышения точности его работы.

Источник финансирования исследований. Работа выполнена в рамках грантового проекта AP09259339 финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан.

### Список литературы

- 1 Bostelman R., Albus J., Dagalakakis N., et al. Applications of the NIST robocrane Proceedings of International Symposium on Robotics and Manufacturing Maui Hi. 1994.- pp. 14-18.
- 2 James A., Roger B., Nicholas D. The NIST robocrane // Journal of Robotic Systems. 1993.- №10.- pp. 709-724.
- 3 Varela M. J., Ceccarelli M., Flores P. A kinematic characterization of human walking by using CaTraSys. // Mechanism and Machine Theory. 2015.- №86.- pp. 125-139.
- 4 Verhoeven R. Analysis of the workspace of tendon-based Stewart platforms. - Duisburg: Department of Mechanical Engineering, University of Duisburg-Essen, 2004.
- 5 Pott A. Cable-Driven Parallel Robots. Theory and Application. - Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. - 465 p.
- 6 Heyden T., Woernle C. A Dynamics and flatness based control of a kinematically undetermined cable suspension manipulator // Multibody System Dynamics. 2006. - №16. – pp. 155-177.
- 7 Lamaury J., Gouttefarde M. A Control of a large redundantly actuated cable-suspended parallel robot / Proceedings Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on. IEEE. 2013. - pp. 4659-4664.
- 8 Nan R. A Five hundred meter aperture spherical radio telescope (FAST) / Proceedings Science in China series G 49.2. 2006. - pp. 129-148.
- 9 Pott A. et al. A IPAnema: a family of cable-driven parallel robots for industrial application // Cable-Driven Parallel Robots. Springer. 2013. - pp. 119-134
- 10 Hiller M. et al. A Design, analysis and realization of tendon based parallel manipulators // Mechanism and Machine Theory. 2005. - №40. - pp. 429-445.
- 11 Boschetti G., Minto R. A. Trevisani Improving a Cable Robot Recovery Strategy by Actuator Dynamics // Appl. Sci. 2020. - №10(20). – pp. 7362.
- 12 Alp A. B., Agrawal S. K. Cable Suspended Robots: Design, Planning, and Control / Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington. 2002. - pp. 4275-4280.
- 13 Sugahara Y., Chen G., Atsumi N., Matsuura D., Takeda Y., Mizutani R., Katamura R. A Suspended Cable-Driven Parallel Robot for Human-Cooperative Object Transportation // ROMANSY 23 - Robot Design, Dynamics and Control. 2021. - Vol. 601, pp. 109-117.
- 14 Nakamura Y. Advanced Robotics - Redundancy and Optimization. - Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- 15 ZETLAB Company. Available online: www.zetlab.com (accessed on 10 December 2022).

**А.К. Тулешов, А.А. Джомартов, А.Н. Камал, А. Е. Абдураимов. ОҚУ ПРОЦЕСІ ҮШІН АСПАЛЫ СЫМАРҚАНДЫ ПАРАЛЛЕЛЬДІ РОБОТТЫ ЖОБАУ**

**Түйіндеме.** Қазіргі уақытта сымарқанды параллельді роботтар (СПР) бойынша зерттеулер жүргізілуде. СПР-да кабельдер тек кернеуде жұмыс істей алады. Бұл мүмкіндік кабельдік параллельді роботтардың дамуы мен қолданылуын шектейді және талдау мен жобалау әдістерін одан әрі дамытуды талап етеді. Оқытушыларымыздың тәжірибесі студенттердің СПР ерекшеліктерін жақсы түсінуі үшін СПР тәжірибелік үлгісін жасау қажет екенін көрсетті. Бұл мақалада оқу процесінде практикалық қолдану үшін нүктелік массасы бар тоқтатылған СПР талданады және әзірленеді. СПР аспалы нүктесінің тәжірибелік жүйесінің конфигурациясы оның жұмысын студенттерге көрсету кезінде ыңғайлылығы мен көрнекілігін ескере отырып әзірленді және оның прототипі жасалды. Студенттердің СПР аспалы нүктесінің прототипі бойынша эксперименттік жұмысы оқу үдерісін айтарлықтай жақсартуға және институттағы робототехника курсын оқуға назар аударуға мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** сымарқанды параллельді робот, кинематика, статика, прототип, кернеу, жұмыс органы

---

**Tuleshov A.K., Jomartov A.A., Kamal A.N., Abduraimov A.E. DESIGNING A SUSPENDED CABLE PARALLEL ROBOT FOR THE LEARNING PROCESS**

**Abstract.** Currently, research is being carried out on cable parallel robots (CPR). In CPR, cables can only work in tension. This feature limits the development and application of cable parallel robots and requires further development of analysis and design methods. The experience of our teachers showed that for a better understanding of the features of the CPR by students, it is necessary to develop a prototype of the CPR. This article analyzes and develops a suspended CPR with a point mass for practical use in the educational process. The configuration of the prototype system of the suspended point CPR was developed, taking into account the convenience and visibility when demonstrating its work to students, and its prototype was made. Experimental work of students on the prototype of the suspended point CPR allowed to significantly improve the educational process and draw attention to the study of the robotics course at the institute.

**Keywords:** cable parallel robot, kinematics, statics, prototype, tension, working body

---

**Сведения об авторах**

**Тулешов А.К.**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК. e-mail: aman\_58@mail.ru

**Джомартов А.А.**, доктор технических наук. e-mail: legsert@mail.ru,

**Камал А.Н.**, магистрант. e-mail: kan77705@gmail.com

**Абдураимов А.Е.**, магистрант. e-mail: kan77705@gmail.com

## ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДА ҚОЛДАНЫЛТЫН КАПИЛЛЯРЛЫ-КЕУЕКТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЗЕРТЕУ

А.А. Генбач<sup>1</sup>, Н.О Джаманкулова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

**Түйіндемe.** Бұл мақалада капиллярлы-кеуекті құрылымның (жабынның) бөлек ұяшықтарында бірлік бу көпіршіктерін генерациялаудың физикалық моделі әзірленді. Көпіршіктердің жеке сипаттамалары энергетикалық қондырғылардың бөлшектері мен тораптарының зақымдалуын және оларда жарықтардың пайда болуы мен дамуын түсіндіру үшін маңызды. Металдық қыздыру бетті жабатын кеуекті құрылымның ұяшығында өсетін бу көпіршігі астындағы сына тәрізді микроқабаттың булануы туралы мәселенің шешімі қолданылады. «Құрғақ» дақтың радиусын анықтау кезінде сұйықтықтың және қыздыру бетінің жылдамдықтық және жылулық қасиеттерін, сонымен қатар, аса қызбаудың әсерін ескере отырып, кеуекті жабынның ұяшығындағы көпіршіктің өсу заңының эксперименталды түрде алынған аппроксимациясы пайдаланылды. Энергетикалық қондырғылар мен балқыту қондырғыларын салқындату үшін кеуекті құрылымдардағы бу фазасының даму моделі жасалды, ол бу көпіршіктерінің пайда болу, даму және жойылу механизмін түсіндіреді. Балқыту қондырғыларының салқындату жүйесінің сенімділігі капиллярлық және массалық күштердің бірлескен әрекетімен анықталады.

**Түйін сөздер:** капиллярлы-кеуекті жабын; бу көпіршігі; жылу ағыны; салқындату жүйесі.

### 1. Кіріспе

Капиллярлы-кеуекті материалдарда оның динамикалық өсуін сипаттайтын жекеленген бу көпіршігінің сипаттамаларын зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Олар кеуекті беттік жабыны жоқ үлкен көлемде қайнауын интегралдық сипаттамалары мен параметрлерінен айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін [1, 2]. Бірақ олар кеуекті құрылымның ұяшықтарында сұйықтықтың қайнау процесінде әсер ету режимі мен орналасу факторларын сапалы түрде айқындауға мүмкіндік береді [3-6].

Мәселе белгілі бір  $\tau$  уақыт мезетінде келесі тәуелді айнымалыларды анықтауға бағытталады:

- кеуектік бетінде өсетін бу көпіршіктері астындағы пленканың таралуының  $\delta$  қалыңдығын анықтау,  $r = R_{\text{сн}}$  кезінде сұйық қабықша пайда болуын ескере отырып, кеуектік бетінде  $0 < r < R_{\text{сн}}$  үшін бу көпіршіктері астындағы қабықшаның таралуының қалыңдығы тұрақ-

ты  $\delta_0$  болып белгіленеді, ал оның булануы капиллярлық және массалық  $\Delta P_{\text{g+cap}}$  күштердің әсерінен суық сұйықпен салыстырмалы түрде жаңа пайда болған көпіршік бөліктерімен толықтыру арқылы өтеледі;

- қалыңдығы  $\delta$  пленкадағы сұйықтықтың  $\theta$  температурасының таралуын анықтау;

- бу түзетін беттегі температуралық ұйытқу фронты күшейетін кездегі салқындату тереңдігі  $h$  -ты анықтау;

- жеке бу көпіршіктері алып кетуі арқылы шығындалатын жергілікті жылу ағынын анықтау.

Бұл шамалардың барлығын сұйықтың қатты қызып кетуі  $P$ -нің әртүрлі мәндері үшін анықтауға болады [4].

[1,2] жұмыстарда орындалғандай функцияларды өлшемсіз түрде жазайық:

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_0}; \quad \Theta = \frac{(T_0 - T_{x=0})}{(T_0 - T_s)}; \quad \bar{h} = \frac{h\lambda'}{\delta_0\lambda}; \quad \tilde{q} = \frac{q\delta_0}{\lambda'(T_0 - T_s)} = \frac{q}{q_0}; \quad (1)$$

$q_0$  – бу көпіршігі қабылдаған меншікті жылу ағыны;

$q = 2q(0, \tau) = 2[T_0 - T(0, \tau)] \frac{\lambda}{h}$  - «сұйық пленка – қабырға» шекарасындағы қабырға жағынан алынатын меншікті жылу ағыны.

Өлшемсіз уақыт аргумент болып табылады  $t = \frac{a\tau(\lambda')^2}{(\delta_0\lambda)^2}$ .

Бекітілген мән сұйықтықтың қызып кетуі болып табылады  $P = \frac{4c\rho(T_0 - T_s)\lambda}{3r'\rho'\lambda'}$  (жылулық параметр).

Қабылданған белгіленулер:  $x$  – кезекті құрылыммен жабылған бу түзетін беттің координатасы;  $R_{\text{сн}}$  –  $x$  координатасы бойынша «күрғақ дақ» радиусы;  $T_0 = T(x, 0) - \tau = 0$  кезіндегі сұйық температурасы (сұйықтың қабырға тұсындағы бастапқы температурасы);  $T_s$  – қанығу температурасы;

$\lambda, \lambda'$  – қабырғаның және сұйықтың жылу өткізгіштігі;  $a$  – жылу өткізгіштік коэффициенті;

$c, \rho, \rho'$  – қабырғаның жылу сыйымдылығы, қабырғаның және сұйықтың тығыздықтары;

$r'$  – булану жылуы.

Өлшемсіз  $\tilde{t} = \frac{t}{t_p}$  уақытты  $P$  параметрінің берілген мәнінде пленканың толық булануы үшін қажетті  $t_p$  – уақыт ретінде де анықтауға болады, яғни  $t_p = f(P)$ . Бұл тәуелділік мына шарттар үшін есептеледі:  $\bar{y} = 1(\bar{\delta} = 0)$ , мұнда  $\bar{y} = 1 - \bar{\delta}$ .

«Қабырға-сұйықтық» шекарасындағы сұйық жағынан  $q$  мәні:

$$q = \frac{\lambda'}{\delta} [T(0, \tau) - T_s] \quad (2)$$

[6,7] жұмыстарда қайнау бетінің (қызбай тұрған кезінде) твэл қаптамаларының фокалды коррозиясының қарқындылығына әсер етуінің өзектілігі атап өтілген, бұл көпіршіктер әлі қызбай тұрған сұйықтықта жарылған кезде пайда болуы мүмкін.

Зерттеліп жатқан капиллярлы-кеуекті салқындату жүйесінде қанығу температура-

сына дейін қыздырылмаған сұйықтықтың құрылымның ішінде және бетінде қайнауы орын алады, өйткені массалық күштер сұйықтықтың артық мөлшерін тудырады, алайда [6,7] жұмыстарда қайнау кезекті жабындары жоқ беттерде жүреді.

Қазіргі уақытта бу көпіршігі негізіндегі сұйық микроқабатты зерттеу әлемнің көптеген ғылыми орталықтарында жүргізілуде [8,9]. Дегенмен, бұру жүйелерінің жаңа класының, әсіресе, жылуды нашар өткізетін морт сынғыш жабындардан жасалған түрлерінің ұяшықтарындағы жекеленген көпіршіктерді одан әрі зерттеу қажет [10].

Бұл көпіршікті белсендіру орталықтарындағы «шаршау» сызаттарының дамуын талдауға, жылу алмасу бетінің шекті күйіне термосерпімділік теориясын қолдануға, көпіршіктердің түзілуі мен дамуының микро- және макрокинетикасы арасындағы жылу алмасу процестері мен кезекті жабындардың термиялық бұзылуына аналогия жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, [6–9] жұмыстарда атап өткендей, көптеген авторлар қайнау процесін абсолютті тегіс жылу алмасу беттерінде (наноөлшемді беттерде) модельдейді, бұл нақты жылу энергетикалық қондырғылардан алыс [4].

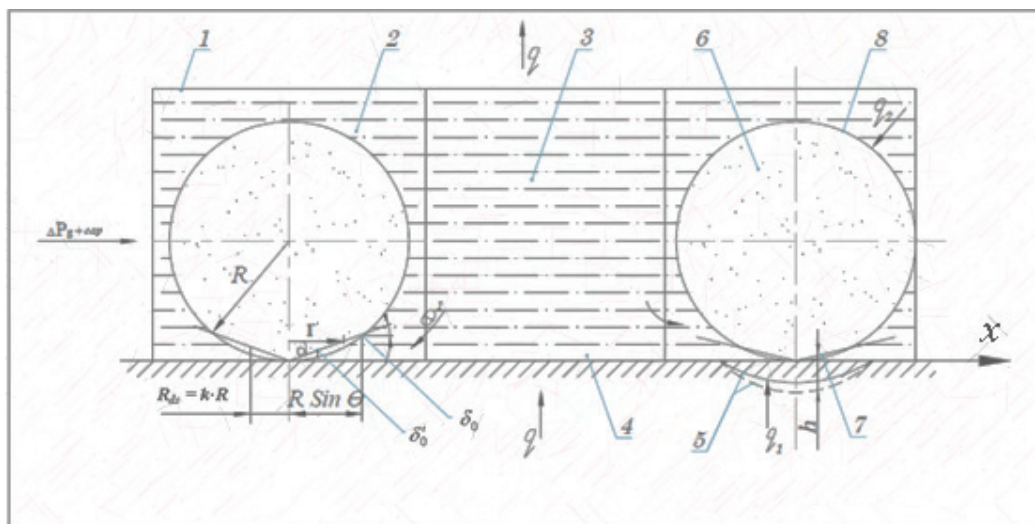
## 2. Жылу алмасу процесінің моделі

Қалыңдығы  $\delta_{\text{н}}$  шексіз пластина ретінде алынған бу түзетін беттің жинақталған көлемінен жылу беру арқылы капиллярлы-кеуекті құрылымды ұяшықтарда өсетін бу көпіршігі астындағы сұйық қабықтың микроқабатты булануы кезінде стационарлы емес жылу алмасуды қарастырайық (1-сурет).

Өртүрлі жағдайлар үшін жартылай шектеулі ( $\delta \rightarrow \infty$ ) деп алынған қатты дененің бетінен сұйық қабықшаның булану мәселесі [1,2] жұмыстарда берілген.

Қалыңдығы  $\delta_0$  қабықша капиллярлы-кеуекті құрылымды ұяшықта орналасқан деп есептей отырып, қатты





**1-сурет** – Кеукті құрылымның бу өндіру ұяшықтарындағы бу көпіршіктерінің бу түзетін бетпен жанасу моделі: 1 – кеукті құрылымның қаңқасы; 2 – бу өндіру ұяшығы; 3 – сұйықтық беретін ұяшық; 4 – бу шығаратын бет; 5 – тот баспайтын болаттан және мыстан (пунктир сызык) жасалған жылу түзетін беттің көлемінде  $h$  температура толқынының таралу фронты (салқындату тереңдігі); 6 – бу; 7 - «кұрғақ» дақ; 8 – жеңіл (бу) фазасының таралу фронты [4].

дененің бетінен сұйық қабықтың булануы есебінің шешімін қолданайық.

Қабық қалыңдығы  $\delta$  бойынша температуралардың таралуы сызықтық деп қабылданылады:

$$\delta = \delta_0 - \frac{\lambda'}{r'\rho'} \int_0^{\tau} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} d\tau, \quad (2)$$

$$x = -\delta_0 \text{ үшін } T = T_s;$$

$$x = 0 \text{ үшін } T = T_0$$

Кеукті құрылыммен жабылған астыңғы пластинадағы температура өрісі бір өлшемді жылу өткізгіштік теңдеуімен сипатталады:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Бастапқы шарттар:

$$0 \leq x \leq \delta_{nl}, \tau = 0, T(x, 0) = T_0. \quad (4)$$

Шекаралық шарттар:

$$x = 0, \tau \geq 0, \lambda \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = \lambda' \frac{T(0, \tau) - T_s}{\delta}; \quad (5)$$

$$x = \delta_{nl}, \tau \geq 0, \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=\delta_{nl}} = 0.$$

Стационарлық емес жылуөткізгіштіктің тұжырымдалған сызықты емес есебін шешу

үшін  $\tau < \tau_k$  кезінде  $0 < x < h$  аймағы бойынша және  $\tau > \tau_k$  кезінде  $0 < x < \delta_{nl}$  аймағындағы жылу өткізгіштік теңдеуін орташалауға мүмкіндік беретін интегралдық әдіс қолданылады.

$\tau_k$  деп сұйық қабықтың толық булану уақыты алынады, бұл кезде қатты денеде таралатын температуралық бұзылу фронты пластинаның  $\delta_{nl}$  қалыңдығына жетпейді және салқындату тереңдігі бойынша  $0 < x < \delta_{nl}$  аймағын сипаттайды.

$$h (h < \delta_{nl}), \text{ когда } T = T_0, \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=h} = 0.$$

$\tau > \tau_k$  кезінде бу генерациялау камерасында жеке көпіршікпен жылуды алу нәтижесінде пайда болған қыздыру бетіндегі температуралық ауытқулардың фронты  $h = \delta_{nl}$  пластина шекарасына жетеді. Осылайша,  $\tau < \tau_k$  болған жағдайда пластинаны жартылай шектелген дене ретінде қарастыруға болады, ал пластинаның қалыңдығы  $\delta_{nl}$  есептелген тәуелділіктерге кірмейді [2].

$\tau < \tau_k$  жағдайы үшін есеп жартылай шектелген дене үшін дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтіріледі ( $\delta_{nl} \rightarrow \infty$ ), ол өлшемсіз түрде жазылады [1]

$$\frac{1}{3} \frac{d}{dx} (\bar{h} \theta) = \frac{2\theta}{\bar{h}}; \quad \frac{2\theta}{\bar{h}} = \frac{1-\theta}{\bar{\delta}} = \tilde{q}, \quad (6)$$

мұнда

$$\tilde{q} = \frac{2q(0,\tau)}{q_0}; \quad q(0,\tau) = \frac{[T_0 - T(0,\tau)]\lambda}{h}; \quad q_0 = \frac{[T_0 - T_s]\lambda'}{\delta_0}; \quad \bar{\delta} = 1 - \frac{p\theta\bar{h}}{4}.$$

$\theta$  и  $\bar{h}$  шамаларының  $\bar{\delta}$  - ға тәуелділігі мынадай түрде болады:

$$\theta = -\frac{1-\bar{\delta}}{p\bar{\delta} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{2p\bar{\delta}}{1-\bar{\delta}}} \right]}; \quad \bar{h} = \frac{2(1-\bar{\delta})}{p\sqrt{1 + \frac{2p\bar{\delta}}{1-\bar{\delta}}}}. \quad (7)$$

Сонда дифференциалдық теңдеу мынадай түрде жазылады:

$$\left[ 2p + (1-2p)\bar{y} + \sqrt{2p\bar{y}} \sqrt{1 + \frac{1-2p}{2p}\bar{y}} \right] d\bar{y} = \frac{3}{4} p^2 dt. \quad (8)$$

### 3. Кеукті жабындардағы бу фазасының даму моделі және механизмі

Бу фазасының даму моделі, процесстердің механизмін сипаттау және есептелген тәуелділіктерді шығару, фото-кинематографиялық және голографиялық бақылаулардан көрінетіндей [1–4], өздігінен пайда болғаннан кейінгі бу фазасының динамикасы ( $R_{кр}$  критикалық өлшемді жарылғыш көпіршіктің тууы) бу көпіршігі астында орналасқан буланатын сұйық микроқабаттың қатысуымен жүреді және белгілі бір жағдайларда бу көпіршігі ортасында сұйық қабықтың ығысуы басталады, содан кейін «кұрғақ» дақ пайда болады.

Бу көпіршіктерінің ажырауы немесе бұзылуы тегіс бетінде үлкен көлемде қайнаған кездегіге қарағанда бірнеше есе кіші диаметрлерде жүзеге асады.  $\bar{D}_0 = 2R_0$  мәні [5] жұмыстардың формуласы бойынша есептеледі.

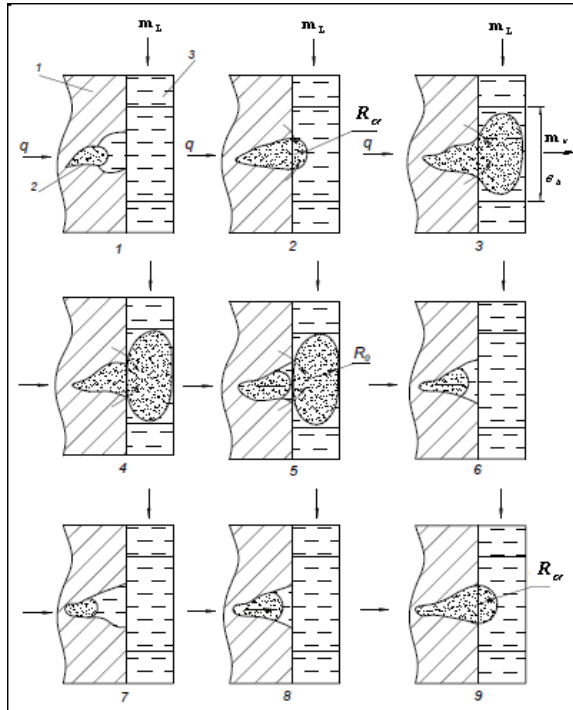
Көпіршік бөлгеннен (жойғаннан) кейін гравитациялық және капиллярлық күштердің әсерінен сұйықтықтың салыстырмалы түрде суық бөліктері белсенді түрде сорылады. Генерация орталығының біраз уақыт «тыныштығынан» соң кризистік өлшемдегі жаңа бу көпіршігі өздігінен пайда болады және салқындатқыш сұйықтың  $G_c$  шығынымен (ағынның

жылдамдығы және оның жеткілікті қызбау дәрежесімен) басқарылатын өсу уақыты қарқынды жылу беру кезінде азаяды. Жылу кеукті құрылымның көлемі жағынан бу көпіршігін қоршап тұрған жұқа қатты қызған сұйық қабатынан және торлардың жылу өткізгіш қаңқасынан беріледі.

«Тыныштық» уақытының көпіршіктердің өсу кезеңіне сәйкес келмеуі сонымен қатар тұрақты орын алатын өте қызған пульсі соғып тұратын сұйық микроқабаттың болатынын көрсетеді. Бұл микроқабаттың тұрақтылығы мен беріктілігі гравитациялық және капиллярлық потенциалдардың бірлескен әрекеті нәтижесінде кеңейе түседі.

Сұйықтық үлкен көлемде тегіс бетте қайнағанда көпіршікті өсу кезеңі  $\sim (10-100) \times 10^{-3}$  с болды, ал кеукті жүйеде бұл көрсеткіш он есе аз. Көпіршіктің туындау және бөліну кезеңдері екі жүйеде де елеусіз аз және жарылыс сипатына ие. Үлкен көлемде қайнау кезінде көпіршік түзілудің периодты цикліндегі «тыныш» уақыты  $\sim 0.1$  с болуы мүмкін және оны көпіршіктің өсу уақытымен салыстыруға болады. Кеукті құрылымды ұяшықта кризистік өлшемдегі  $R_{кр}$  ядроның пайда болуы сұйықтық ішіндегі қуыстағы көпіршіктің тез кеңеюі нәтижесінде пайда болады (2-сурет).

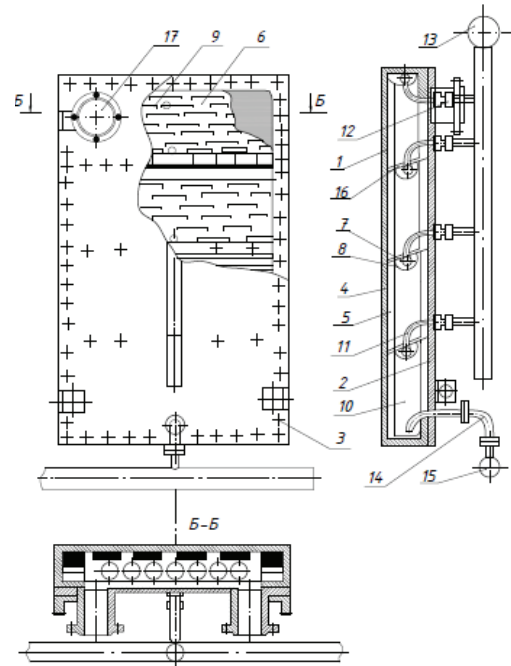
Бірақ көпіршік көпіршік бетінің қисаюының ұлғаюы оның қуыста кеңею процесін баяулатады және бастапқы сәтте қатты қызған сұйықтықта пайда болатын динамикалық күштер үлкен болады, бұл көпіршіктердің одан әрі өсуіне кедергі жасайды. Жылу негізінен бу көпіршігі астындағы сұйық микроқабат арқылы тасымалданады. Сұйық микроқабат көпіршік ортасында «кұрғақ» дағы бар конустық пішінді болады. Негізгі булану процесі «кұрғақ» дақтың табанында жүреді. Жылудың бір бөлігі қабырғаның қарама-қарсы жағындағы қатты қызған сұйықтықтан көпіршікке беріледі.



**2-сурет** – Кеукті құрылыммен жабылған бу түзетін қабырғаның белсенді кеуегінде бу көпіршігінің туындау, даму және ажырау процесінің көрінісі: 1 - қабырға; 2 - қуыс; 3 – кеукті құрылым; q – жылулық жүктеме; m<sub>ж</sub> – сұйықтықтың шығыны; m<sub>п</sub> – бу шығыны; вг – құрылымның гидравликалық өлшемі.

Гравитациялық және капиллярлық күштермен тасымалданатын жаңа сұйықтық бөліктерінің келуіне байланысты, сондай-ақ көпіршікке көтеру күштерінің әсерінен көпіршіктің өсуі кезінде микроқабаттың қалыңдығы және «кұрғақ» дақ радиусы өте аз өзгереді. Инерция күштері көпіршікті дамытудың бастапқы кезеңінде көрінеді және бөліну алдында азаяды, ал көпіршік сфераға жақын пішінге ие болады, «кұрғақ» нүктенің ауданы азаяды және микроқабаттың пішіні айтарлықтай өзгереді. Көпіршіктің бөлінуі беттік керілу күштерімен және гидрогаз-динамикалық кедергімен анықталады, ал сұйықтықтың артық болуы әсер еткендіктен, ол арқылы қызып кету қарқыны төмен және ағып жатқан сұйықтықтың ағыны пайда болады.

Бу көпіршігі бөліну диаметріне жетпеген жағдайда және оның жоғарғы шекарасы кеукті құрылымның сыртқы бетіне тиіп кетсе, көпіршік жойылады.



**3-сурет** - Кессонды қатайтатын тақталары бар кеукті жүйемен суытуға арналған құрылымдық шешім: 1 - корпус; 2 - қақпақ; 3 - болт; 4 - қабырға; 5 – капиллярлы-кеукті құрылым; 6 - тақта; 7 - артерия; 8 - науа; 9 - тесік; 10 - арна; 11, 17 - салалық құбырлар; 12 - құбыр; 13, 15 - коллектор; 14 - сифон; 16 - қатайтатын тақталар.

Жұқа кеукті қабықшадағы көпіршіктің бұзылу механизмі [1,5,11] жұмыстарда көрсетілген. Көпіршік шекарасы сұйықтықтың беткі деңгейіне тиген кезде жанасу нүктесінде саңылау пайда болады, ол арқылы бу көпіршіктен бу көлеміне өтеді. Сол нүктеге жақын жерде беттік керілу әсерінен бос бетті азайтып, нүктеге дейін жиырыла бастайтын белгілі бір қисықтықтық пайда болады, ал бу қуысындағы тесік бу көлеміне дейін кеңейе береді.

Сұйықтықтың бетіне толқын тарала бастайды. Сипатталған процесс ( $10^{-7} - 10^{-6}$ ) с ішінде жүреді, яғни бу ядросының «туылуы» жағдайындағыдай жарылғыш сипатта болады. Бұл құбылыс эллиптикалық жүйелердегі жарылыс процестеріне ұқсастық жасау үшін пайдаланылды.

Сұйықтықтың салыстырмалы түрде суық бөлігі көпіршіктен босатылған қуысқа

асығады, ал қуыстағы будың бір бөлігі олардың жанасу шекарасында бу мен сұйықтық температурасы теңестірілгенге дейін конденсацияланады (2-сурет).

Артық сұйықтық параметрі  $\tilde{m} = \frac{m_g}{m_s}$  үлкен болған жағдайда, барлық бу қуыста конденсациялануы мүмкін және оның көпіршік түзу әрекеті тоқтайды. Қабырғаға жиналған жылу ағыны кризистік өлшемдегі бу ядросының туындауының жаңа цикліне әкеледі. Көпіршікті дамытудың бір циклі кезінде микропленканың булану сатысындағы оның астындағы қабырғаның температурасы және суық сұйықтықты қыздыру сатысы айтарлықтай өзгереді, бұл жылу берудің жоғары қарқындылығын түсіндіреді.

Кеуекті құрылымдардағы бу фазасының даму моделі жылу энергетикалық қондырғылардың әртүрлі бөліктері мен тораптары үшін жылу берудің есептелген тәуелділіктерін алуға мүмкіндік береді [8–11].

#### 4. Энергетикалық қондырғыларда капиллярлы-кеуекті жабындарды қолдану

Металлургиялық қондырғыларда бөлшектер мен тораптар жоғары жылу жүктелген күйде жұмыс істейді және қарқынды салқындатуды қажет етеді.

Құрамында сұйық металдар мен балқымалар бар қондырғылардың жарылыстан қорғалған жұмысын қамтамасыз ету үшін балқымаға түскеннен кейін жарылысқа әкелмейтін өте аз мөлшердегі сұйықтығы бар кеуекті салқындату жүйесін пайдалану ұсынылады [3–12]. Мұндай қондырғылар өнеркәсіптік пештерде қолданылады. Өз кезегінде, мұндай жүйе өте жоғары мәжбүрлі болғандықтан, күшті жылу ағындарын жоюға қабілетті. Ол асқан қиындықсыз және қосымша энергия шығындарынсыз қондырғының сенімділігі мен қозғалғыштығын арттырады.

3-суретте салқындатқыш элементтердің конструкциясының нұсқасы көрсетілген. Құрылғы 1-корпуста және 2-алынбалы қақпақ-

тан тұрады, периметрі бойынша 3- болттарымен герметикалық бекітілген. 4-қабырғаның ішкі беті перфорацияланған 6-тақталармен престелген 5-кеуекті құрылыммен жабылған. 7-артериялар 5-кеуекті құрылымның жоғарғы ұштарымен қосылған. Оның қаптал жағы арқылы массалық және капиллярлық күштермен салқындатылған бетке сұйық беріледі. 5-кеуекті құрылымдардың төменгі ұштары әдетте бос және 8-науаға батырылады, онда сұйық тамшы ағып кетуі немесе артық сұйықтық жиналуынан болады.

6-тақталар қысқыш жолақтармен немесе нүктелік дәнекерлеу арқылы бекітіледі. 9-тесіктері бар ойықтар пластинаның бетіне штампталады, олар 5-кеуекті құрылымнан 10- арнаға будың шығуын қамтамасыз етеді, сонымен қатар 5-кеуекті құрылымнан бөлініп шығатын тамшылар мен 6-тақтаның сыртқы бетінен төмен қарай ағып жатқан артық сұйықтық үшін ұстаушы қақпақ қызметін атқарады. Осылай құрылымға қайтарылуына байланысты салқындатқышты неғұрлым ұтымды пайдалану қамтамасыз етіледі. Бұл жылу беріледі күшейтіп, сұйықтықтың гидродинамикасын жақсартады. 7-артерия 11-салалық құбырға және одан әрі 12-тарату құбырлары және 13-коллектор арқылы қосылады.

Салқындатқыштың артық мөлшері кессонның төменгі бөлігінде жиналады және 14-сифон арқылы 15-коллекторға, содан кейін салқындату жүйесіне қайтару үшін жинақтау құрылғысына шығарылады.

Конструкцияны жеңілдету және жеткілікті қаттылықты сақтау үшін кессондар Z-тәрізді перфорацияланған пластиналар немесе қатайтқыштар түрінде жасалған 16-аралықтармен қамтамасыз етіледі. 16-қабырғалар 1-корпустың және 2-кессонның қақпағының сыртында немесе ішінде орналасуы мүмкін.

2-қақпақта, оның жоғарғы бөлігінде бу құбырымен қосылу үшін фланецтері бар 17-салалық құбырлар дәнекерленген. 5-кеуекті құрылымның өлшемі мен пішіні кессонның өлшемімен және оның конструкциясымен



анықталады. Оны тік немесе көлденең бағытта созуға болады, оның жоғарғы немесе төменгі ұштары (немесе екеуі де) 7-артериямен қосылған. 6-тақталар пішіні мен өлшемі бойынша кезекті құрылымға сәйкес жасалған. 6-тақтадағы штампталған перфорацияланған ойықтар кесілген конус немесе саңылаулары жоғары қараған бойлық ойықтар түрінде болуы мүмкін.

Сипатталған салқындату жүйесі булану арқылы салқындату артықшылықтарын сақтай отырып, бірқатар жаңа оң факторларға ие, олар мыналарды қамтиды: жүйедегі және әсіресе кессондардағы салқындатқыштың көлемін одан әрі бірнеше (ондаған) есе азайту, бұл қондырғылардың жарылу қауіпсіздігін, сыртқы және ішкі айналым контурларындағы сұйықтық мөлшерінің күрт төмендеуіне байланысты күрделі салымдар мен пайдалану шығындарының одан әрі төмендеуін қамтамасыз етеді; қабырғадағы күрт өзгермелі циклдік деструктивті кернеулерді азайтуға мүмкіндік беретін жұқа кезекті қабаттағы жылу беру процесін өзін-өзі реттеуі; сұйықтықтың айтарлықтай аз мөлшерін айдауға байланысты кейбір экономикалық және экологиялық эффектілердің болуы; жылу беруді мәжбүрлеу мен күшейтудің жоғарылауы.

## 5. Қорытынды

Капиллярлы-кезекті жабындардағы бу көпіршіктерінің өсу динамикасының физика-математикалық үлгілері жасалды. Көпір-

шіктердің жеке сипаттамалары интегралдық сипаттамалардан айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін, бұл «шаршау» сызаттарының басталуы мен дамуын және энергетикалық қондырғылардың бөліктері мен тораптарының бұзылуын түсіндіру үшін маңызды. Бу көпіршігі астындағы «құрғақ» дақтар аймағында сұйық қабықтың булануы мәселесін шешу арқылы пленка қалыңдығын және қыздырылған қабырғадағы температура өрісін анықтауға болады. Құрылымның ұяшықтарында көпіршіктердің өсу заңдылығы артық сұйықтықты және қабырғалардың жылу сыйымдылығын ескере отырып, эксперименталды түрде анықталды. Артық сұйықтық көпіршіктердің бөлінуге жеткілікті диаметрінің өлшемін азайтады. Энергетикалық қондырғылар мен балқыту қондырғыларының жоғары температуралы элементтерін салқындату үшін кезекті жабындағы бу фазасының даму моделі бу көпіршігінің пайда болу механизмін, оның жойылуына дейін өсуін түсіндіруге мүмкіндік береді. Жоғары температурада жұмыс істейтін энергетикалық қондырғылар мен металлургиялық қондырғыларды салқындату үшін капиллярлы-кезекті жабындардың қолданылуы көрсетілген. Кезекті салқындатқыш жабын қуатты меншікті жылу ағындарын жоюға қабілетті, асқан қиындықсыз және қосымша энергия шығынынсыз салқындату жүйесінің сенімділігі мен қозғалғыштығын арттырады. Салқындату жүйесінің сенімділігі капиллярлық және массалық күштердің бірлескен әрекетімен анықталады.



**Әдебиеттер тізімі**

1. Grigoriev V.A., Pavlov U.M., Amestitov E.V. Boiling of cryogenic liquids, Moscow, Energy, P. 288, 1977.
2. Super M.G., Merry D.M. The evaporation of microlayer at nucleate boiling. *V kn.: Teplo-massoperenos. Minsk, Nauka i tekhnika*, 1972, V. 9, part 1, pp. 233-257.
3. Polyayev V.M., Genbach A.A. The speed of growth of steam bubbles in porous structures, *Isvestiya vuzov. Mashinostroyeniye*, 1990, N 10, pp. 61-65.
4. Genbach A.A., Jamankulova N.O. Characteristics of the single steam bubble in cells of capillary-porous structure // The bulletin of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016, №6 (364), pp. 5-11.
5. Polyayev V.M., Genbach A.A. Management of internal characteristics of boiling in porous system, *Cryogenic equipment and conditioning: Collection of works of MGTU*, Moscow, 1991, pp. 224-237.
6. Jamialahmadi M., H. Muller-Steinbagen, et al., Experimental and theoretical studies on subcooled flow boiling of pure liquids and multicomponent mixtures, *Intern. J Heat Mass Transfer*. 51, 2008, pp. 2482-2493.
7. Ose Y., Kunugi T. Numerical study on subcooled pool boiling. *Progr. In Nucl.Sci. and Technology*, 2011, V. 2, pp. 125-129.
8. Pioro I.L., Rolsenow W., Doeffler S.S. Nucleate pool boiling heat transfer. II: assessment of prediction methods. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, V. 47, pp. 5045 – 5057.
9. Xing H., Kennig D.B.R. Identification of bubble nucleation sites. Proc. Of 8<sup>th</sup> National of Heat Transfer conf., 9-10 th Set., Oxford, 2003.
10. Polyayev V. M., et al., A limit condition of a surface at thermal influence, *Teplofizika vysokikh temperatur (TVT)*, 1991, 29 (5), pp. 923-934.
11. A.A. Genbach, N.O. Jamankulova, V.V. Bakić. Capillary-Porous Heat Exchangers for Cooling of Melting Units. *Thermal Science Journal*, 2018, Vol. 22, Suppl. 5, pp. 1359-1369.
12. Polyayev V.M., Genbach A.A. Management of internal characteristics of boiling in porous system, *Cryogenic equipment and conditioning: Collection of works of MGTU*, Moscow, 1991, pp. 224-237.
13. Genbach A.A., Jamankulova N.O. Model and mechanism of steam phase in porous structures of heat exchanges // The bulletin of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017, №6 (370), pp. 85-92.

**А.А. Генбач, Н.О. Джаманкулова. ИССЛЕДОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

**Аннотация.** В данной статье разработана физическая модель генерации одиночных пузырей пара в отдельных ячейках капиллярно-пористого покрытия. Индивидуальные характеристики пузырей важны для объяснения возникновения и развития трещин, повреждений деталей и узлов энергоустановок. Использовано решение задачи об испарении клиновидного микрослоя под паровым пузырем, растущим в ячейке пористой структуры, покрывающей металлическую поверхность нагрева. Создана модель развития паровой фазы в пористых структурах для охлаждения элементов энергоустановок, плавильных агрегатов, которая объясняет механизм зарождения, развития и гибели паровых пузырьков. Надежность системы охлаждения энергоустановок определяется совместным действием капиллярных и массовых сил.

**Ключевые слова:** капиллярно-пористое покрытие; паровой пузырь; тепловой поток; система охлаждения.

---

**A.A. Genbach, N.O. Jamankulova. STUDY OF CAPILLARY-POROUS COATINGS USED IN POWER INSTALLATIONS**

**Abstract.** This article has developed a physical model for the generation of single vapor bubbles in separate cells of a capillary-porous coating. The individual characteristics of bubbles are important for explaining the occurrence and development of cracks, damage to parts and assemblies of power plants. Solution of problem on evaporation of a clinoid microlayer under the vapor bubble growing in cell of porous structure covering metal heating surface is used. A model has been created for the development of the vapor phase in porous structures for cooling elements of power plants, melting units, which explains the mechanism of the generation, development and death of steam bubbles. The reliability of the cooling system of power plants is determined by the combined action of capillary and mass forces.

**Key words:** capillary-porous coating; vapor bubble; heat flux; cooling system.

---

**Сведения об авторах**

**Генбач А.А.**, техника ғылымдарының докторы, профессор,  
**Джаманкулова Н.О.**, PhD докторанты. e-mail: dnellya@mail.ru  
Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,  
Алматы, Казахстан

## ПРИРОДНОЕ И ТЕХНОГЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЫНЕ НЕУЧИТЫВАЕМОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МЕТАЛЛОВ, СОЗДАЮЩЕЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОВОГО ТИПА

Битимбаев М.Ж.<sup>1</sup>, Кунаев М.С.<sup>2</sup>, Юсупов Х.А.<sup>1</sup>, Алишева Ж.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>CaspianServicesInc., г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup>КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

**Аннотация.** Руда – природное отложение химических элементов в самородном или минералообразующем виде, вызванное действием геологических процессов и сопровождающих их геохимических закономерностей, в котором концентрация некоторых химических элементов достигает величины, достаточной для рентабельного в данный период извлечения.

Сам производственный процесс, обеспечивающий рентабельное извлечение, начинается после геологоразведочных работ со стадии проектирования и последующей добычи, обогащения и металлургического переделов.

Наукой доказано и статистикой подтверждено ожидаемое полное исчерпание запасов в континентальной земной коре до глубины 5 км в течение 30-150 лет в зависимости от вида металла.

Предложены научно обоснованные и практически возможные технологические решения, не имеющие аналогов в мире, по созданию неисчерпаемых в историческом масштабе времени месторождений нового типа природного и техногенного происхождения на базе применения совмещенных процессов геотехнологий и минералургии, полного текущего цикла освоения недр и циркулярной экономики.

**Ключевые слова:** рудообразование, геохимические закономерности, геотехнологии, минералургия, освоение недр, циркулярная экономика.

Введение. Как бы не менялись место и роль природы в системе исторически меняющихся отношений к ней человека и общества, сущность толкования понятия «природы» как совокупности естественных условий существования человеческого общества сохраняет и усиливает свою значимость. В этом аспекте природные ресурсы как важнейшие компоненты окружающей человечество естественной среды, используемые в процессе общественного производства для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества, нуждаются в постоянном изучении его состояния. Особенное место, определяющее улучшение условий жизни цивилизации, занимает освоение недр с изъятием из них полезных ископаемых. Исходя из анализа комплекса воздействий человека на континентальную земную кору, следует обеспечить их рациональность, предвосхищающих надвигающиеся объективные негативные последствия

современных условий взаимоотношений человека с ней.

Полезные ископаемые, в первую очередь металлы, являются принципиально невозобновимым природным ресурсом. Длительность накопления минералов, которые в традиционном толковании можно назвать месторождением, составляет от 15-17 тыс. лет до 1200 млн. лет в зависимости от вида полезного ископаемого [1]. Но человечество всегда будет нуждаться в металлах.

Возникающее противоречие становится фактом, определяющим основные требования к одному из главных направлений развития горно-металлургического комплекса в мировом масштабе – необходимости поисков новых, неизвестных науке источников добычи металлов из недр. Так как образование металлических минералов и их концентрация происходит благодаря геохимическим процессам, мы обратились к изучению существующих ге-

охимических закономерностей.

Производство металлов в первую очередь зависит от эксплуатации первичных природных ресурсов, поэтому нами в работе исследованы наряду с влиянием геохимических закономерностей комплексные меры по привлечению других реальных возможностей создания запасов металлов в недрах.

Для реализации идеи проекта необходимо решить три взаимосвязанные проблемы:

- обеспечение цивилизации месторождениями нового типа, образуемыми объективно действующими, но неиспользуемыми ныне природными геохимическими закономерностями;

- определение неиспользуемых и неопределяемых ресурсов на микро- и наноуровне и создание технологий их извлечения;

- создание безопасных и экономически эффективных геотехнологий и минералургии с практическим исключением потерь, сохранением природного равновесия массива недр и полным использованием добываемой горной массы.

Реализация проекта с учетом решения указанных проблем позволит гарантированно обеспечить человечество неисчерпаемыми запасами металлических химических элементов на необозримое историческое будущее. Эти запасы должны добываться и перерабатываться технологиями экономически эффективно и безопасно для людей и окружающей среды.

Геотехнологии и минералургия кроме решения указанных конечных целей должны быть исследованы на достижение сквозного эффекта до получения концентрата металлов и стремиться к требуемым показателям углеродного баланса.

**Методы исследований.** Исходя из сущности проблемы, поставлена начальная задача по определению нового типа месторождений металлических полезных ископаемых. Образование рудных месторождений - это продукт универсальных общегеологических явлений и событий, протекавших в недрах Земли на протяжении геологических периодов продолжительностью от десятков тысяч до 1-1,5 млрд. лет. Но, так как истощение запасов ожидается в течение 30-150 лет, необходимо, исходя из факторов рудообразования, системного подхода и «временно-пространственно-статисти-

ческого анализа», определить возможности применения существующих в природе геохимических закономерностей к созданию нового понятия о минерально-сырьевой базе.

Геохимические процессы, определяющие миграцию химических элементов и включающие явления их концентрации и рассеяния, являются важной составляющей, на которой основано формирование минерально-сырьевой базы полезных ископаемых нового типа с целью обеспечения ею цивилизованного мира в XXI веке.

С явлениями концентрации связано образование месторождений полезных ископаемых, запасы которых ожидаемо будут истощены. С явлениями же рассеяния химических элементов связано образование вторичных ореолов, на изучении которых в настоящее время основаны геохимические методы поисков. Оба вида явлений в обосновании сущности решения начальной задачи проекта играют роль индикаторов в соответствии с содержанием в действующих традиционных и будущих нового типа месторождениях геохимических карт для формирования объектов недропользования.

Эти же явления и закономерности действуют и в скоплениях металлов, создаваемых человеком (объекты техногенеза) [2, 3].

Таким образом, опираясь на геохимические карты, подготовленные с индексацией первичных и вторичных ореолов, используя латеральные (горизонтальные) и субвертикальные зональности и трехмерные закономерности стереометаллогении, в районах эксплуатации традиционных и на территориях, где не определены месторождения традиционного типа, может быть создана реальная возможность использования месторождений нового типа. Они будут включать в себя запасы, индексированные в первичных и вторичных ореолах и геохимических барьерах природного и техногенного происхождения.

Следующая возможность создается использованием в качестве ресурса восполнения запасов микро- и наноразмерных частиц химических элементов в массиве недр. Она должна быть решена, во-первых, созданием технологий определения их наличия в месторождениях как традиционного, так и нового типов и их качественно-количественных показателей. Во-вторых, необходимо создать тех-

нологии извлечения этих ресурсов при переработке в товарные продукты. Само содержание микро- и наноразмерных частиц химических элементов (в первую очередь металлов) в промышленных объемах в недрах обнаружено отечественными геологами [3].

Факторами, сдерживающими практическое определение понятия «месторождения нового типа», являются в первую очередь качественные показатели, т.е. содержание металлов, в их скоплениях, находящихся вне традиционного месторождения.

Эти скопления располагаются рядом с традиционными месторождениями, их роль и место определены акад. Л.Н. Овчинниковым, когда он акцентировал наше внимание на закономерности зональности распределения в направлении движения растворов при обязательной дифференциации элементов в ореоле как индикатора при поиске и прогнозе типов рудных месторождений. Им было сказано: «Всякое рудное месторождение мы должны рассматривать не только как скопление минеральных форм какого-либо металла, достигшего промышленного содержания, а как включающее в себя и собственное рудное тело, и окружающий его первичный геохимический ореол, составляющие генетически и пространственно единое целое; различие между ними – лишь в уровнях концентрации главных металлов» [4].

Это высказывание и определение акад. РАН К.Н. Трубецкого: «...Рудные и топливные ресурсы являются ограниченными и невозобновляемыми. Их весьма медленное естественное воспроизводство в процессах продолжающейся геологической эволюции примерно в 5-10 тысяч раз отстает от современных темпов потребления, практически не может его компенсировать...» послужили отправным катализатором методов исследований.

Они основаны на методах исследований по созданию новых геотехнологий и способов минералургии с использованием законов физики твердого тела и химии, определяющих возможности окислительно-восстановительных реакций в этом твердом теле.

Задача по определению нового типа рудных месторождений, таким образом, решается на основе геохимии как начального определяющего метода исследований, так как «только на основе геохимических идей может идти

планомерное накопление материала..., где лишь законы геохимии и химии геопроцессов могут дать освещение распространения или изменения рудного комплекса с глубиной и т.д.» [5].

Далее, используя геохимические закономерности, принимая принципы комплексного освоения недр Земли, впервые высказанные акад. Агошковым М.И., предусматривающие, с одной стороны, полное использование всех осваиваемых георесурсов, с другой – сочетание существенно-различных способов добычи для достижения максимального эффекта от вовлечения ресурсов недр в промышленную эксплуатацию, проводится всесторонний полный анализ применяемых геотехнологий и минералургии [6].

Исходя из результатов предыстории и общих предпосылок (закономерностей) рудообразования, руководствуясь основной закономерностью рудообразования, при котором образование всякого рудного месторождения – это результат перехода металлов от рассеяния к концентрации, мы определяем концепцию создания рудных месторождений нового типа. Метод исследований находится в прямой зависимости от распределения металлов в соответствии с «временно-пространственно-статистическим» анализом. Такая постановка содержания задачи и статистики полного исчерпания традиционных источников металлов приводит к необходимости создания месторождений нового типа из сочетания запасов в первичных и вторичных геохимических ореолах, в геохимических барьерах и объектах техногенеза.

Следующим шагом в определении взаимосвязанных методов исследований в связи с низким содержанием металлов в формируемых скоплениях как рудных месторождениях нового типа явился логически подсказанный метод анализа и создания физико-технических и физико-химических геотехнологий и минералургии, нивелирующих негативные ожидания от освоения недр в новых, ранее неиспользуемых уровнях.

Далее последовали решения по максимальному полному циклу текущего освоения каждого конкретного месторождения и всеобщей циркулярной экономике экономически эффективного кратного использования однажды произведенной металлопродукции.



Результаты исследований. Чтобы получить металл из руды, в которой он находится в самородном или минерализованном виде, необходимо его оттуда извлечь в концентрированном на порядок продукте, поэтому существуют в горных науках понятия «бортовое содержание» и «минимальное промышленное содержание». Первое означает «наименьшее содержание полезного компонента в краевой пробе, при котором она может быть включена в контур подсчитываемых запасов полезных ископаемых. В качестве оптимальных выбирают такие значения, при которых обеспечиваются максимальная полнота использования недр и приемлемая экономическая эффективность горных работ». Минимальное промышленное содержание – «это уровень содержания полезного компонента, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат на получение товарной продукции» [7]. Практическое применение этих понятий является единственной возможностью логически объединить и экономически эффективно реализовать проведение техногенной деятельности человека с получением из недр полезного товарного продукта, созданного природой в результате геологических процессов.

Разделение запасов, полученных по итогам геологоразведочных работ, на балансовые и забалансовые, основываясь на разработанных человеком понятиях о бортовом и минимально промышленном содержании, послужило определяющую роль в обеспечении запросов человечества металлами. Но, теряя навсегда безвозвратно забалансовые запасы, общество ухудшает обеспеченность своих непрерывно растущих потребностей для добычи металлов, которые невозможно восполнить новыми запасами из традиционных скоплений металлов, называемых месторождениями.

В период текущей деятельности по добыче полезных ископаемых производителей металлов подстерегает еще одно негативное последствие их деятельности, являющиеся по сути объективным и учитываемым. Речь идет о потерях и разубоживании, которые при применяемых технологических схемах добычи возникают вследствие применения буровзрывных работ. Безопасность горных работ, зависящая в первую очередь от геологических и горнотехнических факторов, обеспечивается

оставлением части запасов (уже балансовых) в виде опорных и барьерных целиков, руда в которых практически теряется безвозвратно, оставаясь в недрах навсегда. Разубоживание в свою очередь также является последствием невозможности добывать руду чистую без примешивания пустой породы, которая не входит в объем ранее подсчитанных балансовых запасов.

Металл в руде теряется также из-за невозможности извлечь весь его объем из выданной для обогащения рудной массы на обогатительной фабрике. При этом улучшение показателей извлечения требует значительных дополнительных, зачастую некупаемых, затрат на улучшение показателей обогатимости.

И, наконец, экономические показатели эффективности получения конечного товарного продукта в виде концентрата металлов, зависят от трудоемкости и себестоимости технологических процессов, начиная от подготовки месторождения и добычи руды из него и кончая складированием на поверхности отвалов пустых пород, отсортированных забалансовых руд, уложенных в хвостохранилища хвостов.

Опираясь на практические показатели производственной деятельности, можно констатировать следующие пределы окончательных и временных потерь запасов металлов, определенных после окончания геологоразведочных работ:

1) создание принципиально новых физико-технических геотехнологий и минералургии позволит добыть дополнительно из месторождений нового типа природного и техногенного происхождения запасы, приведенные в табл. 1 и 2 и рис. 1;

2) эти же технологические решения создают практическую возможность за счет снижения потерь при добыче увеличить «полезную сырьевую базу» на 5-40%, равную фактическим потерям, зависящим от ныне применяемых технологий [8, 9, 10];

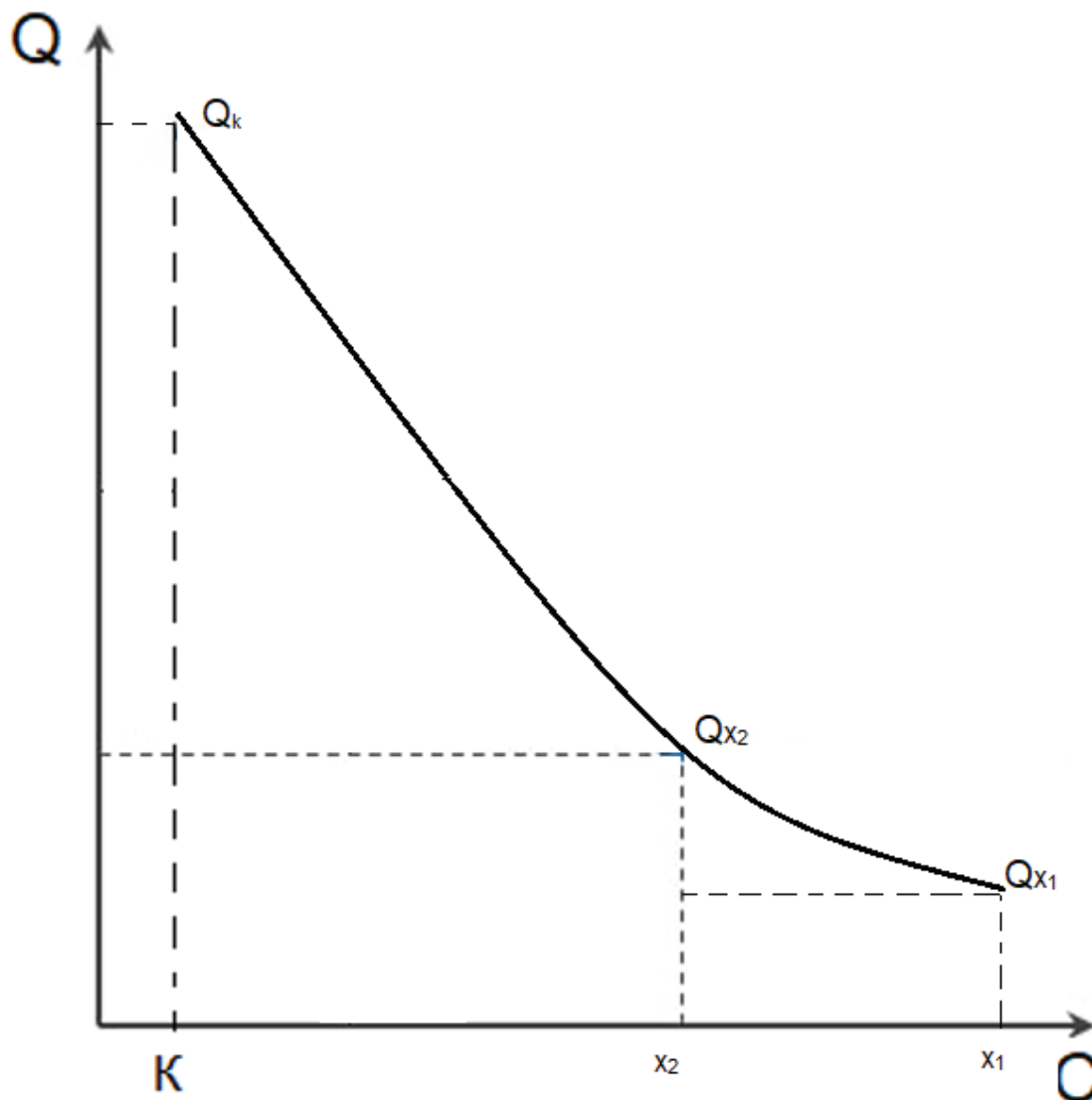
3) снижение разубоживания или полное исключение его составляет 5-100% и выше, что снизит себестоимость добычи и переработки за счет уменьшения на те же 5-100% и выше затраты и повысит извлечение при переработке на 3-50%, т.е. увеличит количество извлекаемого металла [8, 9, 10];

4) последующая возможность и логиче-

ская необходимость объединения некоторых вариантов новых геотехнологий с минералургией в единый производственный процесс со снижением капитальных и эксплуатационных затрат [11, 12];

5) создание для каждого конкретного

месторождения традиционного типа проектного обоснования по полному текущему циклу освоения недр (в первую очередь при применении физико-технических геотехнологий) с переработкой на поверхности отвалов и хвостов обогащения [11, 12];



**Рисунок 1** - Зависимость количества металлов в континентальной земной коре от кларка химического элемента и минимального промышленного содержания:

$K$  – кларк химического элемента, %;

$x_1$  – минимальное промышленное содержание на момент подготовки нового технико-экономического обоснования (ТЭО), %;

$x_2$  – минимальное промышленное содержание, принимаемое по новому ТЭО, %;

$Q_k$  – количество металла с содержанием, равным кларку, млн. тонн;

$Q_{x1}$  – количество металла с минимальным промышленным содержанием по действующему ТЭО, млн. тонн;

$Q_{x2}$  – количество металла с минимальным промышленным содержанием по новому ТЭО, млн. тонн;

$(Q_{x2} - Q_{x1})$  – прирост количества металла, экономически эффективного и технологически возможного для добычи из недр на основе нового ТЭО, млн. тонн.

Таблица 1 - Накопление химических элементов в зависимости от их кларков (автор А.П. Виноградов), сопоставление его с подтвержденными статистически запасами и с количеством по кларку в континентальной части земной коры

№№ п/п	Химический элемент	Кларк К, %		Суммарные мировые запасы химических элементов, млн. тонн		Минимальное промышленное содержание С, % (принятое Л.Н. Овчиниковым)	Коэффициент концентрации КК = С/К <sub>1</sub>	Суммарное количество химических элементов в континентальной части земной коры, рассчитанное авторами, млрд. тонн, на глубину Н <sub>атв</sub> = 5 км	
		По А.П. Виноградову, К <sub>1</sub>	По средним значениям других авторов, К <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub> по кларкам А.П. Виноградова	Q <sub>2</sub> подтвержденные по статистике за 2018-2020 гг.			Полное количество по кларку	30% от количества по минимальному промышленному содержанию Л.Н. Овчинникова
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сидерофильно-халькофильная группа									
1	Железо (Fe)	4,65	5,33	3,75?	0,84?	22:0	4,73	90,675?	5,75?
2	Титан (Ti)	0,45	0,53	4,86?	9,40?	7,0	16	8,775?	164,5?
3	Марганец (Mn)	0,10	0,09	7,52?	5,2?	5,0	50	1,950?	11,7?
4	Барий (Ba)	6,5?	4,7?	1,1?	3,00?	9,0	138	1,267?	2,755?
5	Сера (S)	3,7?	3,3?	2,1?	-	7,0	189	721,5?	1,145?
6	Ванадий (V)	9,1?	1,2?	22,0	-	0,7	77	177,45?	0,69?
7	Хром (Cr)	8,3?	9,3?	1,36910 <sup>3</sup>	1,6?	7,0	843	161,85?	57,6
8	Цинк (Zn)	8,3?	6,8?	2,0110 <sup>2</sup>	2,62?	0,7	84	161,85?	578
9	Никель (Ni)	5,8?	7,0?	54,4	75,9	0:1	17	114,1?	1,99610 <sup>3</sup>
10	Медь (Cu)	4,7?	5,3?	3,4210 <sup>2</sup>	8,3?	0,2	43	91,65?	0,639?
11	Кобальт (Co)	1,8?	2,3?	3,24	7,5	2,0?	11	35?	0,95?
12	Свинец (Pb)	1,6?	1,3?	1,0710 <sup>2</sup>	1,17?	0,3	188	31,2?	0,05?
13	Олово (Sn)	2,5?	2,3?	17,0	5,5	0,1	400	4,875?	3,656
14	Молибден (Mo)	1,1?	1,2?	5,46	15,0	5,0?	46	2,145?	13,99
15	Сурьма (Sb)	5,0?	3,0?	2,1	1,5	0,2	4000	975	0,073
16	Висмут (Bi)	9,0?	1,9?	2,5?	-	1,0?	111	175,5	0,474

17	Ртуть (Hg)	8,3?	7,2?	0,8	-	5,0?	6024	161,85	0,008
18	Серебро (Ag)	7,0?	7,3?	0,46	0,84	1,6?	228	136,5	0,179
19	Палладий (Pd)	1,3?	9,0?	8,0?	0,076	2,0?	194	25,39	0,0495
20	Платина (Pt)	7,0?	5,7?	8,0?		2,0?	585	13,69	0,0144
21	Золото (Au)	4,3?	3,5?	0,14	0,058	1,0?	233	8,385	0,0108
22	Рений (Re)	7,0?	8,0?	4,0?	-	5,0?	714	1,365	0,00057
Литофильная группа									
23	Алюминий (Al)	8,05	8,07	8,14?	14,7?	17,0	2	15,697?	2,35?
24	Калий (K)	2,5	2,13	5,5?	6,56?	2,5	1	4,875?	1,46?
25	Фосфор (P)	9,3?	0,1	6,7?	11,13?	1,3	14,0	18,135?	38,86?
26	Фтор (F)	6,6?	6,4?	1,12610 <sup>2</sup>	1,09?	6,9	105	259,65?	0,742?
27	Циркон (Zr)	1,7?	1,6?	32,0	-	2,0	118	33,15?	84,2
28	Литий (Li)	3,2?	2,5?	8,25	18,79	0,33	103	62,4?	0,18210 <sup>3</sup>
29	Ниобий (Nb)	2,0?	2,1?	19,82	4,3	0,14	70	39,0?	0,16710 <sup>3</sup>
30	Торий (Th)	1,3?	1,0?	1,12	-	0,09	69	25,3?	0,11010 <sup>3</sup>
31	Бор (B)	1,2?	9,0?	54,0	-	0,16	133	23,4?	0,05310 <sup>3</sup>
32	Бериллий (Be)	3,8?	2,0?	0,243	-	7,0?	18	7,41?	0,1235?
33	Цезий (Cs)	3,8?	4,3?	0,230	-	0,1	270	7,41?	8,23
34	Тантал (Ta)	2,5?	2,2?	0,52	1,5?	6,5?	32	4,875?	45,7
35	Уран (U)	2,5?	2,6?	2,65	7,33	2,0?	80	4,875?	18,28
36	Германий (Ge)	1,4?	1,4?	0,1	-	1,0?	7	2,73?	95,5
37	Вольфрам (W)	1,3?	1,4?	1,36	3,3	6,0?	444	2,535?	1,713
38	Гафний (Hf)	1,0?	2,4?	0,318	-	3,0?	300	1,95?	1,95
39	Индий (In)	2,5?	4,7?	1,4?	-	1,0?	40	487,5	3,656

Таблица 2 - Обеспеченность человечества важнейшими востребованными полезными ископаемыми (по оценке авторов представляемого)

№№ п/п	Химический элемент	Предполагаемое количество химических элементов в континентальной части земной коры на глубину $H_{\text{АТВ}} = 5$ км (30% от количества по минимальному промышленному содержанию, принятому акад. Л.Н. Овчинниковым), млрд. тонн	Прогнозируемая добыча на 2050 г. из недр с учетом всех видов потерь до получения готового товарного продукта, млн. тонн	Обеспеченность предполагаемым количеством химических элементов в континентальной части земной коры, лет
1	Железо (Fe)	5,75?	10?	575000
2	Титан (Ti)	164,5?	20	8,225?
3	Марганец (Mn)	11,7?	40	292500
4	Барий (Ba)	2,755?	-	-
5	Сера (S)	1,145?	-	-
6	Ванадий (V)	0,69?	-	-
7	Хром (Cr)	57,6	70	823
8	Цинк (Zn)	578	40	14450
9	Никель (Ni)	1,996?	10	499600
10	Медь (Cu)	0,639?	90	7100
11	Кобальт (Co)	0,95?	0,5	1,9?
12	Свинец (Pb)	0,05?	12	4167
13	Олово (Sn)	3,656	2	1828
14	Молибден (Mo)	13,99	0,6	23317
15	Сурьма (Sb)	0,073	0,4	182,5
16	Висмут (Bi)	0,474	-	-
17	Ртуть (Hg)	0,008	-	-
18	Серебро (Ag)	0,179	0,06	2983
19	Палладий (Pd)	0,0495	0,00045	110000
20	Платина (Pt)	0,0144	0,0006	24000
21	Золото (Au)	0,0108	0,006	1800
22	Рений (Re)	0,00057	0,01	57
23	Алюминий (Al)	2,35?	0,250	94?



24	Калий (K)	1,46?	1	14,6?
25	Фосфор (P)	38,86?	0,3	129000
26	Фтор (F)	0,742?	0,02	37100
27	Цирконий (Zr)	84,2	-	-
28	Литий (Li)	0,182?	0,1	1,82?
29	Ниобий (Nb)	0,167?	-	-
30	Торий (Th)	0,11?	-	-
31	Бор (B)	0,053?	-	-
32	Бериллий (Be)	0,1235?	-	-
33	Цезий (Cs)	8,23	-	-
34	Тантал (Ta)	45,7	-	-
35	Уран (U)	18,28	0,1	182800
36	Германий (Ge)	95,5	-	-
37	Вольфрам (W)	1,713	0,5	3426
38	Гафний (Hf)	1,95	-	-
39	Индий (In)	3,656	-	-

1. Из таблицы 2 видно, что, используя закономерность распределения металлов по прямой пропорциональности, которая определяется степенью распространенности (кларком) каждого из них в земной коре, можно определить новое направление развития горнометаллургической отрасли.

2. Из столбца 3 видно, что минимальное промышленное содержание и обеспеченность сырьевой базой металлов взаимосвязаны в прямой пропорциональности.

б) реализация в соответствии с предлагаемой объединенной технологической классификацией циркулярной экономики с максимально экономически и технологически возможным кратным возвратом металлического сырья, однажды уже произведенного, к начальному состоянию (рис. 2) технологического решения позволит увеличить сроки эксплуатации месторождений как традиционно, так и нового типа в несколько раз;

7) одним из самых серьезных достиже-

ний в области рационального использования металлического сырья при добыче руды из недр явится размывание границ «бортового содержания» и «забалансовых запасов» в сторону резкого уменьшения их проектных экономически эффективных значений с внедрением новых физико-технических и физико-химических геотехнологий и минералургии. Они становятся реальностью вследствие снижения себестоимости и увеличения полноты извлечения как ожидаемого результата производственной деятельности на основе разработанных технологий.

Выполненная работа решает важнейшую задачу расширенного воспроизводства невозобновляемых в историческом масштабе времени ресурсов металлов и обеспечения мировой цивилизации неисчерпаемыми их запасами. Идея и сущность работы, не имея аналогов в мировой науке, является научным Открытием, создающим условия существования цивилизации ее материальными потребностями.

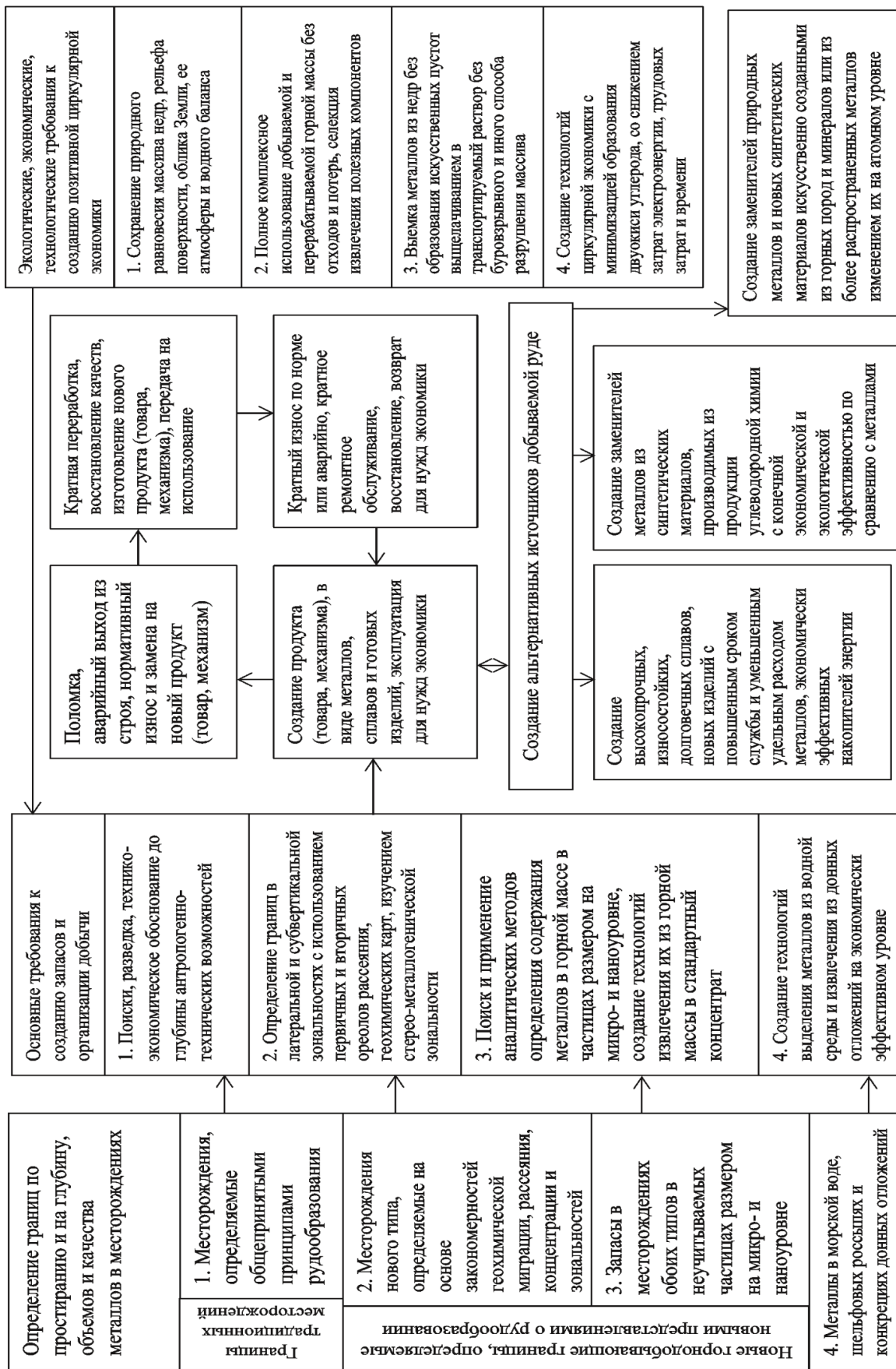


Рисунок 2 - Совмещенная технологическая классификация циркулярной экономики металлов

Обсуждение результатов. Прямого сопоставления сущности представляемой работы, объединяющей возможность и необходимость плодотворного использования природных геохимических закономерностей и входящих в состав массива недр микро- и наноразмерных частиц металлов, пространственно и конструктивно оформленных геотехнологических решений изъятия металлов из недр в виде руды или выщелоченного металла, технологии полного текущего освоения недр и использование возможностей циркулярной экономики невозможно провести в комплексном виде всех направлений освоения недр и получения металлического продукта, изъятых из них.

Как уже сказано выше, наличие микро- и наноразмерных частиц металлов, которые до сих пор никем не обнаруживались как неучитываемый резерв ресурса металлов в недрах, доказано казахстанскими учеными из Института геологических наук имени К.И. Сатпаева. В нашей работе это направление качественного освоения недр предложено включить в общую программу формирования новой сырьевой базы.

Создание технологий и проектного обоснования полного текущего освоения недр впервые было высказано акад. Агошковым М.И. и принято к практической научно подтвержденной реализации в ИПКОН РАН (К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, Ю.П. Галченко, М.В. Рыльникова) [13].

Вытекающие из геологической информации и статистики состояния мировой сырьевой базы в сравнении с перспективами развития рынка металлов негативные ожидания учеными-аналитиками рассматривались, изучались и анализировались, но практические предложения отсутствуют до сих пор.

В частности, наиболее близко к практической стороне решения проблемы расширенного воссоздания сырьевой базы металлов подошла Специальная Комиссия Научного Совета Российской академии наук по проблемам горных наук. Ведущие ученые России во главе с выдающимся горным инженером современности акад. К.Н. Трубецким были вынуждены признать: «... Известно, что масштабы, а также интенсивность освоения недр возрастают, но расширяются ли в связи с этим наши знания о возможностях, которые могут представить недра для человека, и граничных для

этого условиях? Несомненно, расширяются, но далеко не в требуемой степени» [14]. Как видно, проблема обозначена четко, но конкретное решение не предложено. Необходимо отметить, что К.Н. Трубецкой в своем труде [14] развил данное представление, вводя понятия «ресурсовоспроизводящие функции горного производства» и «ресурсовоспроизводящие геотехнологии». На основе их в принципы комплексного освоения недр были разработаны и включены процессы создания новых ресурсов недр, в том числе путем перевода потенциальных, т.е. не полностью выявленных и оцененных, в реальные. Как при этом сказано: «Для этого необходимо изменение условий залегания минеральных образований, их качества, а также параметров, сроков формирования и состояния выработанного пространства». Мысль закончена формулировкой «есть основания предположить, что ... этап развития комплексного освоения недр будет отличаться от предыдущих включением в состав ресурсов недр нового по содержанию экологического ресурса».

Приведенное представление о дальнейшем развитии комплексного освоения недр в нашей работе получает свое научно-практическое обоснование в разработанных для реализации направлениях формирования сырьевой базы металлов нового типа.

Исследования, проведенные еще в далеком 1972 г. Массачусетским технологическим институтом во главе с проф. Джерри Фостером (газета «Время» за 26.8.2021 г. на стр. 48 и газета «Комсомольская правда» за 15.09.2021 г. на стр. 24), состоящие из 12 сценариев развития человеческого общества, показали остановку промышленного роста к середине XXI века из-за нехватки невозобновляемых ресурсов. Актуальность этих выводов была проверена группой во главе с руководителем отдела аудиторской компании KPMG Гайей Херрингтон в 2021 г. (журнал «Yale Journal of Industrial Ecology»), которая подтвердила, что «необходимы срочные изменения по созданию основ для мира, ресурсов минерального сырья которого будет достаточно для всех».

Как видно, проблема опять была обозначена верно, но конкретно опять ничего не предложено. Мы, в свою очередь, считаем, что создание научного направления по комплексному формированию месторождений ново-

го типа, предложенного в данной статье, по своей приоритетности, научно-практической значимости, доказуемой абсолютной новизной сущности, обоснованности на действующих в природе, но неиспользуемых до сих пор геохимических закономерностях и практической исполнимости с точки зрения экономичности, технологичности, безопасности и экологичности является Научным Открытием.

Геотехнологии, предлагаемые в работе, являются принципиально новыми, в то же время классифицируемые по своим основным признакам исполнения на подземных горных работах как составная часть технологических схем и систем разработки, применяемых в настоящее время.

Исходя из сказанного, сопоставление с отечественными и мировыми аналогами невозможно из-за их отсутствия.

Дискуссионные моменты у возможных оппонентов могут быть, и такая обстановка вполне объяснима, во-первых, в то же время мы готовы к таким дискуссиям и считаем их возможными и нужными, во-вторых.

### **Выводы.**

1) Выяснено и предложено считать, что месторождения нового типа, которые человечество должно определять в континентальной земной коре в связи с полным исчерпанием их запасов в традиционных месторождениях полезных ископаемых в соответствии с общепринятой ныне трактовкой, будут слагаться определением объектов недропользования из практического использования закономерности зависимостей накоплений химических элементов природного и техногенного характера.

При этом предел содержаний химических элементов в горной массе минерального сырья, учитываемой как запасы нового типа, будет определяться технико-экономическими расчетами конечной совокупной эффективности затрат на поиски, определение количественно-качественных характеристик, добычи и переработки.

2) Расчёты новых запасов, выявляемых в континентальной земной коре, формирующихся под объективным воздействием известных и действующих в неживой природе геохимических закономерностей, показывают на наличие скоплений химических элементов, обеспечивающих их неисчерпаемость на протяжении

тысячелетий. Расчёты основаны на величинах кларков и минимальных промышленных содержаний. В свою очередь, минимальные промышленные содержания имеют тенденцию к постоянному снижению в соответствии с развитием науки и технологий.

3) Указанные величины запасов будут увеличены на пока не поддающиеся расчету количество металлов, содержащихся в микро – и наноразмерных частицах, неучитываемых в настоящее время. Необходимо разработать аналитические возможности их определения, обнаружить закономерности их образования и местонахождения и создать технологии их передачи в добываемый объём. Такой технологией в первую очередь является физико-химический способ. Следует разобраться с влиянием микро – и наноразмерных частиц на величину кларков химических элементов.

4) Важным направлением расширенного воспроизводства невозобновляемых ресурсов металлов в недрах является создание физико-технических геотехнологий комбинированной разработки открыто-подземным и подземно-подземным способами и их вариантов с развитием подземных горных работ восходящим способом с применением системы разработки горизонтальными слоями с твердеющей закладкой.

5) Таким же по экономической значимости и безопасности направлением является создание физико-химических геотехнологий с выемкой выщелачиванием металлов из рудного массива недр в раствор и сохранением природного равновесия рудного массива.

Предлагаемые физико-технические и физико-химические геотехнологии обеспечат увеличение - «полезную» сырьевую базу металлов - на величину возвращаемых из потерь количества металлов.

6. Единый совмещенный производственный процесс геотехнологий и минералургии создаёт следующие возможности кардинального улучшения технико-экономических результатов разработки месторождений традиционных и нового типа.

7. Необходимо повсеместное превентивное проектное решение применения горнотехнических систем с полным текущим циклом освоения рудных месторождений.

8. Реализация в соответствии с предлагаемой объединенной технологической клас-



сификацией циркулярной экономики горно-металлургической отрасли в традиционных и новых горнодобывающих границах увеличит запасы уже готовых к употреблению (без добычи и переработки) металлов при многократном возврате металлического сырья к начальному состоянию в цикле машиностроения в несколько раз. Циркулярная экономика позволит устранить из учёта все затраты на добычу и обогащительный передел, на объём возвращаемых в оборот металлов.

9. Заявка основанной на на признание научной работы, применении действующих в неживой природе геохимических закономерностей и объективных законов физико-химических и физико-технических явлений и свойств неживой материи, Научным Открытием создаёт реальные возможности и решает

важнейшую задачу постоянного расширенного воспроизводства невозобновляемых в историческом масштабе времени ресурсов металлов и обеспечения мировой цивилизации неисчерпаемыми их запасами.

10. Учитывая абсолютную новизну, актуальность исследований и необходимость конкретной практической детализации технологического и конструктивного оформления в соответствии с природным многообразием решений самой насущной базовой проблемы обеспечения материальных потребностей мировой цивилизации, работа должна быть продолжена.

Источник финансирования исследований. Данные исследования проведены благодаря гранту № AP14871011 Комитета науки Министерства наук и высшего образования Республики Казахстан.

## Список литературы

1. В.И. Смирнов «Геология полезных ископаемых. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982, - 669 с.
2. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – С. 17-39.
3. Перельман А.И. Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989 – С. 338-354.
4. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990. – С. 39-43.
5. Ферсман А.Е. Избранные труды. Т. 1-5. – М.: Изд. АН СССР, 1952-1959. – С.7.
6. Агошков М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр. – М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 324 с.
7. Горное дело: Терминологический словарь / Под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Горная книга», 2016. – С. 41 и С. 268.
8. Битимбаев М.Ж. Технологическое обеспечение эффективного и комплексного развития добычи и обогащительного передела полезных ископаемых в XXI веке (проблемы, перспективы, приоритеты): Монография. – Алматы, 2020. – 160 с.
9. M.Zh. Bitimbayev, Y.S. Oryngozhin, N.A. Miletenko, Zh.N. Alisheva. An innovative way of underground mining, 2022, №1 (37), Pp. 38-40.
10. M.Zh. Bitimbayev, K.B. Rysbekov, D.K. Akhmetkanov, N.A. Miletenko. Improvement and systematization of principles and process flows in Mineral Mining in the Republic of Kazakhstan. – М.: Ore and Metals "Publishing house "Eurasian Mining", 2022, №1(37), 2022. Pp. 41-45.
11. Битимбаев М.Ж., Кунаев М.С., Париллов Ю.С. Роль и значение кларков химических элементов в расширенном воспроизводстве запасов минеральных ресурсов // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – С. 21-24.
12. Битимбаев М.Ж., Юсупов Х.А., Абен Е.Х., Алишева Ж.Н., Джумабаев Е.И. Инновационные технологические схемы комбинированных геотехнологий // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН. – 2022. – С. 12-16.
13. Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова. Принципы проектирования и реализации горнотехнических систем с полным циклом освоения рудных месторождений // Проблемы проектирования технологии подземной и комбинированной разработки рудных месторождений. – М.: ИПКОН РАН, ГИАБ. – 2013. – С. 3-11.



14. К.Н. Трубецкой, Ю.Н. Малышев, Л.А. Паучков, Н.Н. Чаплыгин, Е.П. Максимова и др. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. – М.: Издательство Академии горных наук. – 1997. – С. 6, 62-66, 196-213, 284-348.

15. К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко. Основы горного дела: Учебник. – М.: Академический проект, 2010. – С.5-26.

---

**Битимбаев М. Ж., Кунаев М. С., Юсупов Х. А., Алишева Ж. Н. ЖАҢА ҮЛГІДЕГІ КЕН ОРЫНДАРЫН ҚҰРАТЫН, ҚАЗІР ЕСКЕРІЛМЕЙТІН МЕТАЛДАРДЫҢ ШИКІЗАТ БАЗАСЫН ТАБИҒИ ЖӘНЕ ТЕХНОГЕНДІК ҚАЛЫПТАСТЫРУ.**

**Түйіндеме.** Кен - геологиялық процестердің және олармен бірге жүретін геохимиялық заңдылықтардың әсерінен туындаған табиғи немесе минерал түзуші түрдегі химиялық элементтердің табиғи шегіндісі, онда кейбір химиялық элементтердің концентрациясы белгілі бір қалпына келтіру кезеңінде рентабельді болу үшін жеткілікті мөлшерге жетеді.

Рентабельді өндіруді қамтамасыз ететін өндірістік процестің өзі геологиялық барлау жұмыстарынан кейін жобалау және кейіннен өндіру, байыту және металлургиялық қайта бөлу кезеңінен басталады.

Ғылым дәлелдеді және статистика метал түріне байланысты 30-150 жыл ішінде континентальды жер қыртысында 5 км тереңдікке дейін қорлардың күтілетін толық сарқылуын растады.

Геотехнологиялар мен минералогияның бірлескен процестерін, жер қойнауын игерудің толық ағымдағы циклін және айналмалы экономиканы қолдану негізінде табиғи және техногендік шығу тегі жаңа типтегі тарихи уақыт ауқымында сарқылмайтын кен орындарын құру бойынша әлемде теңдесі жоқ ғылыми негізделген және іс жүзінде мүмкін технологиялық шешімдер ұсынылды.

**Түйінді сөздер:** кен түзілуі, геохимиялық заңдылықтар, геотехнология, минералогия, жер қойнауын игеру, циркулярлық экономика.

---

**Marat Bitimbaev, Mirgali Kunayev, Khali Yusupov, Zhanat Alisheva. NATURAL AND ANTHROPOGENIC FORMATION OF CURRENTLY UNACCOUNTED RAW MATERIAL BASE OF METALS, CREATING DEPOSITS OF A NEW TYPE**

**Annotation.** Ore - natural deposition of chemical elements in the native or mineral-forming form, caused by the action of geological processes and their accompanying geochemical regularities, in which the concentration of some chemical elements reaches a value sufficient for cost-effective extraction in a given period.

The production process itself, which ensures profitable extraction, begins after geological exploration from the stage of design and subsequent extraction, enrichment and metallurgical processing.

Science has proved and statistics have confirmed the expected complete depletion of reserves in the continental earth crust to a depth of 5 km within 30-150 years depending on the type of metal.

Scientifically substantiated and practically possible technological solutions, which have no analogues in the world, are proposed for the creation of historically inexhaustible deposits of a new type of natural and technogenic origin based on the use of combined processes of geotechnology and minerallurgy, a full current cycle of subsoil development and a circular economy.

**Key words:** ore formation, geochemical regularities, geotechnologies, minerallurgy, subsoil development, circular economy.

---

**Сведения об авторах**

1. **Битимбаев Марат Жакупович**, горный инженер, доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан; академик Международной инженерной академии, академик Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан (Республики Казахстан), главный редактор «Горного журнала Казахстана», mbitimbayev@mail.ru, +7 701 744 9508;

2. **Кунаев Миргали Сапарғалиевич**, инженер-геофизик, доктор геолого-минералогических наук, академик Российской академии естественных наук (Республика Казахстан), Председатель Совета Директоров Американской компании «CaspianServicesInc.», k.mirgali@gmail.com;

3. **Юсупов Хали Абенович**, доктор технических наук, член-корреспондент НАН РК, профессор Satbayev University, yusupov\_kh@mail.ru, +7 705 313 3550;

4. **Алишева Жанат Нуркуатовна**, PhD, и.о. доцента, Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан, zhannat\_86.2007@mail.ru, +7 777 3838986.

## НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Т.Н. Мендебаев*

ТОО «Научно-внедренческий центр Алмас», г.Алматы, Казахстан

---

**Аннотация.** Выработаны исходные предпосылки эффективного освоения геотермальных месторождений.

Геологические – достоверные сведения о геологическом строении залежей термальных вод, составах, физико-механических свойствах горных пород в системе «вода-порода».

Технические – средства сооружения скважин, конструктивными особенностями и технологическими возможностями соответствующие условиям горной среды, обеспечением получения высокоинформативного геологического материала в виде керна, сохранением устойчивости стенок скважин от обрушения и осыпания. Разработаны и опробованы на практике бурения скважин серии алмазных буровых коронок с гидроструйным эффектом разрушения пород, соответствующие условиям вскрытия горячих источников.

Предложена схема циркуляционной системы вскрытия и освоения геотермальных месторождений, состоящие из вертикально нагнетательной и наклонно восходящей скважины, связанные плавным изгибом промежуточным стволом.

Идейная новизна схемы, отличная от всех известных схем разработки геотермальных месторождений в мире, предусмотрена возможность создания условий для проявления внутренней энергии недр земли и термального горизонта, направленная на повышение эффективности освоения геотермальных месторождений.

Структурные особенности схемы заключаются в том, что вертикальная нагнетательная скважина обсаженная фильтровой колонной в разрезе термального горизонта выполнена со уступами, где при подаче воды зарождаются ударные волны повышенного и пониженного давления, разделением потока воды на центральное ядро и боковые составляющие. В результате термальный горизонт испытывает воздействие знакопеременных гидроимпульсов, увеличением проницаемости пород и ускорением притока воды в скважину.

При этом связкой системы скважин промежуточным стволом, и заложением восходящей скважины наклонно обсаженной фильтровой колонной, обеспечивается объемный охват термального горизонта, увеличением срока бесперебойной эксплуатации, где канал циркуляции от нижнего уступа до входа в емкость плавноизгибными соединениями выполнен одним диаметром. Тем самым исключаются местные потери напора.

Шлифованием стенки промежуточного ствола с упрочнением горных пород, устраняются утечки воды и потери напора по длине канала циркуляции.

Значимость схемы циркуляции – извлечения горячих вод осуществляется принудительным самоизливом, без привлечения энергии извне.

**Ключевые слова:** геотермаль, схема, циркуляция, скважина, импульсы, энергия.

---

Введение. Геотермальные месторождения – это пористые горные породы заполненные горячей водой, представляющие природные котлы.

Тепловой баланс первых 10 км земной коры в тысячи раз превышает теплотворную способность мировых запасов ископаемых в виде топлива.

По расчетам ученых, если человечество будет использовать одну только геотермальную энергию, пройдет 41 млн.лет, прежде чем температура недр земли понизится на полградуса [1].

В настоящее время более 100 стран мира используют геотермальные источники для получения тепла и производство электрической энергии. Лидерами по мощности геотермальных электростанции являются США, Филиппины, Мексика, Индонезия, Италия, Япония.

В Исландии, более 90% потребности страны в отоплении и горячем водоснабжении обеспечивается за счет источников горячей воды, где геотермальная станция мощностью 575 МВт, покрывает треть мощностей страны в электричестве.

В последние десятилетия в освоении геотермальных месторождений особенно активен Китай, вышедший в лидеры по направлению прямого использования геотермальной энергии. В Поднебесной исследуются проблемы использования энергии горячих сухих пород.

Кроме Китая, и другие страны не обладающие значительными запасами горячих источников, такие как Германия, Франция, строят у себя геотермальные электрические станции (ГеоТЭС). В этом направлении Европейским странам приходится уходить в глубь недр земли и использовать более сложные технологии.

Доказано, что на любой глубине недр земли температура  $T$  приближенно может быть определена по формуле

$$T = t_{\text{в}} + (H + h)/\sigma,$$

где  $t_{\text{в}}$  - температура воздуха данной местности,  $H$ - глубина, для которой определяется температура,  $h$  - глубина слоя постоянных годовых температур,  $\sigma$ - геотермическая ступень. Средняя величина геотермальной ступени равна 33 м, и с углублением этой зоны постоянной температуры на каждые 33 м повысятся на 1°C.

Обнаруженные запасы геотермальных источников Казахстана эквивалентны 97,1 млрд.тонн условного топлива, что на порядок больше суммарных запасов нефти и газа страны вместо взятых.

Установлено пять геотермальных зон Казахстана: до 20°C-холодные воды, 20-40°C-термальные, пригодные в бальнеологии, парниковых и тепличных хозяйствах, 40-75°C используемые для теплоснабжения, 75-100°C и более 100°C – источники для выработки электрического тока.

Распределены по регионам страны в эквиваленте млрд.тонн условного топлива: Западный – 75,9(78,2%), Южный – 15,6(16%), Центральный – 5,3(5,5%), Северный – 0,3(0,3%) и Восточный 0,003.

По температурному градиенту, геотермальные месторождения, представляющие интерес для производства электрической энергии залегают в Илийском, Сырдарьинском, Мангистау-Устюртском, Шу-Сарысуйском артезианских бассейнах. Основные достоинства – артезианских бассейнов предгорных и межгорных впадин – водообильность и высокая температура при сравнительно неглубоком залегании [2].

Стоимость выработки геотермальной энергии неизменна, в среднем на 30% дешевле чем на ветровых электростанциях, на 60-70% на атомных электростанциях, и в 10 раз ниже стоимости энергии солнечных батарей.

Низкая стоимость геотермальной энергии в разрезе возобновляемых источников энергии обусловлена коэффициентом полезного действия геотермальных электростанции, доходящего до 90%, тогда как на атомных электростанциях 40-44%, ветрогенераторов – 10-15%, газовых электростанции 72-74% [3].

К тому же, количество парникового газа, выделяемого геотермальной энергоустановкой составляет всего 5% от того, что выделяют угольные электростанции [4].

Недостатки геотермальной энергии, возможность содержания в ней токсичных химических веществ, в том числе мышьяк, ртуть, а также нерациональная схема извлечения термальной воды, предусматривающая использования водоподъемных приспособлений, громоздких насосов, привлечением энергии извне, досрочное истощение геотермальных резервуаров.

Помимо этого, при передаче на расстояние теплота быстро рассеивается, пар можно транспортировать на расстояние не более 2-3 км, а горячую воду до 25-30 км.

Кроме высокой температуры, в отношении производства электрической энергии на геотермальных месторождениях, наиболее привлекательны пресные или слабоминерализованные воды, в которых отсутствуют токсичные и другие вредные компоненты, нет песка и глины.

Что же касается схемы извлечения термальных вод, то наибольший интерес вызывает метод hot-dry rock (HDR), использованный при строительстве геотермальной электростанции в Эльзасе (Франция) мощностью 250 мегаватт.

По нему на глубину 4 и 6 километров пробурены две скважины, через одну закачивается холодная вода, через другую отводится разогретый пар, поскольку температура на такой глубине достигает 150-200°C.

В настоящее время планомерные работы по геотермальной тематике ведутся в Российской Федерации. В институте геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ОиВТ РАН (г.Махачкала) проводятся исследования по технологии циркуляционной системы добычи геотермальной энергии. Изучение циркуляционной системы освоения горячих источников осуществляется также в Грозненском государственном нефтяном техническом университете [5].

Цель исследования – выработка исходных предпосылок для формирования циркуляционной системы вскрытия и извлечения термальных вод принудительным самоизливом.

Методы исследования. Всемирные геотермальные конгрессы проводятся раз в пять лет и является главным смотром достижений в освоении геотермальных ресурсов, представляет обширный материал для анализа основных направлений развития геотермальной энергии.

Количество статей, представленные во Всемирный геотермальный конгресс и сгруппированные по тематическим разделам дает наглядное представление о проблемах освоения геотермальных месторождений, требующих повышенное внимание. В последнем геотермальном конгрессе (2019 г) актуальной те-

мой стала «Технология бурения и завершения скважин» [6].

Строительство скважин есть одной из наиболее трудоемких, затратных частей геотермальных проектов. Поэтому нахождение тематического раздела «Технология бурения и завершения скважин» на первой позиции по индексу опережающего развития является ожидаемым и соответствующим новым условиям выдвигающим повышенные требования к эффективности применяемых технологии и техники сооружения скважин.

Исходные предпосылки для сооружения циркуляционной системы – получения достоверных сведений о геологическом строении геотермальных месторождений, интервалах расположения горячих вод, запасах и т.д., разработка средств безаварийной проводки скважин сохранением устойчивости стенок от обрушения, снижения энергозатрат, растущие с глубиной.

Достоверность и информативность геологических материалов обеспечивается получением структурно цельного керна, изучением которого в лабораторных условиях определяется состояние системы «вода-порода», содержания различных веществ, состав газов и радиоактивность, фильтрационные параметры, водные, физические и механические свойства пород [7].

Получение высокоинформативного керна при бурении скважин обусловлена состоянием горной среды, техническими и технологическими факторами. Принимаются во внимание минеральный состав, структура и текстура, сопротивляемость пород к деформированию и разрушению.

Из источников информации [8; 9] посвященных средствам бурения скважин, следует, что проблемы сохранения формы, размеров и стенки скважин, получения информативного керна и снижения энергозатрат углубки увязаны конструктивными особенностями породоразрушающих инструментов.

Для получения качественного керна норвежской технологической компанией CorelJ и Intelligent Coring System (ICS) выдвинут проект – спроектировать компоновку, которая может регистрировать основные параметры пласта и флюида вместе с внутрискважинной диагностикой [10].

В отношении сохранности столбиков



керна, перспективными представляются бурильные головки содержащие продольные каналы для подачи промывочной жидкости вне зоны образования керна [11; 12].

Другая проблема проводки скважин для вскрытия глубокозалегающих геотермальных месторождений – снижение энергозатрат процесса разрушения пород. Весомый ресурс для решения этой проблемы – гидроструйное разрушение пород, использованием энергии, высокоскоростных, напорных струи воды.

Исследования показали [13; 14], что гидроструйное бурение может увеличить механическую скорость по сравнению с роторным до 40%, снижением энергозатрат на 25-30%.

В области гидроструйных технологии наиболее распространен гидромеханический способ разрушения горных пород, основанный на комбинации механического режцового инструмента и высокоскоростной струей воды [15; 16].

Из источников информации [17] следует, что решение проблем безаварийной проводки скважин, также связаны с конструктивными отличиями и технологическими возможностями породоразрушающих инструментов, определяющих вид разрушения пород и обработки стенки скважин.

Исходя из изложенного, для сооружения геотермальных скважин была разработана алмазная буровая коронка со ступенчатой матрицей и гидромеханическим эффектом разрушения пород, связанная с турбулизатором-расширителем.

Конструктивные особенности алмазной коронки в сочетании с турбулизатором-расширителем, раздельная система промывки в виде каналов, выходящие в кольцевые канавки на торцевой поверхности ступенчатой матрицы вне зоны образования керна, криволинейные полости на внешней поверхности турбулизатора-расширителя, расширяющиеся по направлению вращения, и замкнутые стенками полуцилиндрической формы.

Технологические возможности алмазной коронки, обусловленные конструктивными особенностями, энергией высокоскоростной струи создания зоны разрыхления под ступеньками матрицы, снижением сопротивляемости пород к разрушению, превращения восходящего потока со шламом выбуренной породы во вращательно-восходящей, обеспе-

чивающие повышение интенсивности выноса шлама и чистоты обработки стенки скважин.

Результаты внедрения алмазной буровой коронки с гидроструйным эффектом разрушения пород в сочетании с турбулизатором-расширителем в производство бурения скважин показали, что они могут быть успешно использованы при сооружении циркуляционной системы извлечения термальных вод.

На рис.1 показана схема циркуляционной системы извлечения термальных вод, состоящая из вертикальной нагнетательной скважины 1 со уступами 2 и 3, обсаженная фильтровой колонной 4 и наклонно восходящей скважины 5 обсаженная фильтровой колонной труб 6.

Скважины 1 и 5 плавным изгибом связаны промежуточным стволом 7 проведенный по водоупорным породам 8 ниже термального горизонта 9. Стенки промежуточного ствола 7 шлифуют с последующим упрочнением водоупорных пород 8 высокотемпературным устройством до стекольной чистоты, устранением утечки воды и потери напора, обеспечением устойчивости от обрушения, осыпи.

Фильтровая колонна труб 6 соединена трубопроводом 10 проходящего через сепаратор 11, тепловую электростанцию 12, и входящего в емкость 13 сверху вниз, где канал циркуляции воды от уступа 3 до входа в емкость 13 выполняется одним диаметром, что в совокупности с плавно изгибными соединениями обеспечивает значительное снижение потери напора по длине канала.

Емкость 13 оснащена вентилем 14 и патрубком 15 для отвода воды. При этом нижняя внутренняя поверхность емкости 13 выполнена конусно сужающимися вниз, диаметром на выходе равным внутреннему диаметру фильтровой колонны труб 4 нагнетательной скважины, на которой и установлена емкость 13 заполненная водой.

Принцип действия. При открытии вентиля 14 вода из емкости 13 под собственным весом поступает в фильтровую колонну 4, скважины 1 и увлекая воду из термального горизонта 9 направляется вниз. Как только поток воды доходит до уступа 2, на этом месте зарождается гидравлический удар, разделяющий поток на центральное ядро и боковые составляющие (границы обозначены пунктирными линиями), последние в виде волны по-



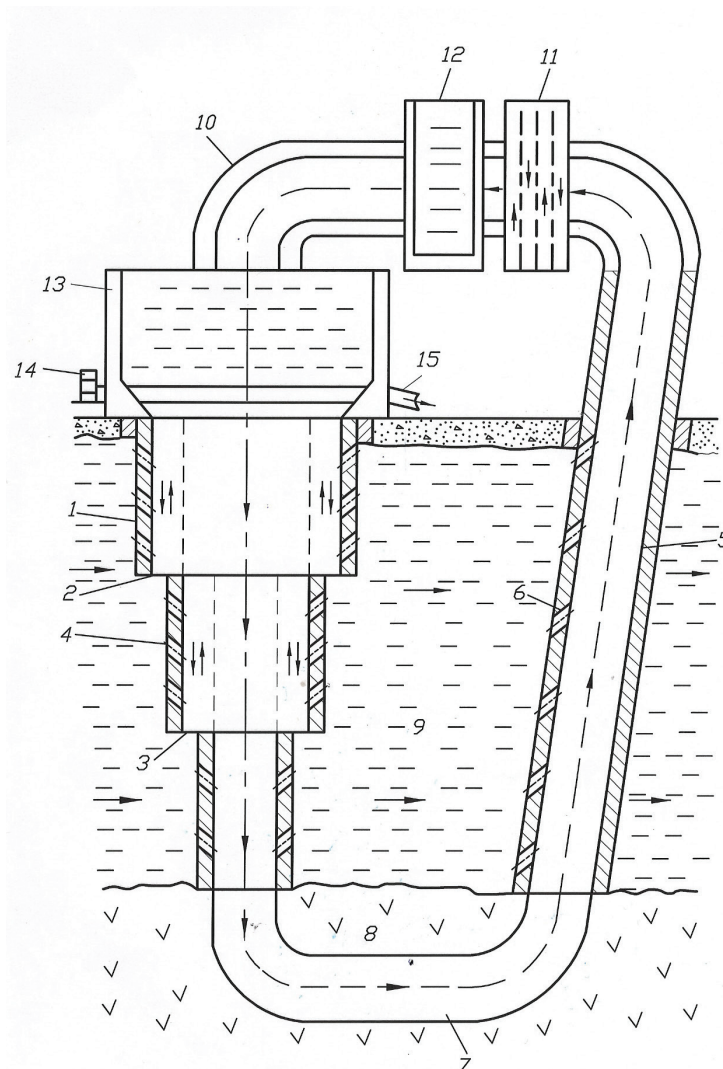
вышенного давления движутся от уступа 2 в сторону емкости 13, воздействуя на термальный горизонт 9 в обратном направлении.

Дойдя до емкости 13, напорный поток разожмется, появляется отраженная отрицательная волна, которая от емкости 13 движется в сторону уступа 2. Как только отрицательная волна доходит до уступа 2, в этом месте возникает отраженная отрицательная волна, противоположная той отрицательной волне которая подошла к уступу 2, после чего на уступе 2 вновь зарождается волна повышенного давления. Цикл повторяется.

Такие же явления зарождения гидравли-

ческого удара, появления волны повышенного и отрицательного давления происходят между уступами 2 и 3, в силу чего знакопеременными воздействиями ударных волн на термальный горизонт 9 обеспечивается повышение проницаемости и извлекаемости горячей воды.

В силу разности скорости и давлений между центральным ядром и боковыми составляющими потока, частицы воды из последних проникает в центральное ядро, усилением энергетических характеристик потока поступающего из полости фильтровой колонны труб 4 в промежуточный ствол 7, проведенный по водоупорным породам 8.



**Рисунок 1** – Схема циркуляционной системы геотермальной энергоустановки

1-нагнетательная скважина; 2 и 3-уступы; 4-фильтровая колонна; 5-восходящая скважина; 6-фильтровая колонна; 7-промежуточный ствол; 8-водоупорные породы; 9-термальный горизонт; 10-трубопровод; 11-сепаратор; 12-тепловая электростанция; 13-емкость; 14-вентиль; 15-патрубков.

Далее, напорный поток перетекает из промежуточного ствола 7 в полость фильтровой колонны труб 6 наклонно восходящей скважины 5, и за счет эффекта инжекции увлекает дополнительную массу горячей воды из термального горизонта 9, по трубопроводу 10 поступает в сепаратор 11, где происходит отделения воды от газа, других примесей.

От сепаратора 11, горячая вода для подогрева и производство электрической энергии, попадает в теплоэнергетическую станцию 12, из которой проходя через систему превращения пара в горячую воду, последняя по трубопроводу поступает в емкость 13. Расчетный объем горячей воды через патрубок 15 направляется к теплосети.

Особенность данной циркуляционной системы извлечения термальной воды заключается в том, что она основана на законах подземной гидродинамики, создающие условия для проявления внутренней энергии недр земли и термального горизонта, действующая без привлечения энергии извне. По конструктивному исполнению и технологическим возможностям, циркуляционная система извлечения термальных вод может быть успешно внедрена не только для

освоения напорных геотермальных месторождений, но и слабонапорных и безнапорных.

Результаты исследования. На рис.2 показаны алмазные буровые коронки с гидроструйным эффектом разрушения горных пород. Коронки были отработаны на месторождениях полиметаллов Центрального Казахстана.

Сравнительные данные отработки се-

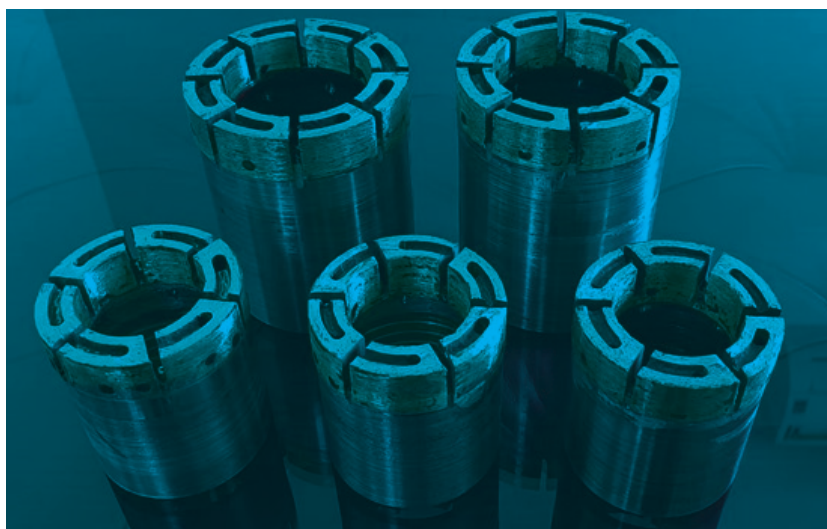


Рисунок 2 - Алмазные буровые коронки с гидроструйным эффектом разрушения горных пород

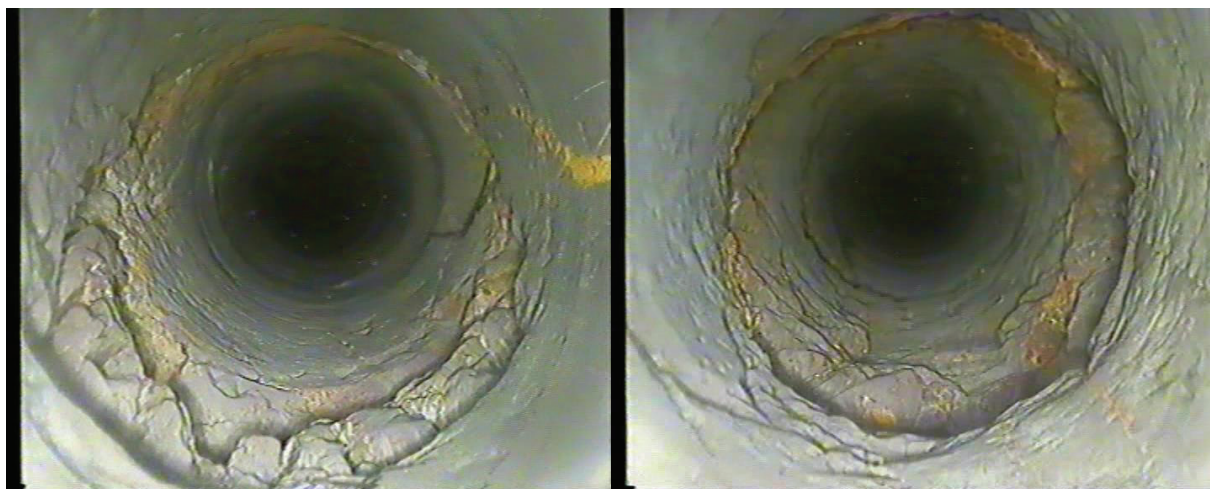
рийных алмазных коронок типа КБ-ИЗАТ и алмазных буровых коронок с гидроструйным эффектом разрушения горных пород приведены в табл.1.

Таблица 1 – Данные отработки серийных алмазных буровых коронок и алмазных коронок с гидроструйным эффектом разрушения горных пород

Типы алмазных буровых коронок	Пробурено, м	Режимы бурения скважин			Механическая скорость бурения, м/час	Выход керна, %	Затраты энергии, кВт/час
		Осевая нагрузка, кгс	Частота вращения, об/мин	Расход промывочной жидкости, л/мин			
1.Серийные КБ-ИЗАТ диаметром 95,6 мм	242	2200-2500	500-600	80-90	2,8-3,0	93	2,1-2,4
2.С гидроструйным эффектом разрушения пород диаметром 95,6 мм	181	700-900	300-400	60-70	2,5-2,7	98	1,2-1,5



На рис.3 видеосъемки стенок гидрогеологической скважины, пробуренные шарошечным долотом Ш-190,5 СТ и алмазной бурильной головкой диаметром 190,5 мм с гидроструйным эффектом разрушения горных пород.



а



б

**Рисунок 3** - Состояние стенки гидрогеологической скважины: а – пробуренные шарошечным долотом Ш-190,5СТ; б – пробуренные алмазной бурильной головкой гидроструйным эффектом разрушения пород диаметром 190,5 мм

На рис.4 показаны состояния отобранных керновых проб при бурении скважин алмазными буровыми коронками диаметром 95,6 мм с гидроструйным эффектом разрушения пород и серийными алмазными коронками КБ-ИЗАТ диаметром 95,6 мм.



а



б

**Рисунок 4** – Состояние отобранных керновых проб : а – алмазными буровыми коронками Ø95,6 мм с гидроструйным эффектом разрушения пород; б – серийными алмазными коронками КБ-ИЗАТ Ø95,6 мм

По состоянию удельной кусковатости керна на погонный метр бурения скважин в сопоставимых геолого-технических условиях видно, насколько эффективны алмазные коронки с гидроструйным эффектом разрушения горных пород.

**Обсуждение результатов.** При существенно меньших значениях режима бурения скважин (осевая нагрузка, частота вращения и расход промывочной жидкости), по основным показателям – выход керна и затраты энергии, алмазные буровые коронки с гидроструйным эффектом разрушения горных пород, значительно превосходят серийные аналоги.

Это выражается в снижении энергозатрат на 40-50%, выхода керна до 98%, сохранением структурной цельности последнего, чем достигается высокая достоверность и информативность сведений о геологическом строении геотермальных месторождений, возможности выбора рациональной схемы циркуляционной системы.

В силу конструктивных особенностей алмазных буровых коронок с гидроструйным эффектом разрушения пород, потенциальная энергия промывочной жидкости в процессе углубки скважин будет направлена на забой скважины, где вид разрушения разрыхления совмещенное с резанием, оказанием меньшего гидродинамического воздействия на стенки скважин, чем дробяще-скалывающее действие шарошечных долот, передающееся на стенки скважин.

Это наглядно видно на рис.3 видеосъемки стенки гидрогеологической скважины, где применением алмазных бурильных головок

обеспечивается сохранение формы и поперечного размера скважины, гладкоствольность стенки обработанной турбулизатором-расширителем.

Тем самым, исключаются появления водоворотных зон, образующие условия для размыва и разрушения стенок скважин, особенно в промежуточном стволе циркуляционной системы.

**Выводы.** Выработаны исходные геологические и технические предпосылки сооружения циркуляционной системы вскрытия и извлечения геотермальных вод из недр земли для производства электрического тока и получения тепла.

На начальной стадии освоения геотермальных месторождений циркуляционной системой скважин с принудительным самоизливом, наиболее перспективны Илийские, Сырдарьинские артезианские бассейны низкоминерализованных (до 1,0 г/литр) вод, обладающие огромными запасами.

К примеру, использование Илийского артезианского бассейна в качестве источника энергии и тепла города Алматы, позволило бы эффективно решить проблему очищения воздушного пространства города от вредных выделений ископаемых видов топлива – нефтепродукты, уголь и газ, существенным снижением стоимости тепла и горячей воды, электричество.

В Казахстане назрела настоятельная необходимость перевода экономики от углеводородов на возобновляемые источники энергии, в первую очередь геотермальной.

## Список литературы

- 1 Зыков Е.А., Вальцева А.И., Вальцев Н.В. Геотермальная энергетика: история и перспективы развития // Международная научно-практическая конференция «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2020», г.Екатеринбург, 2020. [Zykov E.A., Valtseva A.I., Valtsev N.V. Geothermal energy: history and prospects of development //International Scientific and Practical conference “Energy and resource conservation. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear power engineering. Danilovsky Readings — 2020”, Yekaterinburg, 2020].
- 2 Жеваго В.С. Геотермия и термальные воды Казахстана //«Наука», 1972,-С.225. [Zhevago V.S. Geothermy and thermal waters of Kazakhstan //”Science”, 1972,-p.225].
- 3 Суксова С.А., Долкан А.А., Тимофеева Ю.В., Усольцева Л.А. Способы разработки геотермальной энергии //Вестник Евразийский науки, Том 12, №3, 2020, -С.1-9. [Suksova S.A., Dolkan A.A., Timofeeva Yu.V., Usoltseva L.A. Methods of geothermal energy development //Bulletin of Eurasian Science, Volume 12, No. 3, 2020, -pp.1-9].
- 4 Jan-Erik Rosberg, Mikael Erlström. Evaluation of deep geothermal exploration drillings in the crystalline basement of the Fennoscandian Shield Border Zone in south Sweden // Geothermal Energy 9, 20 (2021), <https://doi.org/10.1186/s40517-021-00203-1>.
- 5 Алишаев М.Г. Оценки показателей циркуляционной системы добычи геотермальной энергии в случае маломощного пласта //Известия Российской академии наук. Энергетика, 1. –С.140-158. <https://doi.org/10.1134/S0002331019010047>. [Alishaev M.G. Estimates of the indicators of the circulation system of geothermal energy extraction in the case of a low-power reservoir //Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering, 1. – p.140-158].
- 6 Шулюпин А.Н., Варламова Н.Н. Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов //Научно-технический журнал «Георесурсы», Т.22, №4, 2020. –С.113-122. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.113-122>. [Shulyupin A.N., Varlamova N.N. Modern trends in the development of geothermal resources //Scientific and Technical Journal “Georesources”, vol.22, No.4, 2020. –pp.113-122].
- 7 Hejuan Liu, Qi Li, Yang Gou, Liwei Zhang, Wentao Feng, Jianxing Liao, Zhengwen Zhu, Hongwei Wang, Lei Zhou. Numerical modelling of the cooling effect in geothermal reservoirs induced by injection of CO2 and cooled geothermal water// Oil & Gas Science and Technology - Rev.IFP Energies nouvelles,Vol.75, 15(2020), <https://doi.org/10.2516/ogst/2020005>.
- 8 Гореликов В.Г. Конструктивные особенности алмазных коронок для бурения трещиноватых горных пород //Записки горного института. Санкт-Петербург, 2012, Т.197, -С.29-33. [Gorelikov V.G. Design features of diamond crowns for drilling fractured rocks //Notes of the Mining Institute. St. Petersburg, 2012, Vol.197, -p.29-33].
- 9 Мендебаев Т.Н., Изаков Б.К., Каламбаева А.С. Ресурсосберегающая технология бурения скважин забойной компоновкой с гидрораспределителем и тонкостенными алмазными коронками //Разведка и охрана недр, №3, 2018, Москва. -С.41-43. [Mendebaev T.N., Isakov B.K., Kalambaeva A.S. Resource-saving technology of drilling wells with a downhole layout with a hydraulic distributor and thin-walled diamond crowns //Exploration and Protection of Mineral Resources, No. 3, 2018, Moscow. -Pp.41-43].
- 10 A. Berle, V. Adestal. Advances in Instrumented Coring /European Association of Geoscientists&Engineers. 2018, Vol.2018, p.1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801554>.
- 11 Thomas Stoxreiter, Robert Wenighofer, Gary Portwood, Simone Pallesi, Alessandro Bertini, Robert Galler, Stephan Grafinder. Rock fracture initiation and propagation by mechanical and hydraulic impact //From the journal Open Geosciences, N0 14. 2019 <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0061>.
- 12 Yabin Gao, Xin Xiang, Ziwen Li, Xiaoya Guo, Peizhuang Han. An experimental and simulation study of the flow pattern characteristics of water jet impingements in boreholes //Energy Exploration & Exploitation, 2021, Vol.40(6), pp.1-21 <https://doi.org/10.1177/01445987211052063>.
- 13 Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. Перспективы развития гидроструйных технологий в горно-добывающей промышленности и подземном строительстве //Горные машины и автоматика, 2002, №5. – С.2-10 [Brenner V.A., Zhabin A.B., Pushkarev A.E. Prospects for the development of hydrojet technologies in the mining industry and underground construction //Mining machines and automation, 2002, No. 5. – pp.2-10].
- 14 Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. Разрушение горных пород при помощи гидроструйных технологий //Научные работы Донецкого национального технического университета, выпуск 99, 2005 [Brenner V.A., Zhabin A.B., Pushkarev A.E. Destruction of rocks using hydrojet technologies //Scientific works of Donetsk National Technical University, issue 99, 2005].



15 Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж. Конструктивные особенности и технология изготовления алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов //Новости науки Казахстана, №4(142), 2019. –С.105-113. [Mendebaev T.N., Smashov N.J. Design features and manufacturing technology of diamond rock-breaking tools with a separate system of flushing channels //Kazakhstan Science News, №4(142), 2019. – Pp.105-113].

16 T. Mendebaev, N. Smashov. Design of diamond drill heads with a hydrojet effect of rock destruction//“Eastern-European Journal of Enterprise Technologies”, 5/1(119) 2022, pp.36-43.

17 Реготунов А.С. О влиянии некоторых факторов на величину показателя энергоёмкости разрушения горных пород в процессе шарошечного бурения взрывных скважин //Сетевое периодическое научное издание «Проблемы недропользования». №3, 2020. –С.41-51. DOI:10.25635/2313-1586.2020.03.041 [Regotunov A.S. On the influence of some factors on the value of the energy intensity index of rock destruction in the process of ball drilling of blast wells //Network periodical scientific publication “Problems of subsoil use”. No. 3, 2020. –pp.41-51].

---

### **Т.Н. Мендебаев. ГЕОТЕРМАЛДЫҚ КЕН ОРЫНДАРЫН ИГЕРУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ МӘСЕЛЕСІН ШЕШУДІҢ ЖАҢА ТӘСІЛІ**

**Түйіндеме.** Геотермалдық кен орындарын тиімді игерудің бастапқы алғышарттары әзірленді.

Геологиялық-термалды су кен орындарының геологиялық құрылымы, құрамы, “су-тау жынысы”жүйесіндегі тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттері туралы сенімді мәліметтер.

Техникалық-тау-кен ортасының жағдайларына сәйкес келетін ұңғымаларды салу құралдары, құрылымдық ерекшеліктері мен технологиялық мүмкіндіктері, өзек түрінде жоғары ақпараттық геологиялық материал алуды қамтамасыз ету, ұңғымалар қабырғаларының құлау мен төгілуден тұрақтылығын сақтау. Ыстық бұлақтарды ашу шарттарына сәйкес келетін тау жыныстарын жоюдың гидрожарғыш әсері бар алмас бұрғылау тәждерінің сериясы Ұңғымаларды бұрғылау тәжірибесінде әзірленді және сыналды.

Геотермалдық кен орындарын ашу мен игерудің циркуляциялық жүйесінің сызбасы ұсынылған, олар аралық оқпанның тегіс иілуімен байланысты тігінен айдау және көлбеу көтерілу ұңғымаларынан тұрады.

Әлемдегі геотермалдық кен орындарын игерудің барлық белгілі схемаларынан ерекшеленетін схеманың идеялық жаңалығы геотермалдық кен орындарын игерудің тиімділігін арттыруға бағытталған Жер қойнауы мен термалды горизонттың ішкі энергиясының көрінісі үшін жағдай жасау мүмкіндігін қарастырады.

Схеманың құрылымдық ерекшеліктері жылу горизонты бойынша сүзгі бағанымен қапталған тік айдау ұңғымасы су беру кезінде жоғары және төмен қысымды соққы толқындары пайда болатын, су ағынын орталық ядроға және бүйірлік компоненттерге бөлетін жиектермен жасалады. Нәтижесінде термалды горизонт өзгермелі гидроимпульстердің әсерін, тау жыныстарының өткізгіштігінің жоғарылауын және ұңғымаға су ағынының үдеуін сезінеді.

Бұл ретте аралық оқпанмен ұңғымалар жүйесінің байламымен және көлбеу орнатылған сүзгі бағанымен көтерілетін ұңғыманы төсеумен термалды горизонтты қамту көлемі, үздіксіз пайдалану мерзімін ұлғайту қамтамасыз етіледі, мұнда айналым арнасы төменгі жиектен контейнерге кіреберіске дейін тегіс иілу қосылыстарымен бір диаметрмен орындалады. Осылайша, жергілікті қысым шығындары алынып тасталады.

Тау жыныстарын қатайта отырып, аралық оқпанның қабырғасын Тегістеу арқылы судың ағуы және айналым арнасының ұзындығы бойынша қысымның жоғалуы жойылады.

Айналым схемасының маңыздылығы – ыстық суды алу сыртқы энергияны тартпай, мәжбүрлі түрде жүзеге асырылады.

**Түйінді сөздер:** геотермал, схема, айналым, ұңғыма, импульстар, энергия.

---

### **T.N. Mendebaev. A NEW APPROACH TO SOLVING THE PROBLEMS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF GEOTHERMAL FIELD DEVELOPMENT**

**Abstract.** The initial prerequisites for the effective development of geothermal deposits have been developed.

Geological – reliable information about the geological structure of thermal water deposits, compositions, physical and mechanical properties of rocks in the “water-rock” system.

Technical – means of well construction, design features and technological capabilities corresponding to

the conditions of the mining environment, ensuring the production of highly informative geological material in the form of a core, maintaining the stability of the walls of wells from collapse and shedding. A series of diamond drill bits with a hydrojet effect of rock destruction, corresponding to the conditions of opening hot springs, have been developed and tested in practice for drilling wells.

A scheme of a circulation system for the opening and development of geothermal deposits consisting of a vertically injection and an obliquely ascending well connected by a smooth bend of an intermediate shaft is proposed.

The ideological novelty of the scheme, which differs from all known schemes for the development of geothermal deposits in the world, provides for the possibility of creating conditions for the manifestation of the internal energy of the earth's interior and the thermal horizon, aimed at improving the efficiency of the development of geothermal deposits.

The structural features of the scheme are that a vertical injection well lined with a filter column in the section of the thermal horizon is made with ledges, where shock waves of increased and decreased pressure are generated when water is supplied, by dividing the water flow into a central core and lateral components. As a result, the thermal horizon is affected by alternating hydraulic impulses, an increase in rock permeability and an acceleration of water inflow into the well.

At the same time, by linking the borehole system with an intermediate trunk, and laying an ascending well with an obliquely cased filter column, the volume coverage of the thermal horizon is provided, increasing the uninterrupted operation period, where the circulation channel from the lower ledge to the entrance to the tank with smoothly bending joints is made with one diameter. This eliminates local pressure losses.

By grinding the wall of the intermediate shaft with rock hardening, water leaks and pressure losses along the length of the circulation channel are eliminated.

The significance of the circulation scheme – the extraction of hot water is carried out by forced self-discharge, without attracting energy from outside.

**Keywords:** geothermal, circuit, circulation, well, pulses, energy.

---

#### **Сведения об авторе**

**Мендебаев Токтамыс Нусипхулович**, доктор технических наук, заслуженный деятель и заслуженный изобретатель РК, главный научный сотрудник ТОО «НВЦ Алмас», г.Алматы, проспект Абая, дом 153, офис 43-44, 8 (727) 394-34-36, 394-31-91, e-mail: nvc\_almas@mail.ru

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩЕЙ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ И ЭЛЕМЕНТЫ СПУТНИКИ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БУДЕНОВСКОЕ

Умиралиева А.Т., Буркурманов Б.Ш., Ширяев В.А.

Совет ВАНЭП РК, ТОО «GlobalGeoConsult». г. Алматы, Республика Казахстан

**Аннотация.** Изучение попутных полезных ископаемых и компонентов проводится на всех стадиях геологоразведочных работ в процессе освоения месторождений и в ходе добычи урана, базирующей на данных разведки. Поскольку основной целью служит добыча урана, оценка ППК проводится только в объёме контуров эксплуатационных урановых блоков. Исходя из этого, перспективы могут быть связаны с элементами-спутниками, имеющими схожие с ураном геохимические характеристики и возможности миграции в кислой среде.

**Ключевые слова:** уран, месторождение Буденовское, оруденение, зона пластового окисления, содержание, анализ, пески, глины.

Урановое месторождение Буденовское является одним из крупнейших объектов пластово-инфильтрационного типа в пределах юго-западной части Шу-Сарысуйской урановорудной провинции, представляя собой естественное продолжение Мынкудук-Инкайской рудоносной зоны в южном направлении.

В водонепроницаемых породах Буденовского месторождения установлены и изучены следующие геохимические зоны:

- 1) неизменных сероцветных песков;
- 2) уранового оруденения;
- 3) пластового окисления (ЗПО).

Объемы и виды опробования керна приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Виды анализов*	Ед. изм.	Кол-во проб	Сеть опробования, м*м
1	Минералогический анализ	проба	91	3200*100-50
2	Рентгеноспектральный анализ U	проба	366	
3	Рентгеноспектральный анализ Ta, Nb	проба	20	
4	Рентгеноспектральный анализ Re	проба	2928	
5	НАА Sc	проба	2928	
6	Рентгеноспектральный анализ Y	проба	1540	
7	Рентгеноспектральный анализ Se	проба	1540	
8	Рентгеноспектральный анализ As	проба	39	
9	Рентгеноспектральный анализ Mo	проба	42	
10	Формы Fe	проба	421	
11	Формы S	проба	421	
12	Определение U в воде	проба	124	
13	Определение Re в воде	проба	67	
14	Электронный микроскоп (ЭММА)	проба	16	
15	Дрон	проба	47	
16	Радиохимического анализа Ra	проба	366	







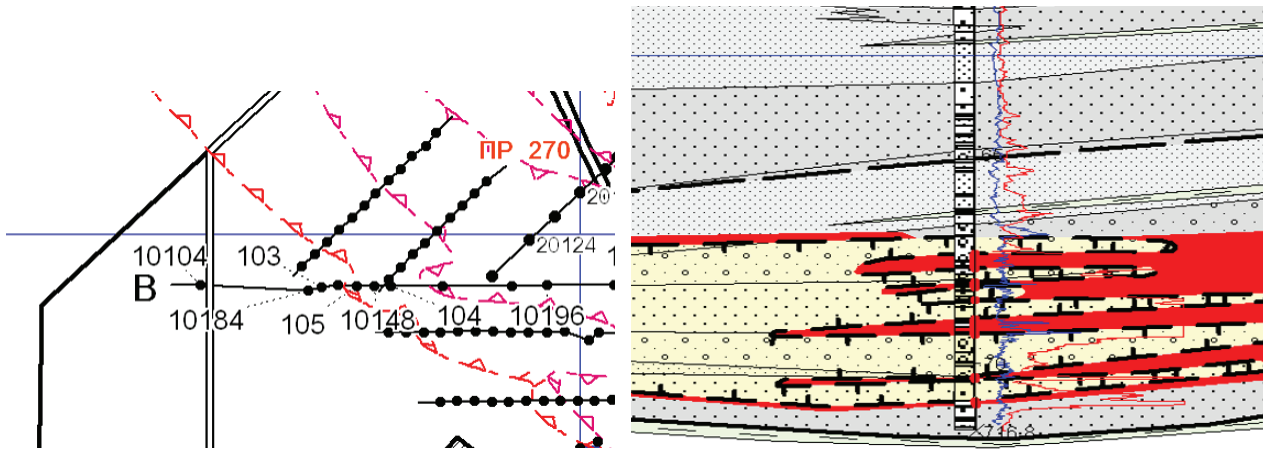


Рисунок 2. На фактическом плане разведочная скважина 10184 и примерный разрез.

Самостоятельные рениевые ореолы образуют сложно построенные, многоярусные (расположенные друг на друге) линзы. Протяженность их не превышает 200м при мощности до 5м (Рисунок 2). Повышение содержания рения сопровождаются молибденом (8,5г/т, скв 10195), медью (до 120г/т, скв 10192) и марганцем (до 0,8% скв 10184), причем во всех случаях присутствуют карбонаты и, реже, растительный детрит.

Концентрации рения, приуроченные к крыльевым частям (до 0,2г/т, скв 10584) урановорудных тел имеет форму маломощных (до 1,75м, скв 10585) протяженностью до 200м линз и находятся в корреляционной связи с медью ( $K_k=0,44$ ) и мышьяком ( $K_k=0,41$ ), серебром ( $K_k=0,34$ ), молибденом ( $K_k=0,37$ ) и ванадием ( $K_k=0,31$ ). В отдельных случаях повышенные концентрации рения прослежива-

Таблица 3

	, /		
Пески серые безрудные	0,008	4,9	120,8
Рудные пески	0,03	4,6	142
Пески окисленные	0,00	3,1	143,3
Непроницаемые породы, глины	0,00	13,2	154,2
Пески серые безрудные	0,02	3,1	128,8
Рудные пески	0,05	3,2	137,6
Пески окисленные	0,0005	3,3	140,3
Непроницаемые породы, глины	0,027	15,7	166,3
Пески серые безрудные	0,02	3,8	133,9
Рудные пески	0,03	3,7	147,3
Пески окисленные	0	4,6	132,8
Непроницаемые породы, глины	0,03	16,6	167,7

ются до 350-400м пересекая их сероцветные, так и окисленные пески и сопровождаются ореолом серебра (до 2,61г/т, скв 10448).

Среднее содержание рения в урановых рудах на месторождении Буденновское составляет 0,04г/т.

**Скандий**

Распределение скандия в урановых рудах неравномерное и определяется в основном литологическим типом пород (таблица 3). Содержание скандия в урановых рудах колеблется в узких пределах (от 3,2г/т в инкудукском и до 4,6г/т в жалпакском горизонте) и практически соответствует его содержаниям во вмещающих породах (от 3,1г/т в окисленных и до 4,9г/т в сероцветных песках жалпакского горизонта). Эпигенетические концентрации скандия возможны только для небольшой части урановых руд, в частности для руд останцового типа (до 18,7г/т, скв 10103).

Наибольшие концентрации скандия приурочены к каолиновым корам выветривания (до 25,6г/т, скв 10125) пермских аргиллитов.

В песках скандий тяготеет преимущественно к мелкозернистым разностям и содержание его увеличивается пропорционально увеличению глинистой составляющей. При этом установлено отсутствие какой-либо зависимости от положения в эпигенетической зональности. Полученные данные свидетельствуют о сорбционном, в основном характере скандиевых концентраций.

Среднее содержание скандия в урановых рудах Буденновского месторождения 3,4г/т.

**Редкоземельные элементы (сумма) и иттрий**

Распределение РЗЭ и иттрия в урановых рудах месторождения, в целом, неравномерное и в известной степени зависит от литологического состава. Наибольшие концентрации (до 280г/т, скв 10546) установлены в центральной части месторождения в серых алевритах подзоны рассеяния урана. На разведочной скважине 10546 провели опробования на грансостав, вещественный состав, селен, рений, скандий, калий, торий и геохимический состав. Статистические данные показывают о преимущественном накоплении РЗЭ в окисленных тыловых частях урановых роллов, и лишь в рудах мынкудукского горизонта совместно с ураном. При этом об эпигенетическом накоплении РЗЭ в урановых рудах можно предполагать лишь для лантана, церия, неодима и самария, содержание которых значительно превышает местный фон. При этом концентрация иттрия (до 494г/т, скв 10149, при среднем 29,7г/т) составляет не более 15% от суммы РЗЭ (таблица 3).

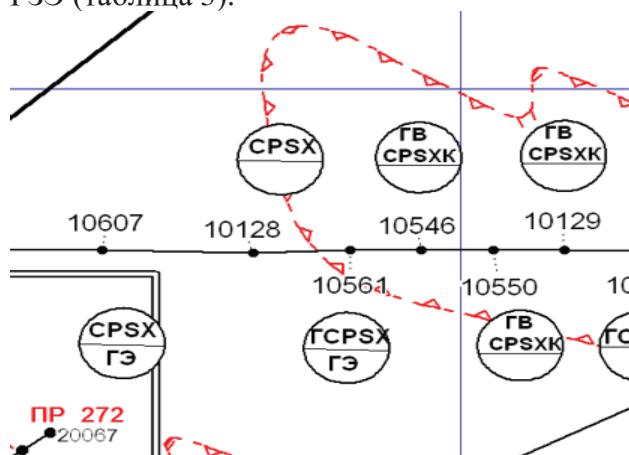


Рисунок 3. Разведочная скважина 10546 с видами опробования.

Таблица 4

	, /				
			Y		
Пески серые безрудные	0,02	3,7	129,9	19,9	0,003
Рудные пески	0,04	3,3	140	17,7	0,006
Пески окисленные	0,00	3,4	139,3	20,40	0,004
Алевриты и глины	0,02	15,7	161,5	34,30	0,009

Среднее содержание РЗЭ (суммы) и иттрия в рудах составляет 140г/т.

### Селен

Распределение селена в урановых рудах Буденновского месторождения неравномерное. Наибольшие концентрации встречаются в окисленных оруденелых песках (до 0,102%, скв 10103) центральной части месторождения. При относительно низких содержаниях в неизмененных породах, отдельные повышения установлены в виде мощных (до 2,7 м, скв 10138) линз протяженностью до 200м. При этом характерны ассоциации с серебром (до 2,6г/т) и медью (до 0,9г/т). В большинстве случаев в пробах обнаружен мелко-кристаллический пирит, отдельные кристаллы самородного селена, умангит ( $\text{Si}_3\text{Se}_2$ ).

Кроме приведенных сопутствующих элементов, урановых рудах определялось содержание таких элементов как молибден, ванадий, серебро, медь, свинец, кобальт, висмут и др. Их концентрации находятся в пределах фоновых.

### Золото

С целью проверки наличия или отсутствия золота на месторождении было отобрано 18 проб из различных литологических разновидностей пород и руд в районе выклинивания ЗПО по профилям. Пробы проанализированы спектрометрическим методом с чувствительностью анализа 0,005г/т. Знаки золота с содержанием

приведены на рисунке 4.

Рисунок 4



Максимальные содержания золота 0,04-0,07г/т приурочены к урановым рудам в слабопроницаемых алевритах в нижнем крыле и линзовидном останце среди окисленных песков. Во фронтальной части ЗПО ореолы золота встречаются как в окисленных песках с гравием (до 0,01г/т, так и в сероцветных алевритах и песках заролловой части (0,005-0,008г/т).

Урановые руды месторождения являются монометальными (уран). Набор элементов-спутников весьма ограничен, причем концентрации их (Re, Sc, Y, Se) очень редко достигают значимых содержаний и не устойчивы по распределению в разрезах и по латерали. Однако эти выводы следует рассматривать как предварительные из-за слабой современной изученности месторождения.

## Литература

1. Аубакиров Х.Б. и др. Отчет Чулак-Курганской экспедиции № 5 за 1982-1986 гг. «Выделение перспективных площадей для поисков месторождений урана в отложениях мезозоя-кайнозоя ЮЗ части ЧСД и палеозоя хр. М. Каратау с составлением геологических карт масштаба 1:200 000». Алматы, фонды АО «Волковгеология», 1986.
2. Аубакиров Х.Б., Пятилетов В.В., Панков А.Ю. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на Буденновском месторождении за период 1988-1990 гг. с подсчетом запасов урана по состоянию на 01.01.1990 г. по геологическому заданию 5-18. Алма-Ата, фонды АО «Волковгеология», 1990.
3. Петров Н.Н., Цалюк Ю.П., Малахов А.А., Хасанов Э.Г. и др. Отчет по глубинному геологическому картированию мезозойско-кайнозойского чехла Чу-Сарысуйской депрессии в масштабе 1:200 000. Листы L-42-XXII, XXVIII, XXXII(124), XXXIII, XXXIV, K-42-III, IV(7.8). 1996-2001 гг. Алматы, фонды АО «Волковгеология», 2002.
4. Черняков В.М., Кашафутдинов И.В., Нестеров Г.П. и др. Отчет «Специализированное глубинное геологическое картирование мезозойско-кайнозойского чехла в масштабе 1:25000 (СГГК-25) в пределах Южного фланга месторождения Буденновское (лист L-42-XXVI)» по договорам № 104, 105, 106, 107 от 03.10.2006 г. с ТОО «Каратау», Алматы, 2007.
5. Черняков В.М., Нестеров Г.П., Емашов А.А., Кашафутдинов И.В. и др. Отчет о результатах детальной разведки участка 2 месторождения Буденновское с подсчетом запасов урана по состоянию на 01.01.2008 г. Договор № 54-2008 от 25.01.2008 г. с ТОО «Каратау», Алматы, 2008.
6. Шепелев С.А., Савченко В.А., Сергиенко С.В. и др. Отчет экспедиции № 7 по геол. заданию 7-18 о результатах поисковых работ масштаба 1:20 000 в пределах Северного фланга Буденновского уранового месторождения за период 1987-90 гг., Алматы, фонды АО «Волковгеология», 1990 г.

**Умиралиева А. Т., Буркұрманов Б. Ш., Ширяев В. А. КЕНДІ БАҚЫЛАЙТЫН ЭПИГЕНЕТИКАЛЫҚ АЙМАҚТЫЛЫҚТЫҢ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ БУДЕНОВСКОЕ КЕН ОРНЫНДАҒЫ УРАНДЫ КЕНДЕУДІҢ СПУТНИКТІК ЭЛЕМЕНТТЕРІ.**

**Түйіндеме.** Ілеспе пайдалы қазбалар мен компоненттерді зерттеу кен орындарын игеру процесінде геологиялық барлаудың барлық сатыларында және геологиялық барлау деректері негізінде уран өндіру кезінде жүргізіледі. Негізгі мақсаты уран өндіру болып табылатындықтан, ӨБК-ні бағалау тек қана пайдаланудағы уран блоктарының сұлбасы көлемінде жүргізіледі. Осыны негізге ала отырып, перспективалар уранға ұқсас геохимиялық сипаттамалары және қышқыл ортада көшіп-қону мүмкіндігі бар спутниктік элементтермен байланысты болуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** уран, Будённовский кен орны, минералдану, суқойманың тотығу аймағы, құрамы, талдауы, құмдары, саздары.

**Morialieva A.T., Burkurmanov B.Sh., Shiryayev V.A. GEOCHEMICAL FEATURES OF ORE-CONTROLLING EPIGENETIC ZONALITY AND SATELLITE ELEMENTS OF URANIUM MINERALIZATION AT THE BUDENOVSKOYE DEPOSIT.**

**Annotation.** The study of associated minerals and components is carried out at all stages of geological exploration in the process of developing deposits and during uranium mining, based on exploration data. Since the main purpose is uranium mining, the evaluation of the PPK is carried out only in the volume of the contours of the operational uranium blocks. Based on this, prospects can be associated with satellite elements that have geochemical characteristics similar to uranium and the possibility of migration in an acidic environment.

**Key words:** uranium, Budyonovskoye deposit, mineralization, reservoir oxidation zone, content, analysis, sands, clays.

# НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

## НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Регистрационное свидетельство № 7528-Ж  
от 01.08.2006 г.  
выдано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан

Отв. редактор *М.Е. Сейткалиева*  
Редактор текста на казахском языке *Т.Т. Садырова*  
Редактор текста на английском языке *Е. Бердыкулов*  
Компьютерная верстка и дизайн *Н.Т. Раймкулова*  
Обложка *Е.С. Кадырова*

---

Подписано в печать 24.12.2022.  
Формат 60x84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл. п. л. 8,5. Тираж 350 экз. Заказ 160.

---

Редакционно-издательский отдел НЦ ГНТЭ.  
050026, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221