Korkyt Ata University
Since 1937

ТЕХНИКА
ғылымдары және
ТЕХНОЛОГИЯ

ISSN 2959-8311 (print)
ISSN 3006-1733 (online)
№3, (15)
2026

ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ



ISSN 2959-8311 (print)
ISSN 3006-1733 (online)

ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ

№ 3 (15), 2026

2023 жылдан бастап шығады
Выходит с 2023 года
Founded in 2023

Жылына төрт рет шығады
Выходит четыре раза в год
Issued quarterly

Қызылорда/Кызылорда/Kyzylorda
2026

Редакция алқасы

Таңжарықов П.Ә. - ғылыми редактор, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

СарабековаҰ.Ж. - ғылыми редактордың орынбасары, PhD, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

Бисенов Қ.А. - техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ұлттық ғылым академиясының академигі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

Астанакулов К.Д. - техника ғылымдарының докторы, профессор, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті, Өзбекстан Республикасы

Гильманшин Р. И. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, А.Н.Туполев атындағы Қазан ұлттық техникалық зерттеу университеті, Ресей Федерациясы

Монтаев С.А. - техника ғылымдарының докторы, профессор, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Қазақстан Республикасы

Удербаев С.С. - техника ғылымдарының докторы, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

Алдамбергенова Г.Т. - жауапты хатшы, жерге орналастыру және кадастр магистрі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы

Редакционная коллегия

Танжарыков П.А. - научный редактор, кандидат технических наук, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан

Сарабекова У.Ж. - заместитель научного редактора, PhD, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан

Бисенов К.А. - доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан

Астанакулов К.Д. - доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Республика Узбекистан

Гильманшин И.Р. - кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Российская Федерация

Монтаев С.А. - доктор технических наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Республика Казахстан

Удербаев С.С. - доктор технических наук, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан

Алдамбергенова Г**.Т** - ответственный секретарь, магистр землеустройства и кадастра, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан

Editorial Board

Tanzharykov P.A. - executive editor, Candidate of technical sciences, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan

Sarabekova U.Zh. - Deputy Scientific Editor, PhD, Associate Professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan

Bisenov K.A. - Doctor of technical sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan

Astanakulov K.D. - Doctor of technical sciences, professor, "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Republic of Uzbekistan

Gilmanshin I.R. - Candidate of technical sciences, associate professor, Kazan National Technical Research University named after A.N. Tupolev, Russian Federation

Montayev S.A. - Doctor of technical sciences, professor, Zhangir Khan Agrarian-Technical University of West Kazakhstan, Republic of Kazakhstan

Uderbayev S.S. - Doctor of technical sciences, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan.

Aldambergenova G.T. - Executive Secretary, master in Land Management and Cadastrer, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan

Баспа атауы – «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті»
Баспа адресі – индекс 120014, Әйтеке би, 29А, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы
Наименование издателя – «Кызылординский университет имени Коркыт Ата»
Адрес издателя – индекс. 120014, ул Айтеке би, 29А, г.Кызылорда, Республика Казахстан
Name of the publisher – «Kyzylorda university named after Korkyt Ata»
The publisher's address is an index. 120014, Aiteke bi street, 29A, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan

ҒТАМР 81.93.29 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.086

ӨНДІРІСТІК КОРПОРАТИВТІК ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ СЕГМЕНТАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Бекетова Г.С., PhD, доцент
beketova_gs@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7160-1514
Калбаев Т.С., 7М06101 «Ақпараттық жүйелер» ББП 2-ші курс магистранты
kalbayevt@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-0155-3341

«Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа. Мақалада өндірістік кәсіпорындардың корпоративтік және технологиялық желілерін сегментациялау арқылы ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселесі қарастырылады. Өндірістік процестерді цифрландыру және ақпараттық (IT) мен операциялық (OT) технологиялардың интеграциясы корпоративтік ортадағы киберқауіптердің технологиялық желілерге таралу ықтималдығын арттырады. Зерттеудің мақсаты – сегментацияға негізделген өндірістік желінің ақпараттық қауіпсіздік архитектурасын әзірлеу және оның негізгі қорғаныс механизмдерін негіздеу. Зерттеуде жүйелік және салыстырмалы талдау, желілік архитектураны модельдеу және тәуекелдерді бағалау әдістері қолданылды. Корпоративтік IT желісі, өндірістік DMZ, SCADA/HMI, басқару (PLC) және өріс деңгейлері мен қауіпсіздікті басқару аймағынан тұратын алты аймақты модель ұсынылды; ол VLAN, желіаралық экрандар, қолжетімділікті басқару тізімдері және «default deny» саясатына сүйенеді. IT және OT орталарын тікелей байланыстырудың орнына аралық DMZ мен басқарылатын байланыс арналары (conduits) қолданылатын сегменттелген архитектура қауіптің таралу аймағын шектейтіні негізделді. Сегментацияны енгізудің сегіз кезеңді алгоритмі және оның тиімділігін бағалау көрсеткіштері ұсынылды. Ұсынылған тәсілді өндірістік процестердің үздіксіздігін бұзбай, кезең-кезеңімен енгізуге болады. Модель өндірістік желілердің құпиялылығын, тұтастығын және қолжетімділігін қамтамасыз ететін ақпараттық қауіпсіздікті басқару жүйесінің техникалық негізі бола алады.

Тірек сөздер: өндірістік желі, ақпараттық қауіпсіздік, IT/OT, желілік сегментация, SCADA, PLC, DMZ, киберқауіпсіздік.

Кіріспе. Қазіргі өндірістік кәсіпорындардың цифрлық трансформациясы ақпараттық технологиялар мен операциялық технологиялардың өзара байланысын күшейтуде. Бұрын өндірістік басқару жүйелері көбінесе оқшауланған немесе шектеулі қолжетімді желілерде жұмыс істесе, қазіргі кәсіпорындар өндірістік деректерді корпоративтік ақпараттық жүйелерге, аналитикалық платформаларға, бұлттық сервистерге және қашықтан басқару құралдарына беру қажеттілігіне ие. IT/OT интеграциясы өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік бергенімен, бір мезгілде киберқауіпсіздікке қойылатын талаптарды күрделендіреді [1–3].

Операциялық технологиялар (Operational Technology, OT) физикалық процестерді бақылауға немесе басқаруға тікелей қатысатын аппараттық және бағдарламалық жүйелерді қамтиды. Оларға өнеркәсіптік басқару жүйелері (ICS), SCADA, DCS, PLC, HMI және өндірістік желілік құрылғылар жатады. NIST SP 800-82 Rev.3 құжаты OT жүйелерінің ақпараттық жүйелерден ерекшелігі олардың сенімділік, қолжетімділік, уақыттық сипаттамалар және физикалық қауіпсіздік талаптарымен тығыз байланысты екенін атап көрсетеді [1].

Өндірістік инфрақұрылымда ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету тек жеке құрылғыларды қорғаумен шектелмеуі тиіс. Кибершабуылдың бір сегменттен екіншісіне таралу мүмкіндігін шектеу үшін желілік архитектураның өзінде қауіпсіздік механизмдерін қалыптастыру қажет. Осы тұрғыдан алғанда, желілік сегментация өндірістік киберқауіпсіздіктің маңызды техникалық шараларының бірі болып табылады.

Желілік сегментацияның негізгі мақсаты – біртекті немесе функционалдық жағынан ұқсас ресурстарды жеке қауіпсіздік аймақтарына бөліп, олардың арасындағы байланыстарды бақылау. NIST ұсыныстарына сәйкес сегментация физикалық немесе

логикалық түрде іске асырылуы мүмкін. Логикалық сегментацияда VLAN технологиясы қолданылса, физикалық сегментация жеке желілік құрылғыларды немесе физикалық байланыстарды пайдалануды көздейді [1, 4].

IEC 62443-3-2:2020 стандарты өндірістік автоматтандыру және басқару жүйелерінің қауіпсіздігін бағалау кезінде жүйені қауіпсіздік талаптары ұқсас аймақтарға (zones) және осы аймақтар арасындағы бақыланатын байланыс арналарына (conduits) бөлу тәсілін қарастырады. Бұл тәсіл өндірістік жүйенің әрбір бөлігінің қауіпсіздік деңгейін жеке бағалауға және тиісті қорғаныс шараларын таңдауға мүмкіндік береді.

Осы зерттеудің **объектісі** – өндірістік кәсіпорындардың корпоративтік және технологиялық компьютерлік желілері.

Зерттеу пәні – корпоративтік IT және технологиялық OT желілерін сегментациялау арқылы ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету әдістері.

Зерттеудің мақсаты – өндірістік корпоративтік және технологиялық желілер үшін сегментацияға негізделген ақпараттық қауіпсіздік архитектурасын әзірлеу және оның негізгі қорғаныс механизмдерін негіздеу.

Осы мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** қойылды:

- корпоративтік және технологиялық желілердің ерекшеліктерін талдау;
- IT/OT интеграциясынан туындайтын негізгі қауіптерді анықтау;
- өндірістік желілерді сегментациялау әдістерін зерттеу;
- қауіпсіздік аймақтары мен олардың арасындағы байланыстардың моделін қалыптастыру;
- VLAN, Firewall, ACL және DMZ механизмдерінің қолданылуын негіздеу;
- өндірістік желілерге арналған сегменттелген архитектураны ұсыну;
- ұсынылған архитектураның ақпараттық қауіпсіздікке әсерін бағалау.

Зерттеу барысында жүйелік талдау, салыстырмалы талдау, желілік архитектураны модельдеу, тәуекелдерді бағалау және қауіпсіздік талаптарын құрылымдау **әдістері** қолданылды.

Материалдар мен әдістер. Өндірістік желілерді зерттеу кезінде IT және OT орталарын функционалдық міндеттеріне қарай бөлу принципі қолданылды. Корпоративтік IT ортасына пайдаланушылардың жұмыс станциялары, файлдық серверлер, деректер базалары, корпоративтік қосымшалар, электрондық пошта және Интернетке шығатын сервистер жатқызылды.

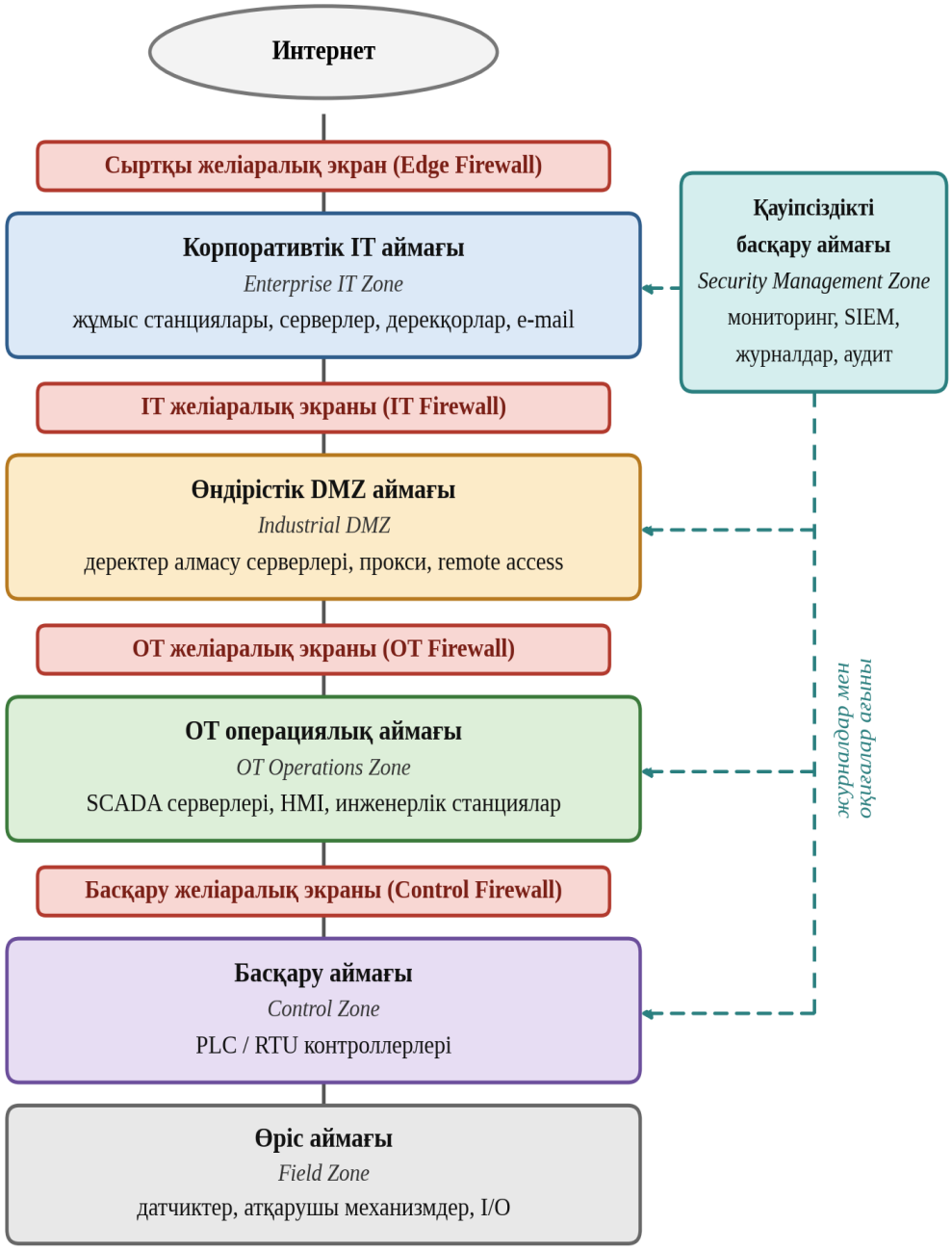
OT ортасына өндірістік процесті бақылау және басқару жүйелері енгізілді. Оның құрамына SCADA серверлері, HMI станциялары, PLC контроллерлері, инженерлік жұмыс станциялары және өндірістік Ethernet желілері кіруі мүмкін.

Өндірістік желілердің қауіпсіздік архитектурасын қалыптастыру кезінде қорғаныстың көпдеңгейлі тәсілі (defense-in-depth) қолданылды. Бұл тәсіл бойынша қауіпсіздік бір ғана желіаралық экранға тәуелді болмай, бірнеше өзара толықтыратын механизмдер арқылы қамтамасыз етіледі [5, 6].

Зерттеуде желіні төмендегідей негізгі сегменттерге бөлу ұсынылады:

1) **Enterprise IT Zone** – корпоративтік ақпараттық жүйелер орналасқан аймақ;
2) **Security Management Zone** – қауіпсіздікті басқару және мониторинг құралдары;
3) **Industrial DMZ** – IT және OT орталарын байланыстыратын аралық аймақ;
4) **OT Operations Zone** – SCADA, HMI және өндірістік серверлер орналасқан аймақ;
5) **Control Zone** – PLC және басқа өндірістік контроллерлер орналасқан аймақ;
6) **Field Zone** – датчиктер, атқарушы механизмдер және төменгі деңгейдегі өндірістік құрылғылар орналасқан аймақ.

Ұсынылатын архитектураның жалпы логикасы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – Өндірістік корпоративтік және технологиялық желілерді сегментациялаудың ұсынылатын архитектурасы

Ұсынылған архитектурада корпоративтік және технологиялық желілер арасында тікелей маршруттау ұйымдастырылмайды. IT және OT орталары арасындағы қажетті ақпараттық алмасу Industrial DMZ арқылы жүзеге асырылады. Бұл тәсіл өндірістік ресурстарға корпоративтік желіден тікелей қол жеткізуді шектеуге мүмкіндік береді.

Желілік сегментацияның екінші деңгейі VLAN технологиясы арқылы орындалуы мүмкін. Өндірістік кәсіпорын үшін VLAN құрылымының ықтимал нұсқасы 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – Өндірістік кәсіпорын желісінің VLAN құрылымы

VLAN	Сегмент	Негізгі ресурстар
VLAN 10	Corporate Users	Қызметкерлердің жұмыс станциялары
VLAN 20	Servers	Корпоративтік серверлер
VLAN 30	Security	Мониторинг және қауіпсіздік құралдары
VLAN 40	Industrial DMZ	Аралық серверлер
VLAN 50	SCADA	SCADA және HMI
VLAN 60	PLC	PLC/RTU контроллерлері
VLAN 70	Management	Желілік құрылғыларды басқару
VLAN 80	Guest/External	Қонақтық және сыртқы қолжетімділік

VLAN қолдану бір физикалық инфрақұрылым ішінде логикалық оқшауланған желілерді қалыптастыруға мүмкіндік береді. Алайда VLAN өздігінен толық қауіпсіздік механизмі болып саналмайды. Сегменттер арасындағы маршрутизацияны бақылау және рұқсат етілмеген трафикті блоктау үшін Firewall немесе Layer 3 деңгейіндегі ACL механизмдері қолданылуы қажет [1].

Сегментация тиімділігін арттыру үшін «default deny» қағидасын қолдану ұсынылады. Яғни сегменттер арасындағы барлық байланыстар бастапқыда тыйым салынады, кейін өндірістік процестің жұмыс істеуі үшін нақты қажетті байланыстар ғана рұқсат етіледі.

Мысалы, SCADA серверінің PLC контроллерлерімен байланысы қажет болса, Firewall ережесінде тек нақты SCADA серверінің IP мекенжайынан тиісті PLC мекенжайларына қажетті протокол мен порттарға рұқсат беріледі.

Сегменттер арасындағы рұқсат саясатының жалпы түрі 2-кестеде көрсетілген.

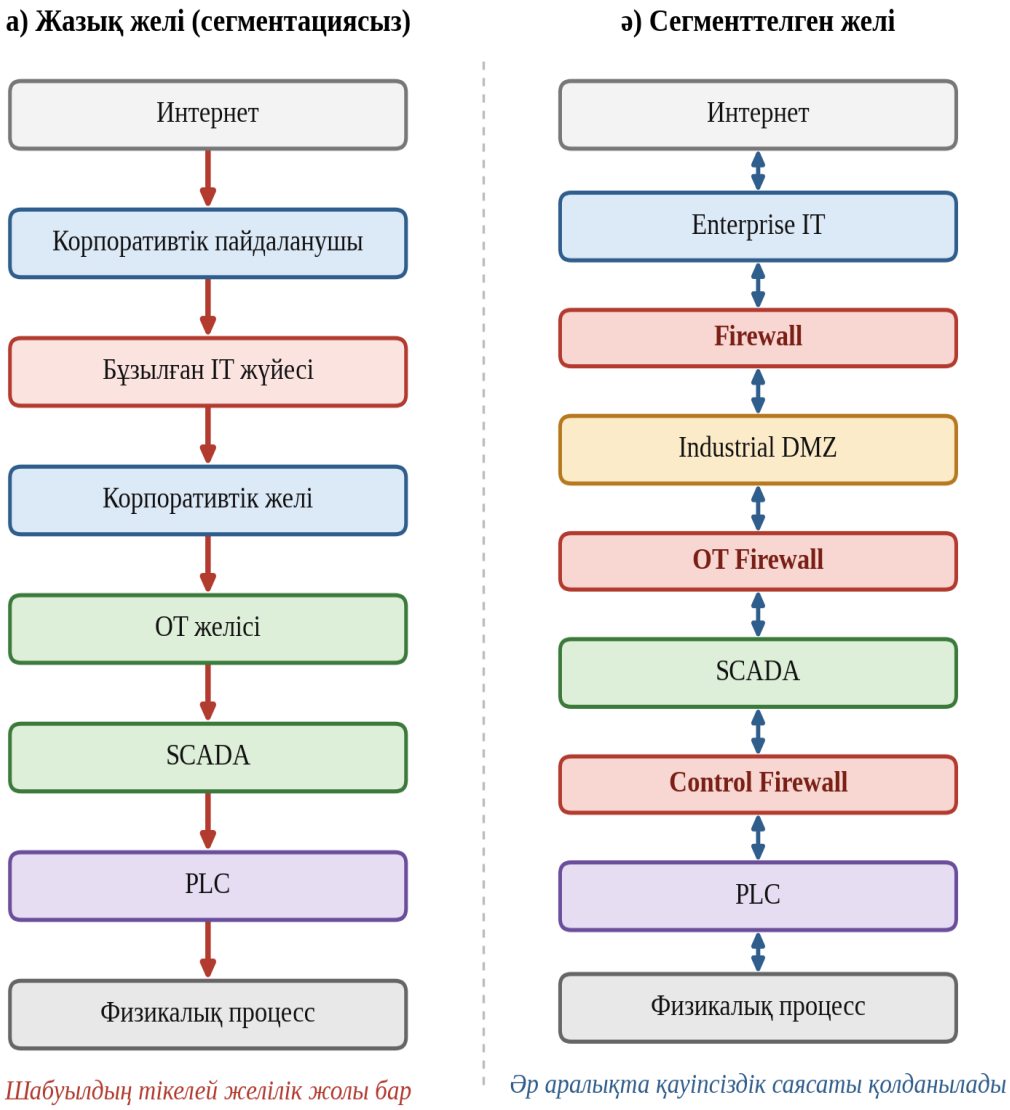
2-кесте – Сегменттер арасындағы рұқсат саясаты

Байланыс бағыты	Саясат
IT → OT	Тыйым салынады
IT → DMZ	Тек қажетті сервистерге рұқсат
DMZ → OT	Тек анықталған сервистерге рұқсат
OT → IT	Әдепкі бойынша тыйым салынады
SCADA → PLC	Қажетті басқару протоколдарына рұқсат
PLC → Internet	Тыйым салынады
Guest → OT	Толық тыйым салынады
Management → Network Devices	Әкімшілік протоколдарға шектеулі рұқсат

Бұл модельде желілік байланыстардың әрқайсысы жеке қауіпсіздік саясаты ретінде қарастырылады.

Нәтижелер және талқылау. Өндірістік желілерді сегментациялау мәселесін талдау көрсеткендей, IT және OT орталарын бір жазық желіге орналастыру кезінде қауіптің таралу аймағы кеңейеді. Мысалы, корпоративтік пайдаланушының жұмыс станциясы бұзылған жағдайда шабуылдаушы сол желілік сегментте орналасқан басқа ресурстарға желілік қолжетімділік алуға тырысуы мүмкін. Егер өндірістік басқару жүйелері осы желімен тікелей байланысты болса, қауіптің OT ортасына таралу мүмкіндігі пайда болады.

Қауіптің таралу бағыты мен сегментация енгізілгеннен кейінгі бақылау нүктелері 2-суретте салыстырмалы түрде көрсетілген. Сегментациясыз жазық желіде шабуыл Интернеттен бұзылған IT жүйесі арқылы корпоративтік желіге, одан OT желісіне, SCADA мен PLC-ге және физикалық процеске дейін тікелей жетуі мүмкін (2а-сурет). Сегментация енгізілген кезде бұл байланыс тізбегі бірнеше бақылау нүктелерімен бөлінеді (2ә-сурет).



2-сурет – Қауіптің таралу жолы: а) жазық желі; ә) сегменттелген желі

Осылайша шабуылдың бастапқы нүктесінен өндірістік басқару жүйесіне дейінгі тікелей желілік жол жойылып, әрбір аралықта қауіпсіздік саясаты қолданылады.

Бұл қорғаныстың көпдеңгейлі архитектурасына сәйкес келеді. NIST SP 800-82 Rev.3 желілік сегментация мен оқшаулауды OT орталарында defense-in-depth тәсілінің құрамдас бөлігі ретінде қарастырады. Құжатта физикалық және логикалық сегментация, VLAN, Firewall және басқа желілік оқшаулау құралдарын пайдалану арқылы коммуникацияларды шектеу ұсынылады [1].

IEC 62443-3-2 стандартының «zones and conduits» тұжырымдамасы да осы қағидаға негізделеді. Бірдей немесе ұқсас қауіпсіздік талаптары бар активтер бір зонаға біріктіріліп, олардың арасындағы коммуникациялар conduits арқылы басқарылуы тиіс.

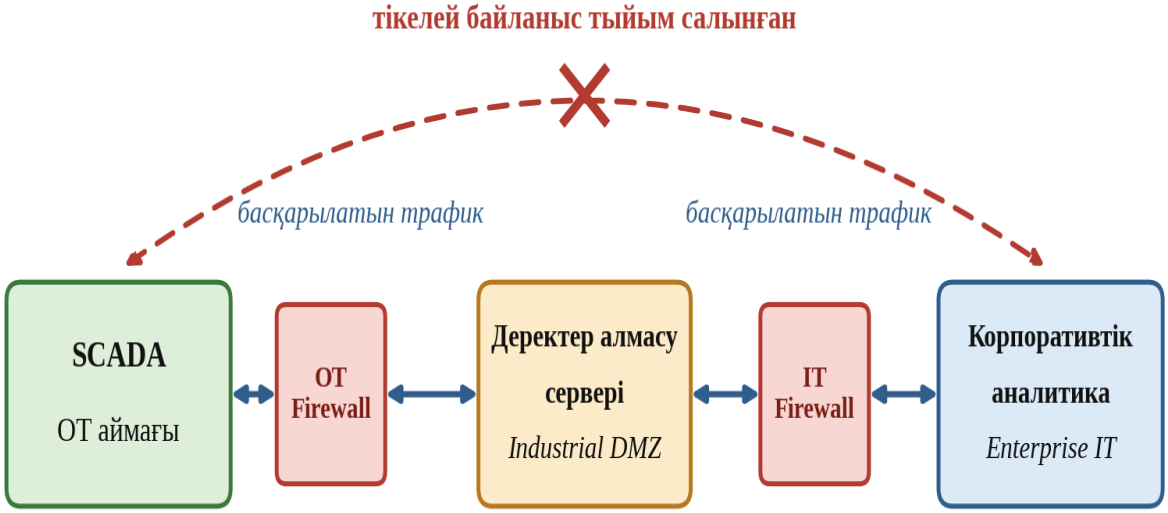
Осы принцип негізінде ұсынылған өндірістік архитектурада әрбір сегменттің өзінің қауіпсіздік мақсаты болады (3-кесте).

3-кесте – Өндірістік желі сегменттерінің қауіпсіздік міндеттері

Сегмент	Негізгі мақсаты	Негізгі қауіп
Enterprise IT	Корпоративтік процестерді қамтамасыз ету	Зиянды бағдарламалар, фишинг, рұқсатсыз қолжетімділік
Industrial DMZ	IT және OT арасында қауіпсіз ақпарат алмасу	Аралық серверлердің бұзылуы
OT Operations	Өндірісті бақылау	SCADA/HMI компрометациясы
Control	Өндірістік басқару	PLC-ге рұқсатсыз командалар
Field	Физикалық процеспен өзара әрекет	Құрылғыларды бұзу немесе манипуляциялау
Management	Инфрақұрылымды басқару	Әкімшілік есептік жазбалардың бұзылуы

Industrial DMZ сегменті ұсынылған архитектураның маңызды элементі болып табылады. DMZ корпоративтік және OT желілерін тікелей байланыстырудың орнына, деректерді алмасу үшін аралық орта қалыптастырады.

Мысалы, өндірістік деректерді корпоративтік аналитикалық жүйеге жіберу қажет болса, SCADA серверінен корпоративтік деректер базасына тікелей байланыс орнатудың орнына DMZ аймағында арнайы деректер алмасу серверін орналастыруға болады. Мұндай байланыс схемасы 3-суретте көрсетілген.



3-сурет – Industrial DMZ арқылы деректер алмасу схемасы

DMZ-де орналасқан серверлер үшін де минималды құқық қағидасы сақталуы тиіс. Сервер тек өзіне қажетті қызметтерге ғана қолжетімділік алуы қажет.

Зерттеу барысында сегментацияның тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлар ретінде келесілер анықталды:

- активтерді дұрыс түгендеу;
- деректер ағындарын анықтау;
- желілік аймақтарды функционалдық және қауіпсіздік талаптарына сәйкес бөлу;
- сегменттер арасындағы байланыстарды құжаттау;
- Firewall ережелерін минималды қажеттілік қағидасы бойынша құру;
- әкімшілік қолжетімділікті бөлек басқару;
- журналдарды орталықтандырылған түрде жинау;
- желілік трафикті мониторингтеу;
- сегментация конфигурациясын тұрақты қайта қарау.

Сегментацияны енгізу алдында кәсіпорынның нақты ақпараттық ағындарын анықтау қажет. Бұл өте маңызды, себебі ОТ ортасында кейбір өндірістік құрылғылардың байланыстары толық құжатталмаған болуы мүмкін. NIST ұсыныстарына сәйкес сегменттер арасындағы қажетті коммуникацияларды анықтау үшін деректер ағындарын картаға түсіру маңызды болып табылады [1].

Сондықтан сегментацияны енгізудің ұсынылатын алгоритмі келесі кезеңдерден тұрады:

1-кезең – активтерді түгендеу. Барлық серверлер, жұмыс станциялары, PLC, SCADA, HMI, желілік құрылғылар және басқа өндірістік компоненттер анықталады.

2-кезең – деректер ағындарын анықтау. Қандай құрылғы қандай жүйемен, қандай протокол және қандай бағыт бойынша байланысатыны белгіленеді.

3-кезең – қауіпсіздік аймақтарын қалыптастыру. Ұқсас қауіпсіздік талаптары бар құрылғылар бір зонаға біріктіріледі.

4-кезең – conduits қалыптастыру. Аймақтар арасындағы қажетті байланыстар анықталады.

5-кезең – қауіпсіздік саясатын әзірлеу. Әр байланыс үшін рұқсат етілген source, destination, protocol және service анықталады.

6-кезең – Firewall/ACL конфигурациясы. Тек қажетті трафикке рұқсат беріліп, қалған байланыстар бұғатталады.

7-кезең – мониторинг және аудит. Firewall журналдары, желілік трафик, жүйелік журналдар және қауіпсіздік оқиғалары бақыланады.

8-кезең – тұрақты қайта бағалау. Жаңа активтер немесе өндірістік процестегі өзгерістер енгізілген сайын қауіпсіздік архитектурасы қайта қаралады.

Бұл алгоритм ақпараттық қауіпсіздікті бір реттік конфигурация емес, үздіксіз басқарылатын процесс ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

ISO/IEC 27001:2022 стандарты ақпараттық қауіпсіздікті басқару жүйесін тәуекелдерді басқаруға және ұйымның ақпараттық активтерінің құпиялылығы, тұтастығы және қолжетімділігін қамтамасыз етуге бағытталған жүйелік процесс ретінде қарастырады. Сондықтан желілік сегментацияны жеке техникалық шешім ретінде емес, кәсіпорынның жалпы ақпараттық қауіпсіздікті басқару жүйесінің техникалық бақылау шараларының бірі ретінде қарастырған жөн.

Сегментацияны тәуекелді бағалау нәтижелерімен байланыстыру үшін шартты тәуекел көрсеткішін (1) формуласы арқылы анықтауға болады:

$$R = P \times I, \tag{1}$$

мұндағы R – тәуекел деңгейі; P – қауіптің іске асу ықтималдығы; I – қауіптің ықтимал әсер ету деңгейі.

Егер белгілі бір ОТ активіне корпоративтік желіден тікелей қолжетімділік болса, P және I көрсеткіштері жоғары болуы мүмкін. Сегментация, Firewall және қолжетімділікті шектеу сияқты шаралар P мәнін төмендетуге бағытталады.

Сонымен қатар, қауіптің салдарын шектеу арқылы *I* көрсеткішіне де әсер етуге болады. Мысалы, SCADA сервері бұзылған жағдайда шабуылдаушының PLC желісіне тікелей өту мүмкіндігі болмаса, инциденттің өндірістік басқару деңгейіне таралу ықтималдығы шектеледі. ICS ортасында кибертәуекелдерді жүйелік деңгейде анықтау үшін тәуелділікті модельдеуге және Байес желілеріне негізделген әдістер ұсынылған [7]; (1) формуласы бұл әдістерге қарағанда қарапайым және сегментацияның әсерін алдын ала бағалауға арналған.

Өндірістік желілерде сегментацияны бағалау үшін келесі көрсеткіштерді қолдану ұсынылады:

- сегменттер саны;
- сегменттер арасындағы рұқсат етілген байланыстар саны;
- бұғатталған байланыстар үлесі;
- OT активтерінің корпоративтік желіден тікелей қолжетімділік деңгейі;
- рұқсат етілмеген трафик оқиғаларының саны;
- Firewall арқылы тіркелген қауіпсіздік оқиғалары;
- әкімшілік қолжетімділік арналарының саны;
- құжатталған және құжатталмаған деректер ағындарының арақатынасы.

Бұл көрсеткіштер сегментацияның техникалық жағдайын бақылаумен қатар, ақпараттық қауіпсіздікті басқару жүйесінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің маңызды нәтижелерінің бірі – корпоративтік және технологиялық желілер үшін бір ғана сегментация деңгейінің жеткіліксіз екендігін негіздеу. Біріншіден, корпоративтік IT және OT орталарын өзара бөлу қажет. Екіншіден, OT ішінде SCADA/HMI және PLC сияқты функционалдық деңгейлерді бөлу қажет. Үшіншіден, басқару сегменттеріне әкімшілік қолжетімділікті жеке қорғау қажет.

Осылайша үш деңгейлі сегментация моделін ұсынуға болады:

1-деңгей – IT/OT сегментациясы. Корпоративтік желі мен өндірістік желіні бөлу.

2-деңгей – OT ішіндегі функционалдық сегментация. SCADA, HMI және PLC желілерін бөлу.

3-деңгей – критикалық активтерді қорғау. Маңызды PLC, safety controller және басқа критикалық активтерге жеке қауіпсіздік саясатын қолдану.

Бұл тәсіл өндірістік желілерде defense-in-depth қағидасын іске асыруға мүмкіндік береді. Ғылыми зерттеулерде ICS сегментациясының өндірістік процестерге әсер ететін кибершабуылдардың домино әсерін шектеу құралы ретінде қолданылуы қарастырылған [8]. ICS киберқауіпсіздік құрылымдарын defense-in-depth өлшемдері бойынша бағалау жұмыстары да көпдеңгейлі қорғанысты негізгі талап ретінде қарастырады [9].

IT/OT интеграциясының қазіргі даму тенденциялары желілік архитектураға қойылатын талаптардың одан әрі күшеюіне алып келеді. Соңғы зерттеулер IT және OT интеграциясын коммуникация, өндірістік басқару, адам факторы және киберқауіпсіздік сияқты бірнеше өзара байланысты бағыттар арқылы қарастырады [10]. Оны практикада енгізу ұсыныстары IT/OT конвергенциясының қазіргі жай-күйін талдауға негізделеді [11]. Мұнай-газ нысандарындағы IT/OT конвергенциясы кезінде тәуекелдерді басқаруда адам факторын ескеру қажеттігі атап өтіледі [12], ал IT–OT конвергенциясына арналған салалық стандарттарға негізделген қауіпсіздік құрылымдары да ұсынылуда [13]. Сонымен қатар IT/OT конвергенциясы жағдайында сегментацияны нөлдік сенім (Zero Trust) қағидаттарымен толықтыру бағыты дамып келеді [14, 15]. Сондықтан өндірістік сегментация тек желілік құрылғыларды орналастыру мәселесі емес, ұйымның ақпараттық қауіпсіздігін басқару, активтерді басқару және өндірістік процестердің тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелерін біріктіретін кешенді міндет болып табылады.

SCADA жүйелерінің заманауи архитектуралары да желілік қосылымдардың кеңеюіне байланысты қауіпсіздік талаптарының артуын көрсетеді. Зерттеулерде SCADA жүйелерінің бұрынғы оқшауланған архитектуралардан қазіргі желілік және Интернетке

қосылған архитектураларға ауысуы олардың шабуыл бетінің кеңеюіне ықпал ететіні көрсетілген [16].

Сондықтан өндірістік желілер үшін ұсынылатын қауіпсіздік моделі келесі қағидаттарға негізделуі тиіс:

1) **Сегментация** – активтерді функционалдық және қауіпсіздік талаптарына қарай бөлу;

2) **Минималды қолжетімділік** – пайдаланушыға немесе жүйеге тек қажетті ресурстарға рұқсат беру;

3) **Default Deny** – анық көрсетілмеген байланыстарға тыйым салу;

4) **Defense-in-Depth** – бірнеше тәуелсіз қорғаныс деңгейін пайдалану;

5) **Мониторинг** – желілік трафик пен қауіпсіздік оқиғаларын тұрақты бақылау;

6) **Тұрақты аудит** – қауіпсіздік саясаты мен сегментация ережелерін кезеңдік қайта қарау;

7) **Қауіпсіздік талаптарын IT/OT өмірлік цикліне енгізу** – жаңа өндірістік жүйелерді жобалау кезінде қауіпсіздік талаптарын бастапқы кезеңнен ескеру.

Ұсынылған архитектураны өндірістік кәсіпорындарға енгізу кезінде маңызды мәселе – қолданыстағы OT жүйелерінің үздіксіздігін бұзбау. Кейбір өндірістік құрылғылар ұзақ уақыт бойы пайдаланылып, қазіргі заманғы қауіпсіздік механизмдерін толық қолдамауы мүмкін. Осы себепті сегментацияны енгізу кезінде өндірістік процестің қолжетімділігі бірінші кезектегі талаптардың бірі ретінде ескерілуі тиіс [1].

Сондықтан желілік қауіпсіздік шараларын енгізу өндірістік технологиялық процестермен келісіліп жүргізілуі қажет. Firewall ережелерін енгізу алдында нақты коммуникациялар анықталып, өзгерістерді тестілеу және кезең-кезеңімен енгізу жүзеге асырылуы тиіс.

Зерттеу нәтижелері сегментацияны дұрыс жобалау кезінде корпоративтік желідегі қауіптің OT ортасына таралу жолдарын қысқартуға, критикалық активтердің желілік оқшаулануын күшейтуге және желілік трафикті басқарудың ашық механизмін қалыптастыруға болатынын көрсетеді.

Қорытынды. Зерттеу барысында өндірістік корпоративтік және технологиялық желілерді сегментациялау арқылы ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселесі қарастырылды. IT және OT жүйелерінің өзара интеграциясы өндірістік процестерді цифрландыру үшін маңызды болғанымен, корпоративтік ортадан технологиялық ортаға киберқауіптердің таралуына жаңа мүмкіндіктер қалыптастырады.

Жүргізілген талдау өндірістік желілерді біртұтас жазық архитектурада орналастыру қауіптің таралу аймағын ұлғайтатынын көрсетті. Осыған байланысты корпоративтік IT, Industrial DMZ, OT Operations, Control және Field Zone деңгейлерінен, сондай-ақ қауіпсіздікті басқару аймағынан тұратын сегменттелген архитектура ұсынылды.

Ұсынылған модельдің негізгі ерекшелігі – корпоративтік және технологиялық желілер арасында тікелей байланысты болдырмау және қажетті ақпарат алмасуды басқарылатын аралық аймақ арқылы ұйымдастыру. Бұл тәсіл желіаралық экрандар, ACL, VLAN және мониторинг механизмдерімен толықтырылады.

Зерттеу нәтижесінде өндірістік желілерді қорғаудың негізгі принциптері анықталды: желілік сегментация, минималды қолжетімділік, default deny саясаты, defense-in-depth, деректер ағындарын бақылау және үздіксіз мониторинг.

IEC 62443 стандартындағы zones and conduits тұжырымдамасы өндірістік жүйелерді қауіпсіздік талаптарына сәйкес құрылымдауға мүмкіндік береді. NIST SP 800-82 Rev.3 ұсынымдары желілік сегментация мен оқшаулауды OT орталарын қорғаудың маңызды шараларының бірі ретінде қарастырады [1]. Ал ISO/IEC 27001:2022 талаптары желілік қауіпсіздік шараларын кәсіпорынның жалпы ақпараттық қауіпсіздікті басқару жүйесімен байланыстыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, желілік сегментацияны тек техникалық конфигурация ретінде емес, өндірістік кәсіпорынның ақпараттық қауіпсіздігін басқару жүйесінің құрамдас бөлігі

ретінде қарастыру қажет. Сегментацияның тиімділігі активтерді түгендеу, деректер ағындарын анықтау, қауіпсіздік аймақтарын қалыптастыру, рұқсат саясатын әзірлеу және тұрақты мониторинг жүргізу процестерімен қамтамасыз етіледі.

Ұсынылған архитектураның практикалық маңызы – оны өндірістік кәсіпорындардың қолданыстағы желілік инфрақұрылымына кезең-кезеңімен енгізуге болатындығында. Болашақ зерттеулерде ұсынылған модельді нақты өндірістік желі стендінде тәжірибелік сынақтан өткізу, қауіп сценарийлерін модельдеу, желілік трафиктің өзгеруін талдау және сегментация енгізілгенге дейінгі және енгізілгеннен кейінгі тәуекел деңгейлерін сандық салыстыру қарастырылады.

Әдебиеттер:

[1] **Stouffer, K.,** Pease M., Tang C., Zimmerman T., Pillitteri V., Lightman S., Hahn A., Saravia S., Sherule A., Thompson M. Guide to Operational Technology (OT) Security. NIST Special Publication 800-82 Rev. 3. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-82r3.

[2] **Bhamare, D.,** Zolanvari M., Erbad A., Jain R., Khan K., Meskin N. Cybersecurity for industrial control systems: A survey // Computers & Security. – 2020. – Vol. 89. Article 101677. DOI: 10.1016/j.cose.2019.101677.

[3] **Maleh, Y.** IT/OT convergence and cyber security // Computer Fraud & Security. –2021.– No. 12. – P. 13-16. DOI: 10.1016/S1361-3723(21)00129-9.

[4] **Yatagha, R.,** Waedt K., Schindler J., Kirdan E. Security challenges and best practices for resilient IIoT Networks: Network Segmentation // INFORMATIK 2023. 2023. P. 2051–2070. DOI: 10.18420/inf2023_204.

[5] **Mell, P.,** Shook J., Harang R. Measuring and Improving the Effectiveness of Defense-in-Depth Postures // Proceedings of the 2nd Annual Industrial Control System Security Workshop. – 2016. DOI: 10.1145/3018981.3018986.

[6] **Fielder A.,** Li T., Hankin C. Defense-in-depth vs. critical component defense for industrial control systems // Proceedings of the 4th International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research. – 2016.– P. 1-10. DOI: 10.14236/ewic/ICS2016.1.

[7] **Rotibi, A.O.,** Saxena N., Burnap P., Reed C. System-level operational cyber risks identification in industrial control systems // Cyber-Physical Systems. – 2025. – Vol. 11.– No. 3. P. 265-296. DOI: 10.1080/23335777.2024.2373388.

[8] **Arief, R.,** Khakzad N., Pieters W. Mitigating cyberattack related domino effects in process plants via ICS segmentation // Journal of Information Security and Applications. – 2020.– Vol. 51. Article 102450. DOI: 10.1016/j.jisa.2020.102450.

[9] **Lima, E.P.** Rodriguez Esquerre V.F. Industrial Control System Cyber Security Frameworks: Assessment using Defense-in-Depth Criteria // International Journal of Information Security. – 2026. – Vol. 25. Article 99. DOI: 10.1007/s10207-026-01260-y.

[10] **Venanzi, R.** ,Di Modica G., Foschini L., Bellavista P. Towards IT/OT integration in industry digitalization: A comprehensive survey // Journal of Network and Computer Applications.– 2026. – Vol. 245. Article 104373. DOI: 10.1016/j.jnca.2025.104373.

[11] **Hantsch, C.,** Westner M., Matschi M. IT/OT-Konvergenz: Status-Quo und Umsetzungsempfehlungen // HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik.– 2025. –Vol. 62.– P. 402-418. DOI: 10.1365/s40702-024-01111-1.

[12] **Imran, H.,** Turner C., Nassar S., Tran Y., Salama M. Human-centered cybersecurity risk management for IT/OT-converged oil and gas operating facilities // Computers & Security. – 2026. – Vol. 167. Article 104918. DOI: 10.1016/j.cose.2026.104918.

[13] **Schachinger, F.-K.,** Rosenstatter T., Pache U. PURITY – An Industry-Standard-Based Security Framework for IT-OT Convergence // IEEE Access.–2026.– Vol. 14.– P. 57014-57032. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3682366.

[14] **Slatvinska, V.,** Bevza V. Zero-Trust Architecture for Industrial IoT (IIoT): Protecting Critical Infrastructure in IT/OT Convergence // Scientific Papers of Donetsk National Technical University.– 2026. –DOI: 10.32782/2786-9024/v4i6(38).359304.

[15] **Purohit, S.,** Bridging IT and OT: Cybersecurity Risks, Zero-Trust Solutions, and Industrial Resilience in Oil & Gas Downstream // ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports.– 2026.– Vol. 29.– No. 5. DOI: 10.55164/ajstr.v29i5.262008.

[16] **Yadav, G.,** Paul K. Architecture and security of SCADA systems: A review // International Journal of Critical Infrastructure Protection.–2021.–Vol. 34. Article 100433. DOI: 10.1016/j.ijcip.2021.100433.

References:

[1] **Stouffer, K.,** Pease M., Tang C., Zimmerman T., Pillitteri V., Lightman S., Hahn A., Saravia S., Sherule A., Thompson M. Guide to Operational Technology (OT) Security. NIST Special Publication 800-82 Rev. 3. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-82r3.

[2] **Bhamare, D.,** Zolanvari M., Erbad A., Jain R., Khan K., Meskin N. Cybersecurity for industrial control systems: A survey // Computers & Security. 2020. Vol. 89. Article 101677. DOI: 10.1016/j.cose.2019.101677.

[3] **Maleh, Y.** IT/OT convergence and cyber security // Computer Fraud & Security. 2021. No. 12. P. 13–16. DOI: 10.1016/S1361-3723(21)00129-9.

[4] **Yatagha, R.,** Waedt K., Schindler J., Kirdan E. Security challenges and best practices for resilient IIoT Networks: Network Segmentation // INFORMATIK 2023. 2023. P. 2051–2070. DOI: 10.18420/inf2023_204.

[5] **Mell, P.,** Shook J., Harang R. Measuring and Improving the Effectiveness of Defense-in-Depth Postures // Proceedings of the 2nd Annual Industrial Control System Security Workshop. 2016. DOI: 10.1145/3018981.3018986.

[6] **Fielder, A.,** Li T., Hankin C. Defense-in-depth vs. critical component defense for industrial control systems // Proceedings of the 4th International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research. 2016. P. 1–10. DOI: 10.14236/ewic/ICS2016.1.

[7] **Rotibi, A.O.,** Saxena N., Burnap P., Reed C. System-level operational cyber risks identification in industrial control systems // Cyber-Physical Systems. 2025. Vol. 11, No. 3. P. 265–296. DOI: 10.1080/23335777.2024.2373388.

[8] **Arief, R.,** Khakzad N., Pieters W. Mitigating cyberattack related domino effects in process plants via ICS segmentation // Journal of Information Security and Applications. 2020. Vol. 51. Article 102450. DOI: 10.1016/j.jisa.2020.102450.

[9] **Lima, E.P.,** Rodriguez Esquerre V.F. Industrial Control System Cyber Security Frameworks: Assessment using Defense-in-Depth Criteria // International Journal of Information Security. 2026. Vol. 25. Article 99. DOI: 10.1007/s10207-026-01260-y.

[10] **Venanzi, R.,** Di Modica G., Foschini L., Bellavista P. Towards IT/OT integration in industry digitalization: A comprehensive survey // Journal of Network and Computer Applications. 2026. Vol. 245. Article 104373. DOI: 10.1016/j.jnca.2025.104373.

[11] **Hantsch, C.,** Westner M., Matschi M. IT/OT-Konvergenz: Status-Quo und Umsetzungsempfehlungen // HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 2025. Vol. 62. P. 402–418. DOI: 10.1365/s40702-024-01111-1.

[12] **Imran, H.,** Turner C., Nassar S., Tran Y., Salama M. Human-centered cybersecurity risk management for IT/OT-converged oil and gas operating facilities // Computers & Security. 2026. Vol. 167. Article 104918. DOI: 10.1016/j.cose.2026.104918.

[13] **Schachinger, F.-K.,** Rosenstatter T., Pache U. PURITY – An Industry-Standard-Based Security Framework for IT-OT Convergence // IEEE Access. 2026. Vol. 14. P. 57014–57032. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3682366.

[14] **Slatvinska, V.,** Bevza V. Zero-Trust Architecture for Industrial IoT (IIoT): Protecting Critical Infrastructure in IT/OT Convergence // Scientific Papers of Donetsk National Technical University. 2026. DOI: 10.32782/2786-9024/v4i6(38).359304.

[15] **Purohit, S.,** Bridging IT and OT: Cybersecurity Risks, Zero-Trust Solutions, and Industrial Resilience in Oil & Gas Downstream // ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports. 2026. Vol. 29, No. 5. DOI: 10.55164/ajstr.v29i5.262008.

[16] **Yadav, G.,** Paul K. Architecture and security of SCADA systems: A review // International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2021. Vol. 34. Article 100433. DOI: 10.1016/j.ijcip.2021.100433.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЁМ СЕГМЕНТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Бекетова Г.С., PhD, доцент
Калбаев Т.С., магистрант 2 курса ОП 7М06101 «Информационные системы»

АО «Алматинский технологический университет», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассматривается обеспечение информационной безопасности производственных предприятий путём сегментации корпоративных и технологических сетей. Цифровизация производственных процессов и интеграция информационных (IT) и операционных (OT) технологий повышают вероятность распространения киберугроз из корпоративной среды в технологические сети. Цель исследования – разработка архитектуры информационной безопасности производственной сети на основе сегментации и обоснование её основных механизмов защиты. Применены системный и сравнительный анализ, моделирование сетевой архитектуры и оценка рисков. Предложена модель из шести зон: корпоративная IT-сеть, промышленная DMZ, уровни SCADA/HMI, управления (PLC) и полевой уровень, а также зона управления безопасностью; в ней используются VLAN, межсетевые экраны, списки контроля доступа и политика «default deny». Обосновано, что сегментированная архитектура с промежуточной DMZ и контролируемыми каналами связи (conduits) вместо прямого соединения IT- и OT-сред ограничивает область распространения угроз. Предложены восьмиэтапный алгоритм внедрения сегментации и показатели оценки её эффективности. Предложенный подход можно внедрять поэтапно, не нарушая непрерывности производственных процессов. Модель может служить технической основой системы управления информационной безопасностью, обеспечивающей конфиденциальность, целостность и доступность производственных сетей.

Ключевые слова: производственная сеть, информационная безопасность, IT/OT, сегментация сети, SCADA, PLC, DMZ, кибербезопасность.

ENSURING INFORMATION SECURITY THROUGH SEGMENTATION OF INDUSTRIAL CORPORATE AND TECHNOLOGICAL NETWORKS

Beketova G.S., PhD, associate professor
Kalbayev T.S., 2nd-year Master's student of the EP 7M06101 «Information Systems»

JSC «Almaty Technological University», Almaty, Kazakhstan

Annotation. The article addresses the problem of ensuring the information security of industrial enterprises through the segmentation of corporate and technological networks. The digitalization of production processes and the integration of information technologies (IT) and operational technologies (OT) increase the likelihood that cyber threats will spread from the corporate environment to technological networks. The aim of the study is to develop a segmentation-based information security architecture for an industrial network and to substantiate its main protection mechanisms. Systems analysis, comparative analysis, modelling and risk assessment were used. A six-zone model is proposed, comprising the enterprise IT network, an industrial DMZ, the SCADA/HMI level, the control (PLC) level, the field level and a security management zone; it relies on VLANs, firewalls, access control lists and a default-deny policy. It is shown that a segmented architecture with an intermediate DMZ and controlled communication channels (conduits), instead of a direct connection between IT and OT environments, limits the area over which threats can spread. An eight-stage algorithm for implementing segmentation and indicators for assessing its effectiveness are proposed. The model can serve as the technical basis of an information security management system that ensures the confidentiality, integrity and availability of industrial networks.

Keywords: industrial network, information security, IT/OT, network segmentation, SCADA, PLC, DMZ, cybersecurity.

SRSTI 52.47.25 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.087

REGULATION OF PUMP-EJECTOR SYSTEM OPERATING MODES UNDER VARIABLE FLOW OF LOW-PRESSURE ASSOCIATED PETROLEUM GAS

Tanzharikov P.A., candidate of technical sciences, professor
pan_19600214@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-6490-9972
Amangeldiyeva G.B., Master's Degree in Oil and Gas Engineering
amangeldieva74@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9187-8104
Makhatova N. Sh. Master of Engineering and Technology
Nurgik_82@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9187-8104
Sarabekova U.Zh.[1]* PhD, associate professor
emanex@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9548-8333

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. The paper considers the selection and regulation of operating modes of a pump-ejector system under a wide variation in the flow rate of low-pressure associated petroleum gas. The study aims to determine, through a re-analysis of published experimental characteristics, the effects of gas flow rate and working pressure upstream of the nozzle on the ejector pressure differential and efficiency, and to refine a regulation principle for variable gas flow conditions. In the data considered, the daily gas flow rate varied from 650 to 8880 m³/day, with a maximum-to-minimum ratio of 13.66. The ejector working pressure ranged from 0.4 to 2.13 MPa; the gas flow rate corresponding to maximum-efficiency modes varied from 1.26 to 5.51 L/s, while the ejector pressure differential ranged from 0.106 to 0.699 MPa. Increasing the working pressure shifted the effective operating range toward higher gas flow rates, whereas the variation in maximum efficiency did not exceed 0.9% over 0.8–2.13 MPa. The results indicate that pump shaft speed can be used as the primary regulation parameter, while a short-term cyclic operating mode can supplement frequency regulation when the gas-flow variation is wide.

Keywords: associated petroleum gas, pump-ejector system, liquid-gas ejector, working pressure, gas flow rate, efficiency, operating-mode regulation.

Introduction. The use of low-pressure associated petroleum gas at oil production facilities is complicated by changes in gas flow over time. The instability of the gas flow changes the operating point of the ejector and does not allow the once selected mode to be maintained for the entire period of use. Pump-ejector systems allow low-pressure gas to be introduced into the water-gas mixture without additional mechanical compression using the energy of the liquid flow, and for this reason can be used in associated gas use and water-gas effect technologies [1-4].

The operating mode of the pump-ejector system depends on the pressure and flow rate of the working fluid, gas consumption, pressures in the intake chamber and the exhaust part of the system, as well as on the hydrodynamic parameters of the flow. The literature shows the ability to adapt the system to variable gas consumption by changing the pressure and energy characteristics of the ejector, including adjusting the pump speed [1,2]. The operating characteristics of liquid-gas ejectors are also influenced by nozzle geometry, working pressure, and gas retention conditions [5-9].

In this paper, changes in the flow rate of low-pressure associated gas and the operating characteristics of the ejector are considered in interconnection. A feature of the analysis is the assessment of not only the individual maximum efficiency point, but also the effective working area, which must be maintained when the gas consumption changes. This approach makes it possible to clarify the principle of practical adjustment for the selection of working pressure and changing the pump mode.

The purpose of the study is to substantiate the principle of regulation of the operating modes of the pump – ejector system in conditions of variable flow of low-pressure associated petroleum gas based on a re-analysis of the published experimental characteristics. To achieve this goal: the scale of changes in gas consumption was evaluated; the effect of working pressure

on the pressure difference in the ejector was analyzed; the dependence of efficiency on gas consumption was considered; the change in gas consumption in accordance with the modes of maximum efficiency was evaluated; based on the results, the principle of regulation of the mode was formulated.

Research materials and methods. The object of the study is a pump – ejector technological complex designed for use in the system of preparation and injection of a water-gas mixture of low-pressure associated petroleum gas. In the technological scheme, the separated liquid phase is fed to the pump as a working fluid, after which it is directed to the ejector nozzle. Through the intake chamber, low-pressure gas is drawn into the ejector, and the formed water-gas mixture is fed to the injection line. As the main elements of the system, a pump, a liquid-gas ejector, a water line, a low-pressure gas line and a water-gas mixture injection line are considered.

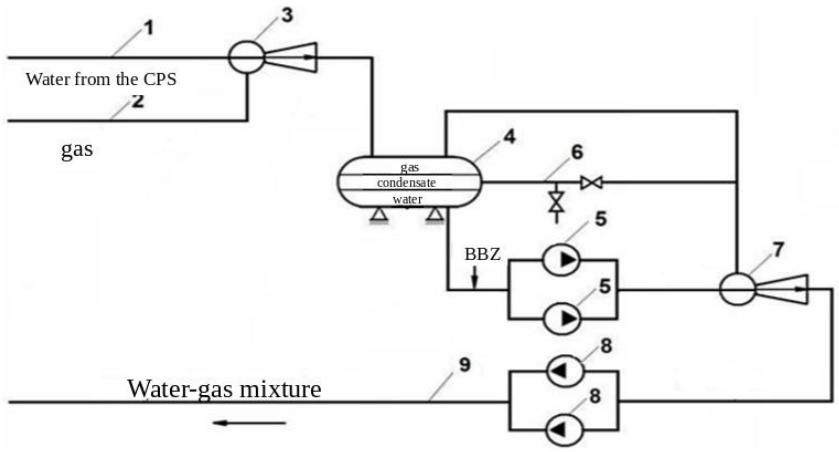


Figure 1– is a principled view of the technological scheme that implements the water-gas effect

The published experimental characteristics at variable flow rates of low pressure associated gas were used as the main material for the analysis [1]. The daily dynamics of gas consumption and the pressure and energy characteristics of the ejector at four working pressures were compared. Therefore, the results presented in this work are not considered as a new bench experiment, but as a systematized re-analysis of published experimental data.

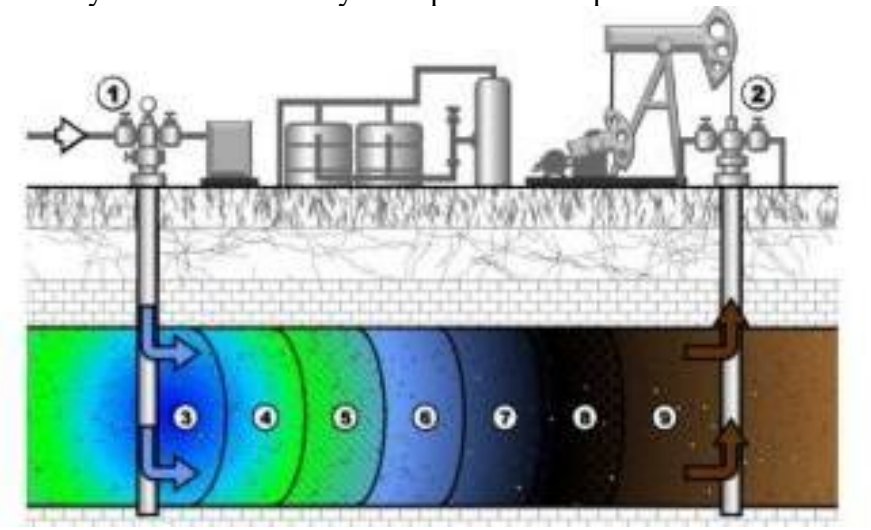


Figure 2 – the principle scheme of the water-gas effect injected into the layer

The pressure difference was taken as the main indicator of the ejector operation. It is determined by the pressure difference at the ejector outlet and the pressure difference in the receiving chamber:

$$Рэс = Рс – Рпр$$

here Res is the pressure difference in the ejector, MPA; RS is the pressure at the ejector outlet, MPA; RPR is the pressure in the receiving chamber, MPA.
Rs-pressure at the ejector outlet, MPA;
RPR-pressure in the receiving chamber, MPA.

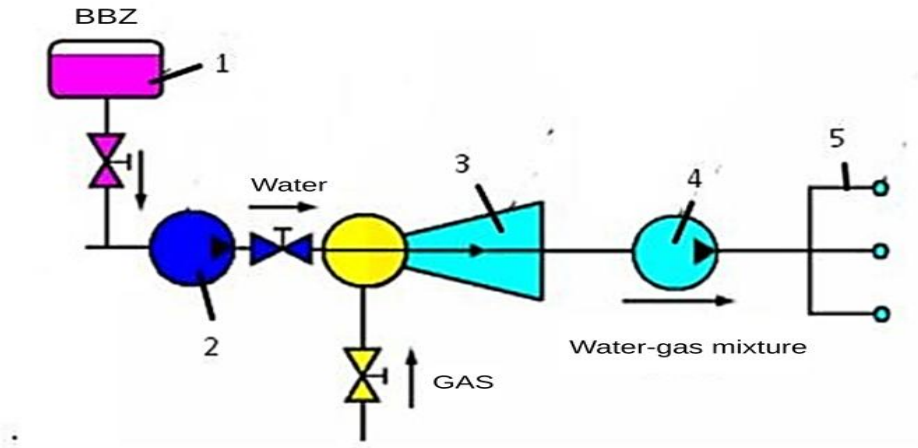


Figure 3 – the principle scheme of the pump-ejector system for the use of low-pressure associated gas

The analysis considered four working pressures in front of the nozzle: 0.4; 0.8; 1.59 and 2.13 MPA. For these modes, the pressure difference and efficiency curves when the gas flow changes were compared. The ratio of the maximum and minimum values of the working pressure was equal to 5.33. In maximum efficiency modes, the pressure difference in the ejector varied from 0.106-0.699 MPA, and the gas consumption ranged from 1.26-5.51 L/s.
The analysis was carried out by comparing the shape of the experimental curves, the extreme values and their displacement towards the working pressure. No additional regression or analytical dependencies were identified according to the considered data. Therefore, the results obtained are interpreted not as a numerical equation of dependencies, but as an engineering characteristic for mode selection and regulation [10-13].

Research results and discussion. In the considered period, the daily consumption of associated petroleum gas varied in the range of 650-8880 m3/day. The ratio of the maximum and minimum values was 13.66 (Figure 4). Consequently, the change in gas flow is one of the main operational factors that directly affect the operating point of the system. In such a situation, keeping the ejector in a mode designed for only one constant gas consumption can lead to an exit from the effective working area.

The effect of working pressure on the pressure difference in the ejector. When the working pressure in front of the nozzle changed from 0.4 MPA to 2.13 MPA, that is, 5.33 times, the pressure difference in the ejector in accordance with the maximum efficiency modes varied from 0.106 to 0.699 MPA. The increase in pressure in this range expands the ejector's ability to operate at high gas costs. However, this result does not mean that it is necessary to keep the pressure at the maximum value all the time: the operating mode corresponding to the actual gas consumption must be observed.



Figure 4 – dynamics of changes in the daily consumption of Associated Petroleum Gas [1].

Figure 5 shows that maintaining the working pressure at a constant level in the event of a change in gas consumption is not equally suitable for all modes.

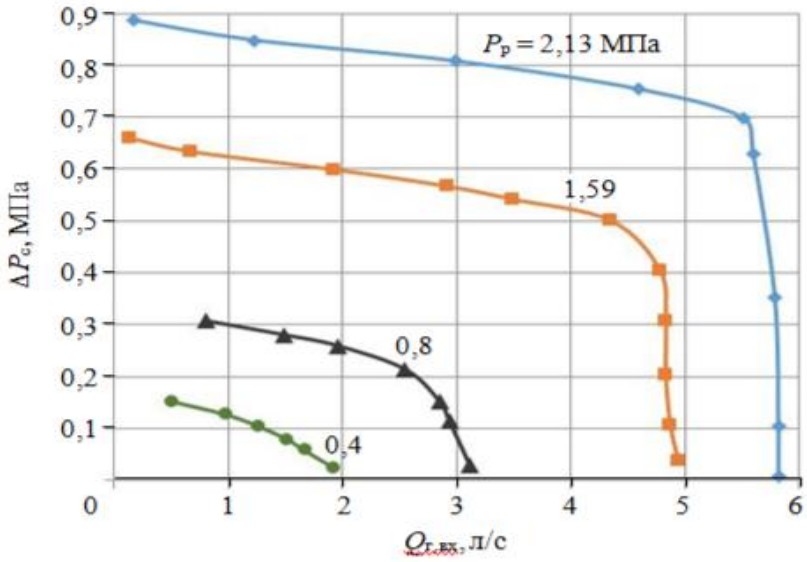


Figure 5 – dependence of the pressure difference of the res in the ejector on gas consumption [1]

As gas consumption increases, the decrease in pressure difference increases the risk of the ejector leaving the effective working area. In this regard, the gas flow rate or the control parameter proportional to it can be considered as a feedback signal for adjusting the working pressure. This proposal is considered in this work not as an experimental test of a separate automatic control system, but as a regulatory principle that follows from the characteristics obtained.

Dependence of ejector efficiency on gas consumption. A change in gas consumption in the range of 1.26–5.51 l/s according to the modes of maximum efficiency indicates that when the working pressure increases, the effective working area is shifted to the side of high gas consumption. That is, as the working pressure increases, the gas consumption corresponding to the maximum efficiency also increases. However, the available discrete experimental modes are not sufficient to describe this dependence in the form of a linear function (Figure 6). Therefore, this result allows us to interpret the effect of working pressure as a shift in the effective working area, and not as a quantitative regression.

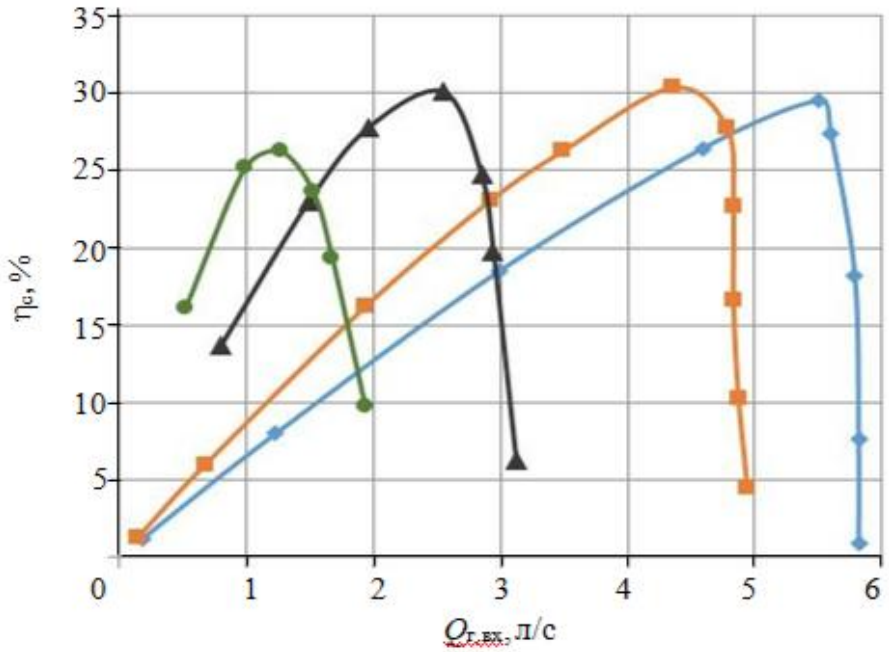


Figure 6 – dependence of the efficiency of a liquid-gas ejector on gas consumption [1]

As a result of the dependence of the maximum efficiency on the working pressure, it clarifies the practical criterion for choosing the operating mode: the working pressure should be selected not only according to the value of the maximum efficiency, but according to the correspondence of the actual gas consumption to the effective working area of the ejector.

In cases where the range of changes in gas consumption is wider than the possibility of frequency regulation, an additional use of a short-term cyclic mode of operation is provided. In this case, the system accumulates the necessary pressure, pumps gas through the ejector, and the cycle is repeated when the pressure reaches the set lower limit [1]. This approach is considered as an additional means of maintaining the system's operability in a wide range of changes.

The simple logical sequence of the regulation principle is given as follows:

$$Qg \rightarrow Pp \rightarrow Pэс \rightarrow \eta$$

where Qg - is the controlled gas consumption;
Pp- working pressure in front of the nozzle;
Res - pressure difference in the ejector;
η - ejector efficiency.

The essence of the algorithm is to first change the pump speed when the gas consumption changes. If the required operating mode is provided within this adjustment range, frequency adjustment remains as the main approach. If a change in gas consumption brings the system out of this range into the operating zone, the frequency regulation is supplemented by a short-term cyclic operating mode. The purpose of this solution is not to maintain the maximum efficiency permanently, but to maintain the effective working area of the ejector in conditions of real gas consumption.

When designing the system, the parameters of the pump and ejector must be checked taking into account the maximum expected gas consumption. During use, it is not required to keep the system stable in the maximum mode; the working pressure and fluid consumption need to be adjusted according to the actual gas consumption. Thus, the principle of regulation is implemented using the connection "gas flow - working pressure - pressure difference of the ejector - efficiency" [14,15].

Conclusion: a re-analysis of the published experimental characteristics showed that at variable flow rates of low-pressure associated petroleum gas, the operating mode of the pump-

ejector system can be adapted by changing the working pressure and the operating mode of the pump. In the considered modes, the working pressure was 0.4–2.13 MPa, the gas consumption corresponding to the maximum efficiency was 1.26-5.51 l/s, and the pressure difference in the ejector was in the range of 0.106–0.699 MPa.

The increase in working pressure moves the effective working area to the side of high gas consumption, but the change in the maximum efficiency is limited: in the range of 0.8-2.13 MPA, it does not exceed 0.9%. Therefore, when choosing a mode, the main condition should be taken as compliance with the effective working area of the ejector, which corresponds to the actual gas consumption, rather than striving for the maximum pressure value.

In cases where the change in gas consumption is relatively small, changing the speed of the pump shaft is recommended as the main adjustment method. In case of a change in gas consumption several times, in the considered data more than five times, it is necessary to supplement the frequency regulation with a short-term cyclic mode of operation [1]. The proposed principle can be applied to the choice of operating modes in systems for using low-pressure associated gas and pumping a water-gas mixture.

In this paper, there is no direct assessment of the oil yield of the reservoir, the production of additional oil and the economic efficiency of the technology. To determine these indicators, additional model and field studies are required in the geological and hydrodynamic conditions of a particular field [16-18].

Әдебиеттер:

[1] **Дроздов, А.Н.,** Горбылева Я.А. Совершенствование эксплуатации насосно-эжекторных систем при изменяющихся расходах попутного нефтяного газа // Записки Горного института.– 2019. –Т. 238.– С. 415-422. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.415.

[2] **Дроздов, А.Н.,** Горелкина Е.И. Разработка насосно-эжекторной системы для реализации водогазового воздействия на пласт с использованием попутного нефтяного газа из затрубных пространств добывающих скважин // Записки Горного института.– 2022.– Т. 254. –С. 191-201. DOI: 10.31897/PMI.2022.34.

[3] **Насраддин, А.Ж.,** Танжариков П.А., Сүлейменов Н.С. Кен орындарында мұнайды сусыздандыруды зерттеу және жетілдіру//НЕФТЬ И ГАЗ.– Алматы,2022.– №5 (131).– С. 87-95.

[4] **Дроздов, А.Н.,** Дроздов Н.А. Перспективы развития технологии эксплуатации скважин с использованием струйного насоса в России // SPE Russian Petroleum Technology Conference.– 2015. SPE-176676-MS. DOI: 10.2118/176676-MS.

[5] **Танжариков, П.А.,** Тілеуберген А.Ж., Сүлейменов Н.С. Мұнай және газ кенорындарын пайдаланудағы терең сорапты қондырғыларды штангалық жабдықтарын жетілдіру // НЕФТЬ И ГАЗ.–Алматы, 2022.– №4 (130).– С. 74.

[6] **Бункин, Н.Ф.,** Дроздов А.Н., Дроздов Н.А., Козлов В.А., Туан В.М., Фуиль В.Л. Подавление коалесценции газовых пузырьков в водных растворах электролитов: зависимость от внешнего давления и скорости движения газа через колонну с жидкостью // Physics of Wave Phenomena. –2017. – Т. 25. – № 3. – С. 219-224. DOI: 10.3103/S1541308X17030098.

[7] **Дроздов, А.Н.,** Закенов С.Т., Олмашханов Н.П., Карабаев С.Д., Дроздов Н.А., Горелкина Е.И., Есниязов Д.Г., Кожанов А.А. Стендовые исследования влияния свободного газа на характеристики многоступенчатого центробежного насоса при откачке водогазовых смесей // Нефтяное хозяйство. –2020. –№ 8.– С. 96-99. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-96-99.

[8] **Дроздов, А.Н.,** Закенов С.Т., Карабаев С.Д., Олмашханов Н.П., Дроздов Н.А., Есниязов Д.Г., Кожанов А.А. Влияние расстояния между соплом и горловиной на характеристики водоструйного газового насоса // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 8. – С. 92-95. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-92-99.

[9] **Карабаев, С.,** Олмашханов Н., Мирсамиев Н., Мугишо Ж. Стендовое исследование насосно-эжекторной системы при одновременнй закачке воды и газа // ICAM 2019. Springer. – 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-22974-0_52.

[10] Гидравлические характеристики жидкостно-газового эжекторного насоса со сплошной жидкостной струёй // Chemical Engineering Research and Design.– 2021.– Т. 168.– С. 435-442. DOI: 10.1016/j.cherd.2021.02.022.

[11] **Чжан Ю.**, Сунь Дж., Лю З. и др. Исследование оптимизации характеристик газожидкостного эжектора в устройстве для многофазного смешанного транспорта // Journal of Mechanics. – 2022.– Т. 38.– С. 22-31. DOI: 10.1093/jom/ufac001.

[12] Повышение коэффициента эжекции газа в жидкостно-газовом эжекторном насосе // Chemical Engineering Research and Design. – 2023.–Т.189. – С. 117-125. DOI: 10.1016/j.cherd.2022.11.009.

[13] **Горелкина, Е.И.** Методика расчета рабочих параметров жидкостно-газового эжектора с использованием среднеинтегральных характеристик // Scientific Proceedings of the NIPI Oil and Gas SOCAR. –2024. – № 4.– С. 102-110. DOI: 10.5510/OGP20240401024.

[14] **Дроздов, А.Н.,** Чернишов К.И., Калинников В.Н., Закиев А.Р., Галимов А.М., Горелкина Е.И. Закачка водогазовых смесей в пласт насосно-эжекторной системой с использованием пресной и высокоминерализованной пластовой воды // Нефтяное хозяйство. – 2025. –№ 2.– С. 54-57. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-2-54-57.

[15] **Дроздов, А.Н.,** Вербицкий В.С., Шишулин В.А., Горелкина Е.И. Исследование рабочих характеристик жидкостно-газовых эжекторов для закачки водогазовых смесей в пласт // Нефтяное хозяйство. –2025. –№ 3. –С. 96-99. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-3-96-99.

[16] **Муслимов, Р.Х.** Планирование дополнительной добычи нефти и оценка эффективности методов увеличения нефтеотдачи. – Казань: Казанский государственный университет, 1999.– 280 с.

[17] **Амиров, А.А.** Обзор применения технологии водогазового воздействия / А.А. Амиров // Молодой учёный.– 2020.– №20. – С. 77-79.

[18] **Кокорев, В.И.** Газовые методы — новая технология увеличения нефтеотдачи // Нефтепромысловое дело. –2009. –№ 11.– С. 24-27.

References:

[1] **Drozdov, A.N.,** Gorbyleva Ja.A. Sovershenstvovanie jekspluatacii nasosno-jezhektornyh sistem pri izmenjajushhihsja rashodah poputnogo neftjanogo gaza // Zapiski Gornogo instituta.– 2019. – T. 238.– S. 415-422. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.415. [in Russian]

[2] **Drozdov, A.N.,** Gorelkina E.I. Razrabotka nasosno-jezhektornoj sistemy dlja realizacii vodogazovogo vozdejstvija na plast s ispol'zovaniem poputnogo neftjanogo gaza iz zatrubnyh prostranstv dobyvajushhih skvazhin // Zapiski Gornogo instituta.– 2022.– T. 254. –S. 191-201. DOI: 10.31897/PMI.2022.34. [in Russian]

[3] **Nasraddin, A.Zh.,** Tanzharikov P.A., Sylejmenov N.S. Ken oryndarynda munajdy susyzdandyrudy zertteu zhane zhetildiru//NEFT" I GAZ.– Almaty,2022.– №5 (131).– S. 87-95. [in Kazakh]

[4] **Drozdov, A.N.** Drozdov N.A. Perspektivy razvitija tehnologii jekspluatacii skvazhin s ispol'zovaniem strujnogo nasosa v Rossii // SPE Russian Petroleum Technology Conference.– 2015. SPE-176676-MS. DOI: 10.2118/176676-MS. [in Russian]

[5] **Tanzharikov, P.A.,** Tileubergen A.Zh., Sylejmenov N.S. Munaj zhane gaz kenoryndaryn paidalanudagy teren sorapty kondyrgylardy shtangalyk zhabdyktaryn zhetildiru // NEFT" I GAZ.– Almaty, 2022.– №4 (130).– S. 74. [in Kazakh]

[6] **Bunkin, N.F.,** Drozdov A.N., Drozdov N.A., Kozlov V.A., Tuan V.M., Fuil' V.L. Podavlenie koalescencii gazovyh puzyr'kov v vodnyh rastvorah jelektrolitov: zavisimost' ot vneshnego davlenija i skorosti dvizhenija gaza cherez kolonnu s zhidkost'ju // Physics of Wave Phenomena. –2017. – T. 25. – № 3. – S. 219-224. DOI: 10.3103/S1541308X17030098. [in Russian]

[7] **Drozdov, A.N.,** Zakenov S.T., Olmashhanov N.P., Karabaev S.D., Drozdov N.A., Gorelkina E.I., Esnijazov D.G., Kozhanov A.A. Stendovye issledovanija vlijanija svobodnogo gaza na harakteristiki mnogostupenchatogo centrobezhnogo nasosa pri otkachke vodogazovyh smesej // Neftjanoe hozjajstvo. – 2020. –№ 8.– S. 96-99. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-96-99. [in Russian]

[8] **Drozdov, A.N.,** Zakenov S.T., Karabaev S.D., Olmashhanov N.P., Drozdov N.A., Esnijazov D.G., Kozhanov A.A. Vlijanie rasstojanija mezhdu soplom i gorlovinoj na harakteristiki vodostrujnogo gazovogo nasosa // Neftjanoe hozjajstvo. – 2020. – № 8. – S. 92-95. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-92-99. [in Russian]

[9] **Karabaev, S.,** Olmashhanov N., Mirsamiev N., Mugisho Zh. Stendovoe issledovanie nasosno-jezhektornoj sistemy pri odnovremennj zakachke vody i gaza // ICAM 2019. Springer. –2019. DOI: 10.1007/978-3-030-22974-0_52. [in Russian]

[10] Gidravlicheskie harakteristiki zhidkostno-gazovogo jezhektornogo nasosa so sploshnoj zhidkostnoj strujoj // Chemical Engineering Research and Design.– 2021.– T. 168.– S. 435-442. DOI: 10.1016/j.cherd.2021.02.022.

[11] **Zhang, Y.,** Sun J., Liu Z. i dr. Issledovanie optimizacii harakteristik gazozhidkostnogo jezhektora v ustrojstve dlja mnogofaznogo smeshannogo transporta // Journal of Mechanics. – 2022.– T. 38.– S. 22-31. DOI: 10.1093/jom/ufac001. [in Russian]

[12] Povyshenie kojefficienta jezhekcii gaza v zhidkostno-gazovom jezhektornom nasose // Chemical Engineering Research and Design. – 2023.–T.189. – S. 117-125. DOI: 10.1016/j.cherd.2022.11.009. [in Russian]

[13] Gorelkina, E.I. Metodika rascheta rabochih parametrov zhidkostno-gazovogo jezhektora s ispol'zovaniem sredneintegral'nyh harakteristik // Scientific Proceedings of the NIPI Oil and Gas SOCAR. –2024. – № 4.– S. 102-110. DOI: 10.5510/OGP20240401024. [in Russian]

[14] **Drozdov, A.N.,** Chernishov K.I., Kalinnikov V.N., Zakiev A.R., Galimov A.M., Gorelkina E.I. Zakachka vodogazovyh smesej v plast nasosno-jezhektornoj sistemoj s ispol'zovaniem presnoj i vysokomineralizovannoj plastovoj vody // Neftjanoe hozjajstvo. – 2025. –№ 2.– S. 54-57. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-2-54-57. [in Russian]

[15] **Drozdov, A.N.,** Verbickij V.S., Shishulin V.A., Gorelkina E.I. Issledovanie rabochih harakteristik zhidkostno-gazovyh jezhektorov dlja zakachki vodogazovyh smesej v plast // Neftjanoe hozjajstvo. –2025. –№ 3. –S. 96-99. DOI: 10.24887/0028-2448-2025-3-96-99. [in Russian]

[16] **Muslimov, R.H.** Planirovanie dopolnitel'noj dobychi nefti i ocenka jeffektivnosti metodov uvelichenija nefteotdachi. – Kazan': Kazanskij gosudarstvennyj universitet, 1999.– 280 s. [in Russian]

[17] **Amirov, A.A**. Obzor primenenija tehnologii vodogazovogo vozdejstvija / A.A. Amirov // Molodoj uchjonyj.– 2020.– №20. – S. 77-79. [in Russian]

[18] **Kokorev, V.I.** Gazovye metody — novaja tehnologija uvelichenija nefteotdachi // Neftepromyslovoe delo. –2009. –№ 11.– S. 24-27. [in Russian]

ТӨМЕН ҚЫСЫМДЫ ІЛЕСПЕ МҰНАЙ ГАЗЫНЫҢ АЙНЫМАЛЫ ШЫҒЫНЫ ЖАҒДАЙЫНДА СОРАП-ЭЖЕКТОРЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН РЕТТЕУ

Танжариков П.А., техника ғылымдарының кандидаты, профессор
Амангельдиева Г.Б., мұнай газ ісі магистры
Махатова Н.Ш., техника және технология магистр
Сарабекова Ұ.Ж. PhD, доцент

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Аңдатпа. Мақалада төмен қысымды ілеспе мұнай газының шығыны кең аралықта өзгерген жағдайдағы сорап-эжекторлық жүйенің жұмыс режимдерін таңдау және реттеу мәселелері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – жарияланған эксперименттік сипаттамаларды қайта талдау негізінде газ шығыны мен саптама алдындағы жұмыс қысымының эжектордағы қысым айырмасына және оның тиімділігіне әсерін анықтау, сондай-ақ газ шығыны өзгермелі жағдайларда реттеу принципін нақтылау. Қарастырылған деректер бойынша газдың тәуліктік шығыны 650-ден 8880 м³/тәулікке дейін өзгерген, бұл ретте ең жоғары және ең төменгі мәндердің арақатынасы 13,66 құрады. Эжектордың жұмыс қысымы 0,4-2,13 МПа аралығында болды; ең жоғары тиімділікке сәйкес келетін газ шығыны 1,26-5,51 л/с аралығында өзгерді, ал эжектордағы қысым айырмасы 0,106-0,699 МПа аралығын құрады. Жұмыс қысымының жоғарылауы тиімді жұмыс аймағының жоғары газ шығындары жағына ығысуына әкелді, ал 0,8-2,13 МПа аралығында максималды тиімділіктің өзгеруі 0,9%-дан аспады. Алынған нәтижелер сорап білігінің айналу жиілігін реттеудің негізгі параметрі ретінде пайдалануға болатынын, ал газ шығынының өзгеру диапазоны кең болған жағдайда жиіліктік реттеуді қысқа мерзімді циклдік жұмыс режимімен толықтыруға болатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: ілеспе мұнай газы, сорап-эжекторлық жүйе, сұйық-газ эжекторы, жұмыс қысымы, газ шығыны, тиімділік, жұмыс режимін реттеу.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНО-ЭЖЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ РАСХОДЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Танжариков П.А., кандидат технических наук, профессор
Амангельдиева Г.Б., магистр нефтегазового дела
Махатова Н.Ш., магистр техники и технологий
Сарабекова У.Ж. PhD, доцент

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выбора и регулирования режимов работы насосно-эжекторной системы при широком диапазоне изменения расхода попутного нефтяного газа низкого давления. Цель исследования заключается в определении на основе повторного анализа опубликованных экспериментальных характеристик влияния расхода газа и рабочего давления перед соплом на перепад давления в эжекторе и его эффективность, а также в уточнении принципа регулирования при изменяющемся расходе газа. Согласно рассмотренным данным, суточный расход газа изменялся от 650 до 8880 м³/сут, при этом отношение максимального значения к минимальному составило 13,66. Рабочее давление эжектора находилось в диапазоне 0,4–2,13 МПа; расход газа, соответствующий режимам максимальной эффективности, изменялся от 1,26 до 5,51 л/с, а перепад давления в эжекторе составлял 0,106–0,699 МПа. Повышение рабочего давления приводило к смещению эффективного диапазона работы в сторону более высоких расходов газа, тогда как изменение максимальной эффективности в диапазоне давлений 0,8–2,13 МПа не превышало 0,9%. Полученные результаты показывают, что частота вращения вала насоса может использоваться в качестве основного регулируемого параметра, а при широком диапазоне изменения расхода газа частотное регулирование может дополняться кратковременным циклическим режимом работы.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, насосно-эжекторная система, жидкостно-газовый эжектор, рабочее давление, расход газа, эффективность, регулирование режима работы.

МРНТИ 87.19.81 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.088

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ

Воробьев А.Е.[1], доктор технических наук
fogel_al@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7324-428X
Воробьев К.А.[2,3], кандидат технических наук
vorobyev-ka@rudn.ru, https://orcid.org/0009-0008-3152-8197
Хаджиев А.А.[1]
khadjiev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0425-9418

[1]*Грозненский государственный университет имени академика М. Д. Миллионщикова, г.Грозный, Россия*
[2]*Российский университет дружбы народов (РУДН),г. Москва, Россия*
[3]*Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН), г.Москва, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена ростом интенсивности добычи и переработки металлических руд, приводящим к загрязнению рек тяжёлыми металлами на территориях, прилегающих к горнодобывающим предприятиям. Предметом исследования являются методика и информационно-измерительные методы полевых исследований речных экосистем горных территорий, подверженных воздействию горнодобывающей промышленности (на примере рек Актюбинской области – Илек, Большая Хобда и её притоков). Методика сочетает полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторный анализ. Рассматриваются методы изучения гидродинамики речного потока: измерение расхода и скорости течения (вертушки, фотогидрометрический метод LSPIV, метод «уклон-площадь»), оценка турбулентности и шероховатости русла по формуле Шези. Проанализированы гидрографические особенности русел – изгибы, быстрины, пороги, паводки, наносы и заросли растительности – и их влияние на распределение загрязнителей. Обосновывается выбор репрезентативных постов пробоотбора воды и донных отложений с учётом гидродинамических условий. Основной вывод: программа отбора проб должна быть адаптивной к морфологическим особенностям каждого участка русла, а не шаблонной: на быстринах – интегральные пробы по глубине, на изгибах – раздельный отбор у берегов, в разветвлениях – по рукавам, в зарослях – биологические образцы.

Ключевые слова: речные экосистемы, полевые исследования, методика, гидродинамика, отбор проб, горные реки, тяжёлые металлы.

Введение. В связи с непрерывным и довольно быстрым ростом спроса на различные минеральные ресурсы (в том числе – на цветные металлы: медь, свинец, цинк, алюминий и т.д.), обусловленным продолжающимися экономическими и социальными изменениями, происходящими практически во всем мире, по мере развития горнодобывающей промышленности, интенсивность добычи и переработки металлических руд также значительно возросла, что приводит к всё более острым геоэкологическим проблемам территорий прилегающих к разработкам месторождений полезных ископаемых, степень загрязнения которых зависит от расстояния до источника загрязнения, а также ландшафтных и других условий.

Так, горнодобывающая промышленность производит значительное количество сточных вод, отходов и отходящих газов, которые попадают в прилегающие и отдаленные районы (в том числе, в речные бассейны), увеличивая со временем загрязнение речных вод тяжелыми металлами [1].

В Актюбинской области РК к таким речным объектам (подверженным воздействию горной промышленности) относятся река Илек, берущая свое начало в Мугоджарах, и его притоки (Большая Хобда с её составляющими – Сарыхобда, Карахобда и др.), которые протекают вблизи ряда горнорудных предприятий (карьер и подземный рудник

Юбилейный и другие), длительное время, с 1969 г., их загрязняющие многочисленными отвалами и хвостохранилищами (в результате разработки из недр было изъято свыше 3 млн. м³ горной массы), и оставив после себя огромные выемки (Рис. 1).



Рисунок 1 – Карьер Юбилейный

Малые горные реки, расположенные вблизи горнодобывающих предприятий, подвергаются загрязнению не только в Актюбинской области, но и в других регионах Казахстана. Из-за природной уязвимости такие реки первыми реагируют на антропогенную нагрузку. Поэтому в Восточно-Казахстанской области, где сосредоточены крупные промышленные и горнодобывающие предприятия, оценка качества речных вод остаётся важной задачей [12]. Обследование малых рек бассейна Ульбы в Рудном Алтае, при котором воду отбирали в 85 пунктах, выявило превышение предельно допустимых концентраций кадмия в реках Ульба (до 21 ПДК), Тихая и Филипповка. Повышенное содержание цинка, кадмия и свинца авторы связывают с разработкой месторождений и работой горно-обогатительного комплекса [11]. Похожая картина наблюдается и за пределами региона. В донных отложениях реки Кунас в центральных Андах Перу, испытывающей влияние полиметаллической добычи, кадмия и свинца больше в нижнем створе, а кадмий и мышьяк превышают пороги экологического риска [13]. Систематический анализ данных гидрохимического мониторинга Казгидромета за 2017–2024 гг. по шести малым рекам Восточного Казахстана (Брекса, Тихая, Ульба, Глубочанка, Красноярка и Оба) впервые позволил оценить динамику качества их вод. Он стал научной основой для разработки адаптивных стратегий охраны и устойчивого использования водных ресурсов в условиях климатических и антропогенных изменений [12].

Объектом исследования являются речные экосистемы горных территорий Актюбинской области, подверженные воздействию горнодобывающей промышленности, предметом – методика и информационно-измерительные методы полевых исследований этих экосистем. Цель работы – обосновать методику полевых исследований, обеспечивающую репрезентативный отбор проб воды и донных отложений на горных реках. Для достижения цели поставлены задачи: рассмотреть методы измерения гидродинамических характеристик речного потока; проанализировать влияние гидрографических особенностей русла на распределение загрязнителей; обосновать выбор

постов пробоотбора и перечень полевых измерений. В основу работы положена гипотеза о том, что репрезентативность проб в горной реке определяется не только удалённостью от источника загрязнения, но и гидродинамикой и морфологией конкретного участка русла. Методы исследования включают анализ литературных источников, полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторный анализ.

Материалы и методы исследования. Обоснование методики исследования. Методика исследования горных рек требует использования комплексного подхода, сочетающего полевые наблюдения, инструментальные измерения и лабораторного анализа. Это обусловлено высокой изменчивостью гидравлических, морфологических и геохимических параметров таких водотоков, а также их неоднородным, зачастую турбулентным течением [2].

В связи с тем, что горная река представляет собой довольно сложную, динамичную систему, то ее каждый гидрографический элемент напрямую влияет на гидродинамику и распределение загрязнителей [3, 4]. Для корректного отбора проб необходимо понимать, как именно эти особенности формируют поток.

Для этого необходимо обеспечить исследование гидродинамики речного потока, имеющее целью количественно описать скоростной режим движения воды, что обеспечивается:

Измерением расхода и скорости. Классический метод – использование вертушек (токовых измерителей) для замера скорости в разных точках сечения. Также применяется фотогидрометрический метод (LSPIV), который бесконтактно фиксирует поверхностные скорости по движению частиц и эффективен на довольно бурных реках. Для оценки максимальных паводков используют метод «уклон-площадь», вычисляющий расход по следам уровня воды.

Для горных рек эффективна иерархическая стратегия замера гидравлического потока: целесообразен непрерывный мониторинг, подразумевающий обеспечение замера два раза в сутки на протяжении семи дней и ежечасный замер в течение 24 часов для изучения суточных колебаний речного потока.

Применение фотогидрометрического метода LSPIV на горных реках требует особого внимания к условиям съёмки и обработки видеозаписей. Анализ результатов международного сравнения видеоизмерений расхода (Video Globe Challenge 2020) показал, что на результат существенно влияют интервал времени между кадрами, расположение узлов расчётной сетки и применяемые фильтры; использование автоматизированных процедур обработки на восьми видеозаписях снизило межквартильный размах ошибок расхода с 17 до 5 %, а среднее смещение – с –9 до 1 % [14]. С учётом этого параметры обработки видео при полевых измерениях необходимо задавать согласованно и фиксировать в протоколе, а результаты LSPIV целесообразно сопоставлять с данными измерений вертушкой. Выбор оператора при съёмке и обработке данных рассматривается в [14] как один из основных источников ошибок бесконтактных методов определения расхода, что подтверждает необходимость стандартизации полевых процедур.

Оценкой сопротивления и турбулентности. Для горных рек важно определять коэффициент шероховатости русла и гидравлическое сопротивление. Расчеты ведутся по формуле Шези (1):

$$V = C\sqrt{(R \cdot i)}, \quad (1)$$

где: V – средняя скорость гидродинамического потока (м/с);

C – коэффициент Шези ($м^{0,5}/с$).

Это интегральная характеристика сил гидравлического сопротивления в речном русле. Чем выше С, тем меньше потери энергии на трение и тем больше скорость вод при тех же уклоне и глубине.

R – гидравлический радиус (м). Он равен отношению площади живого сечения гидродинамического потока (S) к ее периметру (P): R = S / P.
i – гидравлический уклон реки (м/м). По сути, это уклон водной поверхности на участке.

Исследование турбулентности речного потока требует высокочастотных измерений скорости в точке, например, с помощью акустической томографии (FAT).

Коэффициент Шези связан с коэффициентом Манинга n зависимостью $C = R^{1/6}/n$, поэтому оценка шероховатости русла сводится к определению n. Для горных рек n не является постоянной величиной и зависит от особенностей русла, в частности от его уклона [15]. В работе [15] коэффициент Манинга горной реки в Японии определён обратным расчётом: по продольным уровням воды, зафиксированным в паводок, выполнено двумерное моделирование неустановившегося течения, а полученные значения n укладываются в диапазон ранее опубликованных оценок; кроме того, предложено регрессионное уравнение, связывающее n с уклоном и морфометрическими параметрами русла.

Такой подход применим и для исследуемых рек, на которых прямые измерения скоростей в паводок затруднены.

Кроме того, необходимо обеспечить изучение гидрографических особенностей речной системы. В частности, анализ морфологии русла важен для понимания процессов и параметров речной гидродинамики и выбора точек отбора проб.

Объекты исследования речных русел. В русле реки для исследования выделяют:

• Морфодинамику русла, т.к. горные реки часто имеют ступенчато-омутовый характер. Также, для оценки сопротивления речного гидродинамического потока, изучается распределение по руслу различных донных отложений.

• Перекаты и пороги, представляющие мелководные участки, где речной гидродинамический поток ускоряется и возникают сложные турбулентные зоны, вихри и зоны замедления. Их изучение включает в себя обеспечения картирования таких участков и измерение глубин.

• Зоны турбулентности, возникающие вследствие неравномерности течения вод, которые обычно связаны с крупными валунами и значительными перепадами гидравлических уклонов. Для их картирования применяют те же методы, что и для оценки турбулентности.

Выбор постов для отбора проб. Данные гидродинамики (гидравлический расход, турбулентность и др.) напрямую влияют на интерпретацию гидрографических особенностей рек (перекаты, зоны смешения и т.д.), которые, в свою очередь, обуславливают выбор репрезентативных створов для отбора проб.

Такой комплексный подход позволяет получить достоверные данные о состоянии и функционировании речных экосистем.

На основе четкого понимания влияния указанных речных элементов на распределение загрязнителей определяют места пробоотбора речных вод на местности, выбор которых был обусловлен близостью к источникам загрязнения рек, впадения ручьев, сменой аквальных геохимических обстановок и т.д. Выбор таких постов должен обеспечивать репрезентативность отбираемых проб и учитывать имеющуюся гидродинамику.

Результаты и обсуждение. Изгибы русел и вторичные течения. На поворотах реки центробежная сила заставляет воду у внешнего берега двигаться быстрее, а у внутреннего – медленнее. Это создает поперечную циркуляцию: у поверхности вода движется к внешнему берегу, а у дна – обратно к внутреннему. В результате внешний берег активно размывается, а у внутреннего формируется побочень – отмель из наносов. Врезанные (реликтовые) излучины в горах часто ограничены коренными породами и создают сложные подпорные эффекты. Поэтому на изгибах пробы отбирают на стрежне (у внешнего берега) и в зоне аккумуляции (у внутреннего), чтобы оценить перераспределение взвесей.

Быстрины (стремнины) и пороги. Это узкие участки с хаотичным течением, резким уклоном и значительной глубиной. Они возникают при выходе твердых пород или сужении русла. Вода, разбиваясь о валуны, создает зоны ускорения над препятствиями и турбулентные зоны замедления с боковыми вихрями. Поток может переходить в критическое и даже сверхкритическое состояние, формируя стоячие волны. На быстринах отбор проб в поверхностном слое бессмыслен из-за интенсивного перемешивания – здесь нужны интегральные пробы по глубине.

Половодья (паводки) и пойма. В горах пик половодья приходится на лето из-за таяния снегов и ледников. Резкие ливни вызывают катастрофические паводки. Вода выходит на узкую пойму, резко снижая скорость и вызывая аккумуляцию наносов. Исследование паводочных потоков на поймах требует специальных методов, а отбор проб в это время критичен для оценки максимального поступления загрязнений.

Наносы и русловые отложения. Грубый аллювий (валуны, галька) горных рек отражает гидравлические условия. В прямолинейных руслах наносы часто образуют поперечные гряды (перекаты) с самой крупной фракцией на гребне. Движение наносов определяется диаграммой Хьюлстрема: крупные горные образования (валуны и галька) двигаются в основном в паводки. Отбор проб влекомых наносов на каменистом дне крайне затруднен, поэтому используют специальные батометры или фотографический метод.

Разделение и соединение русел (а также впадение ручьев). Русло может разделяться на рукава, образуя разветвленные русла. Это происходит, когда мощность потока превышает возможности одного русла. Выделяют однорукавные и многорукавные русла (с равнозначными протоками или с четким главным руслом). В местах слияния рукавов возникает сложная турбулентность. Здесь критически важно отбирать пробы в каждом рукаве отдельно, так как их гидрохимия может сильно различаться.

Заросли водной растительности. В горных реках растительность приурочена к затопленным прибрежным участкам с замедленным течением. Она служит субстратом для перифитона (обрастаний).

Отбор проб с растительности требует соскобов, а сами заросли влияют на гидродинамику, создавая дополнительные сопротивления. Пробы здесь берут для оценки биологического состояния экосистемы.

Целесообразно отбирать пробы в следующих участках реки:

• Зонах полного перемешивания вод. Пробы берутся там, где вода полностью перемешалась. Расстояние до такого места пропорционально скорости течения и квадрату ширины реки.

• В местах поперечного сечения речного потока (в створе). При этом необходимо отбирать пробы вод в нескольких точках по ширине реки (например, на стрежне, у берегов и т.д.) и на глубине 0,2-0,5 м от речной поверхности.

Отбор проб воды и донных осадков. Пробы воды отбирают в соответствии с требованиями в отдельные пластиковые емкости, объемом 1 л, с глубины 5-15 см и консервируют концентрированной азотной кислотой до определенного pH = 2, для последующего лабораторного определения микроэлементов [5, 6]. При определении растворённых форм металлов пробы предварительно фильтруют через мембранный фильтр: условно «растворённой» называют фракцию, проходящую через такой фильтр, хотя она включает и коллоидные формы [7].

Пробы донных отложений отбирают также в в соответствии с ГОСТ. Места отбора выбирают с учётом русловых процессов, от которых зависит накопление металлов в донных отложениях [8].

Определение водородного показателя проб воды осуществляют непосредственно в реке с помощью ионометра pH-МЕТР pH-150МИ [1]. Для определения удельной электропроводности, а также значения минерализации речных вод (в пересчете на хлорид натрия, хлорид калия и гидроксид натрия) использовали кондуктометр «Эксперт-002».

Температура речных вод определялась стандартными методами, с помощью цифрового термометра. Температуру, pH и электропроводность целесообразно измерять непосредственно на месте портативными приборами, учитывая их достоинства и ограничения [9].

Частота отбора проб воды и замеров параметров зависит от изменчивости параметров речного потока, поскольку в паводок содержание взвешенных частиц и связанных с ними загрязнителей растёт с увеличением расхода, особенно на начальной стадии паводка [10].

Практика изучения малых горных рек показывает, что пробы нужно отбирать с учётом пространственных различий. В бассейне Ульбы воду брали вдоль русел через каждые 2 км, а также выше и ниже мест сброса сточных вод. Пробы отбирали на глубине 15 см, фильтровали через фильтр 0,45 мкм и консервировали азотной кислотой (3 мл концентрированной HNO3 на 1 л), причём фильтрацию и консервацию проводили прямо на месте.

Содержание элементов определяли масс-спектрометрией [11]. Такая схема согласуется с принятой в нашей работе (глубина отбора 5-15 см, консервация азотной кислотой). Максимальные значения индекса загрязнения тяжёлыми металлами (HPI) отмечены вблизи промышленных площадок, шахт и сбросов сточных вод, но загрязнение прослеживалось и ниже по течению. По среднему HPI реки выстраиваются в ряд: Ульба (264), Тихая (220), Филипповка (59) [11].

Содержание цинка во всех обследованных реках бассейна Ульбы превышало среднемировой уровень для речных вод в 4-308 раз [11]. Достоверность данных в этом исследовании обеспечивалась тройной повторностью измерений, проверкой по контрольному раствору через каждые 10 проб и работой аккредитованной лаборатории [11]. На реке Кунас шесть створов расположили вдоль её продольного профиля, чтобы оценить пространственное распределение экологических и канцерогенных рисков.

Для донных отложений выявлено превышение допустимых значений индекса опасности и потенциального канцерогенного риска по мышьяку и свинцу. Основными путями воздействия названы непосредственный контакт с отложениями и потребление гидробионтов, поэтому авторы рекомендуют вести непрерывный мониторинг [13]. Отсюда следует, что наряду с водой необходимо отбирать и донные отложения.

Выбор гидрологической фазы для пробоотбора зависит от решаемой задачи. В бассейне Ульбы пробы отбирали в период летней межени, поскольку в весеннее и осеннее половодье загрязнители значительно разбавляются и смываются с водосборов [11]. Для оценки максимального поступления загрязнений в горных реках, как показано выше, необходим также отбор проб в паводок, а для интерпретации результатов – данные гидродинамики.

Поэтому программа полевых исследований на реках Илек и Большая Хобда должна сочетать отбор проб в межень и паводок с измерением расхода, скорости течения и шероховатости русла, а посты пробоотбора следует располагать выше и ниже источников загрязнения, в зонах смешения и на характерных элементах русла. Данные многолетнего гидрохимического мониторинга малых рек региона, обобщённые в [12], могут служить основой для сравнения с результатами полевых измерений.

Заключение. Каждый элемент горного рельефа формирует своеобразные условия речного русла. Программа отбора проб воды и донных осадков должна быть адаптивной, а не шаблонной: на быстринах – интегральные пробы, на изгибах – раздельный отбор у берегов, в разветвлениях – по рукавам, а в зарослях – биологические образцы. Только такой подход обеспечит репрезентативность получаемых данных.

Анализ современных публикаций подтверждает, что надёжность оценки загрязнения горных рек определяется как корректностью измерения гидродинамических параметров (расхода, скорости течения, шероховатости русла) [14, 15], так и обоснованным размещением постов пробоотбора относительно источников загрязнения

[11, 13]. Предложенные подходы могут быть положены в основу программы мониторинга рек Актюбинской области. Дальнейшие исследования предполагают проведение полевых измерений на реках Илек и Большая Хобда и сопоставление данных гидродинамики с содержанием тяжёлых металлов в воде и донных отложениях.

Таким образом, методика полевых исследований горных рек должна быть комплексной и адаптивной. Измерения расхода и скорости течения следует выполнять несколькими методами (вертушки, LSPIV, «уклон-площадь») с контролем качества обработки данных; шероховатость русла целесообразно определять с учётом его морфологии и уклона; посты пробоотбора необходимо выбирать с учётом гидрографических особенностей участка – изгибов, быстрин, порогов, разветвлений, зон смешения и зарослей растительности, – а также расположения источников загрязнения.

Реализация такого подхода позволит получить сопоставимые и достоверные данные о состоянии речных экосистем, подверженных воздействию горнодобывающей промышленности.

Әдебиеттер:

[1] **Бегдай, И.В.,** Мишвелов Е.Г., Харин К.В., Шкарет К.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния реки Уруп в зоне действия Урупского ГОК // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление.– 2025.– № 4.– С. 94-110. URL: https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-94-110

[2] **Ciszewski, D.,** Grygar T.M. A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems // Water, Air, & Soil Pollution.– 2016. –Vol. 227.– No. 7. Art. 239. URL: https://doi.org/10.1007/s11270-016-2934-8

[3] **Ladd, S.C.,** Marcus W.A., Cherry S. Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling // Environmental Geology. –1998. –Vol. 36.– P. 259-270. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050341

[4] **Курашева, О.А.** Распределение тяжелых металлов в р. Баксан от истоков до выхода в предгорную зону // Вестник Владикавказского научного центра.– 2024.– Т. 24.– № 2.– С. 84-87. URL: https://doi.org/10.46698/VNC.2024.83.38.001

[5] **Сытников, Д.М.,** Кучерик Г.В. Гидрохимический анализ и экотоксикологическая оценка качества вод реки Качи // Мелиорация и гидротехника. –2024.– Т. 14. – № 1.– С. 136-154. URL: https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-136-154

[6] **Batley G.E.,** Gardner D. Sampling and storage of natural waters for trace metal analysis // Water Research. – 1977. – Vol. 11. – No. 9. – P. 745-756. URL: https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90042-2

[7] **Gueguen, C.,** Dominik J. Partitioning of heavy metals into particulate, colloidal and truly dissolved fractions in a polluted river: the Upper Vistula River, Poland // Applied Geochemistry. –2003. – Vol. 18.– P. 457-470. URL: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00090-2

[8] **Ciszewski, D.,** Channel processes as a factor controlling accumulation of heavy metals in river bottom sediments: consequences for pollution monitoring (Upper Silesia, Poland) // Environmental Geology.– 1998. –Vol. 36.– P. 45-54. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050319

[9] **Gałuszka, A.,** Migaszewski Z., Namieśnik J. Moving your laboratories to the field – advantages and limitations of the use of field portable instruments in environmental sample analysis // Environmental Research. – 2015. – Vol. 140. – P. 593-603. URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.017

[10] **Coynel, A.,** Schäfer J., Blanc G., Bossy C. Scenario of particulate trace metal and metalloid transport during a major flood event inferred from transient geochemical signals // Applied Geochemistry. –2007. –Vol. 22. – P. 821-836. URL: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.10.004

[11] **Dyussembayeva, M.,** Tashekova A., Shakenov Y., Kolbin V., Nurgaisinova N., Mamyrbayeva A., Abisheva M. Distribution characteristics and assessment of the content of heavy metals in small rivers of the Ulba river basin in the mining regions of East Kazakhstan // RSC Advances. – 2025. Vol. 15.– No. 14.– P. 11034-11044. URL: https://doi.org/10.1039/d5ra00801h

[12] **Seraya, N.,** Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region // Sustainability.– 2025.– Vol. 17. – No. 14. Art. 6525. URL: https://doi.org/10.3390/su17146525

[13] **Custodio, M.,** Pizarro S., Huarcaya J., Ortega K., Ccopi D. Ecological and human health risk assessment of heavy metals in mining-affected river sediments in the Peruvian Central Highlands // Toxics.– 2025.– Vol. 13.– No. 9. Art. 783. URL: https://doi.org/10.3390/toxics13090783

[14] **Bodart, G.,** Le Coz J., Jodeau M., Hauet A. Quantifying and reducing the operator effect in LSPIV discharge measurements // Water Resources Research. – 2024. – Vol. 60. – No. 2. Art. e2023WR034740. URL: https://doi.org/10.1029/2023WR034740

[15] **Takata, H.,** Obata S., Sato T., Shimatani Y. Back-calculation of Manning's roughness coefficient by 2D flow simulation and influence of in-channel physical parameters in a mountain river, Japan // Water. –2024.– Vol. 16. – No. 2. Art. 320. URL: https://doi.org/10.3390/w16020320

References:

[1] **Begdaj, I.V.,** Mishvelov E.G., Harin K.V., Shkaret K.Ju. Jekologo-geohimicheskaja ocenka sostojanija reki Urup v zone dejstvija Urupskogo GOK // Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie.– 2025.– № 4.– S. 94-110. URL: https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-4-94-110 [in Russian]

[2] **Ciszewski, D.,** Grygar T.M. A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems // Water, Air, & Soil Pollution. 2016. Vol. 227, No. 7. Art. 239. URL: https://doi.org/10.1007/s11270-016-2934-8

[3] **Ladd, S.C.,** Marcus W.A., Cherry S. Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling // Environmental Geology. 1998. Vol. 36. P. 259–270. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050341

[4] **Kurasheva, O.A.** Raspredelenie tjazhelyh metallov v r. Baksan ot istokov do vyhoda v predgornuju zonu // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra.– 2024.– T. 24.– № 2.– S. 84-87. URL: https://doi.org/10.46698/VNC.2024.83.38.001 [in Russian]

[5] **Sytnikov, D.M.,** Kucherik G.V. Gidrohimicheskij analiz i jekotoksikologicheskaja ocenka kachestva vod reki Kachi // Melioracija i gidrotehnika. –2024.– T. 14. – № 1.– S. 136-154. URL: https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-136-154 [in Russian]

[6] **Batley, G.E.,** Gardner D. Sampling and storage of natural waters for trace metal analysis // Water Research. 1977. Vol. 11, No. 9. P. 745–756. URL: https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90042-2

[7] **Gueguen, C.,** Dominik J. Partitioning of heavy metals into particulate, colloidal and truly dissolved fractions in a polluted river: the Upper Vistula River, Poland // Applied Geochemistry. 2003. Vol. 18. P. 457–470. URL: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00090-2

[8] **Ciszewski, D.** Channel processes as a factor controlling accumulation of heavy metals in river bottom sediments: consequences for pollution monitoring (Upper Silesia, Poland) // Environmental Geology. 1998. Vol. 36. P. 45–54. URL: https://doi.org/10.1007/s002540050319

[9] **Gałuszka, A.,** Migaszewski Z., Namieśnik J. Moving your laboratories to the field – advantages and limitations of the use of field portable instruments in environmental sample analysis // Environmental Research. 2015. Vol. 140. P. 593–603. URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.017

[10] **Coynel, A.,** Schäfer J., Blanc G., Bossy C. Scenario of particulate trace metal and metalloid transport during a major flood event inferred from transient geochemical signals // Applied Geochemistry. 2007. Vol. 22. P. 821–836. URL: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.10.004

[11] **Dyussembayeva, M.,** Tashekova A., Shakenov Y., Kolbin V., Nurgaisinova N., Mamyrbayeva A., Abisheva M. Distribution characteristics and assessment of the content of heavy metals in small rivers of the Ulba river basin in the mining regions of East Kazakhstan // RSC Advances. 2025. Vol. 15, No. 14. P. 11034–11044. URL: https://doi.org/10.1039/d5ra00801h

[12] **Seraya, N.,** Daumova G., Petrova O., Garcia-Mira R., Polyakova A. Ecological status of the small rivers of the East Kazakhstan region // Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 14. Art. 6525. URL: https://doi.org/10.3390/su17146525

[13] **Custodio, M.,** Pizarro S., Huarcaya J., Ortega K., Ccopi D. Ecological and human health risk assessment of heavy metals in mining-affected river sediments in the Peruvian Central Highlands // Toxics. 2025. Vol. 13, No. 9. Art. 783. URL: https://doi.org/10.3390/toxics13090783

[14] **Bodart, G.,** Le Coz J., Jodeau M., Hauet A. Quantifying and reducing the operator effect in LSPIV discharge measurements // Water Resources Research. 2024. Vol. 60, No. 2. Art. e2023WR034740. URL: https://doi.org/10.1029/2023WR034740

[15] **Takata, H.,** Obata S., Sato T., Shimatani Y. Back-calculation of Manning's roughness coefficient by 2D flow simulation and influence of in-channel physical parameters in a mountain river, Japan // Water. 2024. Vol. 16, No. 2. Art. 320. URL: https://doi.org/10.3390/w16020320

ТАУЛЫ АЙМАҚТАҒЫ ӨЗЕН ЭКОЖҮЙЕЛЕРІН ДАЛАЛЫҚ ЗЕРТТЕУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН АҚПАРАТТЫҚ-ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІН НЕГІЗДЕУ

Воробьев А.Е. [1] техника ғылымдарының докторы
Воробьев К.А. [2,3] техника ғылымдарының кандидаты
Хаджиев А.А.[1]

[1]*Миллионщиков атындағы Грозный мемлекеттік университеті, Грозный қ., Ресей*
[2]*Ресей халықтар достығы университеті (РУДН), Мәскеу қ., Ресей*
[3]*Ресей ғылым академиясының Пайдалы қазбаларды кешенді игеру мәселелері институты (ИПКОН РҒА), Мәскеу қ., Ресей*

Андатпа. Зерттеудің өзектілігі металл кендерін өндіру мен өңдеу қарқынының артуымен байланысты, бұл тау-кен кәсіпорындарына іргелес аумақтардағы өзендердің ауыр металдармен ластануына әкеледі. Зерттеу нысаны – тау-кен өнеркәсібінің әсеріне ұшыраған таулы аймақтардың өзен экожүйелерін далалық зерттеудің әдістемесі мен ақпараттық-өлшеу әдістері (Ақтөбе облысының өзендері – Елек, Үлкен Қобда және оның салалары мысалында). Әдістеме далалық бақылауларды, аспаптық өлшеулерді және зертханалық талдауды біріктіреді. Өзен ағынының гидродинамикасын зерттеу әдістері қарастырылады: шығын мен ағыс жылдамдығын өлшеу (гидрометрлік тәрелкелер, LSPIV фотогидрометриялық әдісі, «еңіс-аудан» әдісі), Шези формуласы бойынша арнаның турбуленттілігі мен кедір-бұдырлығын бағалау. Арнаның гидрографиялық ерекшеліктері – иірімдер, жылдам ағыстар, тас жыралар, тасқындар, шөгінділер мен өсімдік бұталары – және олардың ластаушы заттардың таралуына әсері талданды. Гидродинамикалық жағдайларды ескере отырып, су мен түпкі шөгінділерден үлгі алудың репрезентативті орындарын таңдау негізделеді. Негізгі қорытынды: үлгі алу бағдарламасы қалыпты үлгі бойынша емес, әрбір арна учаскесінің морфологиялық ерекшеліктеріне бейімделген болуы тиіс: жылдам ағыстарда – тереңдік бойынша интегралды үлгілер, иірімдерде – жағалаулар бойынша бөлек үлгі алу, тармақталған жерлерде – әр тармақтан, өсімдік бұталарында – биологиялық үлгілер.

Тірек сөздер: өзен экожүйелері, далалық зерттеулер, әдістеме, гидродинамика, үлгі алу, таулы өзендер, ауыр металдар.

SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY AND INFORMATION-MEASURING METHODS FOR FIELD STUDIES OF RIVER ECOSYSTEMS IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Vorobyev A. E.[1] Doctor of Technical Sciences
Vorobyev K. A.[2,3] Candidate of Technical Sciences
Khadzhiev A. A.[1]

[1] *Grozny State University named after Academician M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*
[2]*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*
[3]*Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, Russia*

Annotation. The relevance of the study is determined by the growing intensity of metal ore mining and processing, which leads to heavy-metal pollution of rivers near mining enterprises. The subject of the study is the methodology and information-measuring methods for field research of river ecosystems in mountainous areas affected by the mining industry (the Ilek and Bolshaya Khobda rivers of the Aktobe region and their tributaries). The methodology combines field observations, instrumental

measurements and laboratory analysis. Methods for studying the hydrodynamics of a river flow are considered: measuring discharge and flow velocity (current meters, the photo-hydrometric LSPIV method, the slope-area method) and assessing turbulence and channel roughness using the Chézy formula. Hydrographic features of the channel – bends, rapids, riffles, floods, sediments and aquatic vegetation – and their influence on the distribution of pollutants are analysed. The choice of representative sampling stations for water and bottom sediments is substantiated with regard to hydrodynamic conditions. The main conclusion is that a sampling programme must be adaptive to the morphological features of each channel reach rather than standardised: integrated depth samples at rapids, separate bank sampling at bends, sampling by channel at bifurcations and biological samples in vegetation.

Keywords: river ecosystems, field research, methodology, hydrodynamics, sampling, mountain rivers, heavy metals.

SRSTI 86.01:86.35:86.37 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.089

FORMATION OF A SAFETY CULTURE BY REGISTERING DANGEROUS SITUATIONS AT ENTERPRISES OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

Sarabekova U. Zh.[1]* PhD, associate professor
Emanex@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9548-8333
Tynymbay N. T.[1] 2nd year Master's student of the EP 7M11279 «Life Safety and environmental protection"
naziratynymbay@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-6637-5185

Annotation. This article discusses modern approaches to ensuring occupational safety and industrial safety at enterprises of the oil and gas industry. The main direction of the study is the use of the method of registration of hazardous situations as a tool for the formation of safe behavior of personnel and management of production risks. The formation of a security culture, the leadership role of managers, factors affecting the behavior of employees and the importance of information technologies in the process of security management were analyzed. In the course of the study, existing approaches to the detection and registration of dangerous situations, the possibility of preventing industrial injuries and accidents were considered. It is established that the information obtained as a result of the registration of hazardous situations makes it possible to assess the actual state of working conditions, identify hazardous factors in advance and make timely management decisions to eliminate them. In addition, the use of electronic information systems increases the efficiency of collecting, processing, storing and analyzing registered data. The proposed approach makes it possible to move from an instructive method to a risk-based management system in Occupational Safety Management and is considered as a practical tool aimed at preventing industrial injuries and accidents.

Keywords. Occupational Safety, industrial safety, hazardous situation, hazardous behavior, safety culture, personnel behavior, risk management.

Introduction. Currently, the oil and gas industry is one of the high-risk production facilities. The complexity of production processes, the variety of technological equipment, the presence of hazardous and harmful production factors increase the requirements for ensuring occupational safety and industrial safety. In this regard, the Prevention of industrial injuries, accidents and emergencies is one of the most important areas of enterprise management.

Improving occupational safety indicators is not limited to fulfilling regulatory requirements. The level of security at the enterprise is directly influenced by the behavior of employees, the attitude of managers to safety, interaction in the labor collective and the established safety culture. Therefore, in modern approaches to industrial safety management, special importance is attached to the management of the human factor and the behavior of employees [1].

Security culture describes the level at which an organization prioritizes security issues. Its formation depends on the position of the management, the readiness of employees to work safely and the ability to timely identify and register information about dangerous situations. By registering dangerous situations, it becomes possible not only to act after the accident has occurred, but also to identify its possible causes in advance and take preventive measures.

The relevance of the study is determined by the need to reduce production risks at the enterprises of the oil and gas industry, the formation of safe behavior of employees and the improvement of an effective system for collecting and analyzing information on Occupational Safety. In this regard, the use of the method of registration of hazardous situations as a preventive tool for Occupational Safety Management has important scientific and practical significance [2-4].

The purpose of the study is to identify the influence of the method of registering hazardous situations at enterprises of the oil and gas industry on the formation of safe behavior

of employees and improving the efficiency of Occupational Safety and industrial safety management.

Research materials and methods. The study was aimed at studying the features of Occupational Safety and industrial safety management at enterprises of the oil and gas industry of Kazakhstan. As materials of the study, data on working conditions, industrial safety indicators, the results of registration of hazardous situations, data on accidents and accidents, as well as information related to the Fulfillment by employees of labor safety requirements were used.

In the course of the study, theoretical and experimental methods were used in a comprehensive manner. During the theoretical study, an analysis of scientific papers and methodological materials devoted to the problems of Occupational Safety, Industrial Safety, Safety Culture and management of personnel behavior was carried out.

To identify dangerous and safe behavior, methods of analyzing the causes of industrial accidents and accidents, studying statistical data in the industry, identifying hazardous factors in the workplace, interviewing employees and "brainstorming" were used. Based on the identified factors, the use of checklists for monitoring the behavior of employees was considered [5].

When analyzing employee behavior, the ABC model was used. In this model, pre-behavioral conditions (Activator), human action (behavior), and consequences of action (Consequence) are considered in interconnection. This approach allows us to identify situations that lead to risky behavior and replace them with situations that encourage safe behavior.

In the course of the study, methods of mathematical analysis, mathematical statistics, comparative analysis and experimental research were also used. The results of registration of hazardous situations were compared with the indicators of industrial injuries and emergency situations, and their relationship was evaluated.In addition, in order to determine the role of modern information technologies in Occupational Safety Management, the possibilities of using electronic registration systems were considered. Such systems allow centralized collection, storage, processing and analysis of data on hazardous situations [6].

Results and discussion. The results of the study showed that the systematic registration of dangerous situations makes it possible to strengthen the preventive nature of Occupational Safety Management. In the process of registering dangerous situations, factors are identified that did not directly lead to an accident, but may be the cause of injury or accident in the future. Thus, the management of the enterprise can take preventive measures based on the preliminary signs of risk, and not act only after the incident has occurred (Tab. 1).

Table 1 – Stages of Hazardous Situation Registration and Management

Stage	Activity	Result
1. Hazardidentification	Workplace observation and identification of hazardous factors	Potentialhazardsareidentified
2. Registration	Recording information about the hazardous situation	A hazard record is created
3. Analysis	Assessment of causes, frequency, and possible consequences	The level and nature of risk are determined
4. Decision-making	Development of preventive and corrective measures	Measures to eliminate or reduce the hazard are established
5. Monitoring	Verification of implementation and effectiveness of measures	The probability of hazard recurrence is reduced

The registration of dangerous situations also contributes to increasing the attention of employees to safety issues. An employee becomes a direct participant in the security process when he identifies a dangerous factor that he encounters in his workplace and provides information about it. This, in turn, creates conditions for the formation of a safety culture and increasing the personal responsibility of employees (Tab. 2).

Table 2 – Key Factors Influencing the Formation of a Safety Culture

No.	Keyfactor	Description	Expectedresult
1	Leadershiprole	Support for safety requirements, clear instructions, and timely response to hazardous situations	Increased employee responsibility for safety
2	Employeebehavior	Identification of unsafe actions and development of safe behavior	Reduced risk of occupational injuries
3	Registrationofhazardoussituations	Systematic identification and registration of hazardous factors and situations in the workplace	Early identification of potential hazards
4	Motivationandfeedback	Encouragement of safe actions and provision of positive feedback	Reinforcement of safe work practices
5	Informationtechnologies	Collection, storage, processing, and analysis of safety data	Improved effectiveness of management decisions

The role of leaders was also identified as an important factor in the study. The personal attitude of the manager to the requirements of Occupational Safety, giving clear instructions to employees, supporting safe behavior and timely reaction to registered dangerous situations affects the formation of a safety culture in the team. Therefore, the effectiveness of the hazard registration system is associated not only with the collection of information, but with the adoption of specific managerial decisions based on that information.An analysis of the prerequisites and its consequences affecting the risky behavior of employees based on the ABC model showed additional opportunities for the formation of safe behavior. It is important not only to punish the dangerous behavior of the employee, but also to encourage safe behavior, give positive feedback and consolidate safe work practices [7-8].

The introduction of modern information technologies will increase the efficiency of the system for registering dangerous situations. Through electronic systems, it is possible to collect the recorded information into a single database and analyze the frequency of dangerous situations, their location, causes and the nature of recurrence. Such information allows management to assess the real state of working conditions and allocate resources in priority areas of high risk.

The results of the study showed that the introduction of the method of registration of hazardous situations into the general Occupational Safety Management System creates conditions for the transition from an instructive approach to a risk-based approach. At the same time, the recorded data should be used not only for accounting, but also for making decisions on improving working conditions, eliminating hazardous factors and preventing industrial injuries.Thus, the registration of hazardous situations is considered as an effective tool for the formation of safe behavior of employees, strengthening the role of managers in Occupational Safety Management, and identifying production risks at an early stage. Its combination with

information technology makes it possible to promptly collect and analyze data on Occupational Safety, forming the basis for a systematic improvement in the level of safety at the enterprise.

Registration of dangerous situations as a means of changing the behavior of employees the search for the main ways to improve the indicators of PP and OT exists not only in the field of right-wing regulation and public administration, but also in the field of relations between the management of the enterprise and employees. To take accurate and timely measures, it is necessary to have reliable information about working conditions and the state of industrial safety. In this regard, these issues related to the management of personnel behavior, the role of managers in the management process of HR and HSE, the existing methods of obtaining information about the state of working conditions, as well as the relationship of these issues with the registration of dangerous situations are considered in more detail [9].

The realization did not come immediately that many accidents can be prevented by changing the attitude of employees to occupational safety issues when they are thousands of kilometers from the workplace. To understand why this issue is given priority in oil and gas companies, it is necessary to consider the development of a safety culture. Summarizing the global approach, we understand the" security culture " as a set of characteristics and characteristics of the activities of organizations and the behavior of individuals, which determines that attention is paid to security issues, as the highest priority, determined by their significance.

It should be noted the positive impact of this activity on the state of industrial safety and labor protection at hazardous production facilities. Nevertheless, despite significant achievements in the field of labor protection in the oil and gas industry and the general tendency to reduce the number of accidents and accidents, the task of further reducing the level of injuries remains relevant. The main cause of industrial injuries in an accident is the human factor, and it should be given priority.

Since the 80s of the last century, an approach aimed at managing the behavior of people engaged in the construction, operation and maintenance of production facilities has been actively developing, special attention is paid to the leadership qualities of managers of various levels and their impact on the behavior of employees and, ultimately, on Occupational Safety in the workplace. Unfortunately, in Russian companies, the level of Labor and technological discipline leaves much to be desired, and the issues of increasing efficiency and improving the quality of the work performed are often given a secondary role. It is no coincidence that the insufficient attention of the first managers to the issues of integrating the Industrial Safety Administration into the overall management system of companies is the main obstacle that does not allow taking effective measures to reduce accidents and industrial injuries. However, in the upbringing of the younger generation of young oil workers and gas workers, change for the better is inevitable and the leading role should be played by senior leaders – leaders of Russian oil and gas complex companies [9.

Therefore, the retraining of personnel, as well as the training of young specialists, future leaders of Russian oil and gas companies, are the main tasks of higher educational institutions. Only highly professional managers, employees and employees can ensure the effective operation of the enterprise. As a result-a high level of training is able to ensure safe and accident-free work, create working conditions that allow minimizing the level of industrial injuries and the number of accidents.

The idea of improving the state of PF and PF at oil and gas industry facilities by changing the safety culture was discussed at the European Conference on Offshore Europe. The result of these discussions was the integration of various non-governmental associations, mainly contractors from the UK working on the continental shelf, and the development of an appropriate action program to improve the safety culture (StepChange in Safety). Derived from the safety culture development model and presented below. This picture shows the development of a safety culture in companies in the oil and gas industry. It is necessary to pay attention to the stage of progress. It also takes a long enough time to move from one level to another, as this is due to

changes in the behavior of employees. The most important consequence of the safety culture development model is the overall development of the organization or the company as a whole through the introduction of modern principles of ensuring occupational safety.

As can be seen from the main characteristics of the different levels, the security culture achieves its highest development at levels 4 and 5. At the same time, achieving an acceptable level of safety culture is impossible without great hard work, the common efforts of all employees of the organization and work experience in New conditions in accordance with the new rules are required. It is clear that mistakes will be made along the way, but the end result will be impressive. Thus, the development of personnel and the organization as a whole are interrelated things. The safety culture model shows the dependence of the state of the safety culture on changes in the behavior of employees. In this regard, over the past 10-15 years, a new direction of security has been actively developing in international practice, on the basis of which the ability to change the behavior of personnel (Behavior Based Safety) has been obtained [10].

Sharing the above method.Risky behavior is behavior that pushes an employee to the risk of injury. Safe behavior aims to protect the employee from injury. After determining the factors of "dangerous" behavior of personnel, a checklist is developed for monitoring behavior in the workplace in order to replace the "dangerous" behavior (Figure 1) of personnel with "safe"behavior.

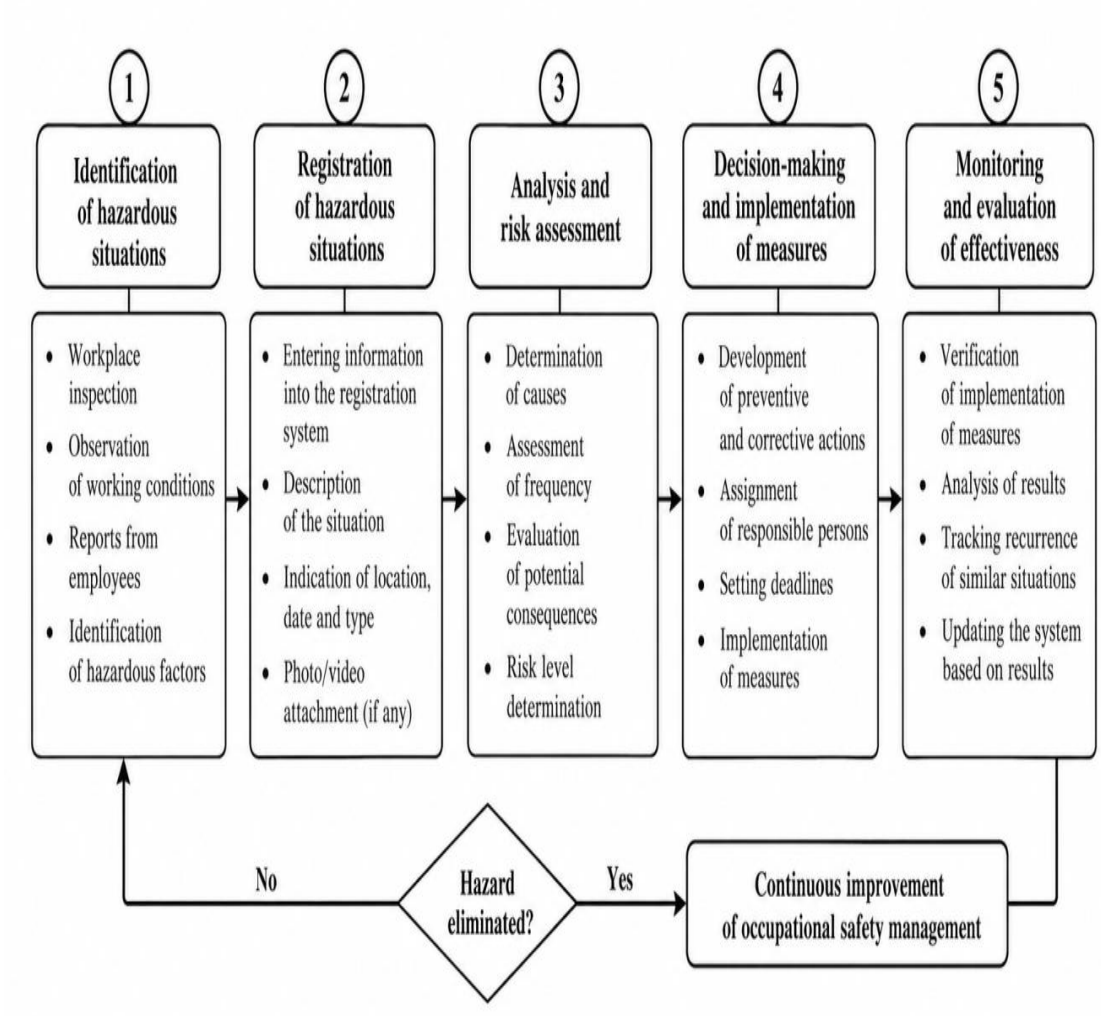


Figure 1 – Process of Hazard Identification, Registration and Risk Management

In order to use the right methods for managing employee behavior, it is necessary to have knowledge of how to motivate people to ensure safety. It is known that the technological process is aimed at improving the security situation, but what approaches can be trusted when describing the behavior of people, what studies were carried out scientifically and there is reliable evidence?

The two main methods generally recognized are Model A [all based on behavioral psychology developed by Skinner about 60 years ago] and the 50 principles of a general safety culture in E. S. Geller's book A Guide to safety Psychology, published in 1996. According to the ABC model (according to the first letters of words: activator (previous actions), behavior (behavior), consequence (consequences) behavior can (Table 3) be changed by changing situations before "dangerous" behavior or by analyzing the consequences of one or another perfect action.

Table 3 – ABC Model for the Formation of Safe Employee Behavior

ABC element	**Description**	**Significanceforsafetymanagement**
A – Activator	Conditions and factors occurring before an employee's action	Identification of conditions that may trigger unsafe behavior
B – Behavior	The employee's specific action or behavior	Identification and assessment of safe and unsafe actions
C – Consequence	Results occurring after the employee's action	Reinforcement of safe behavior through appropriate feedback
Result	Replacement of unsafe actions with safe actions	Development of sustainable safe work practices

Thus, the goal of the organization's management is to identify and eliminate negative situations that precede "dangerous" behavior, as well as to identify the behavior of personnel, the consequences of which are "safe" and motivate personnel to do so. As a result of using this method, the likelihood of "safe" behavior of employees increases. Another American psychologist E. S. Geller attaches great importance to the"behavioral aspect" and the employee motivation program. Its recommendations are based on practical experience and are aimed at improving interaction between employees in matters of ensuring safety. As one of the principles of E. S. Geller, the following can be cited: it is not enough to reward employees for the absence of accidents - it is necessary to motivate employees for "safe" behavior. Security is not a simple feeling that is confirmed by the 50th principles, many of which contradict generally accepted security laws. It is important that all employees of the organization participate in the process of ensuring security. Finally, there are standard interventions that are part of the existing program to change the behavior of employees in the organization in order to change "dangerous" behavior to "safe". Such interventions include the following elements: leadership, observations, and reaction. At the same time, the goal of leadership is to change the behavior of the organization's personnel. Considering that the main cause of accidents in the Russian oil and gas industry is the low level of Organization of work, do not doubt that the potential for changing the behavior of personnel by "intervening" at enterprises in the Russian oil and gas industry is enormous [10-11].

To manage the behavior of employees, it is necessary, first of all, to determine which behavior can be considered "dangerous".Currently, the following methods for determiningт "dangerous" behavior have been tested in practice:

-Analysis of accidents, accidents that may or may not occur;

-Analysis of current statistics by industry;

-Analysis of workflow Hazard sources;

-Employee interviews

* "Brainstorm"

Without delving into the issues of the basics of management, I would like to note that the management of production units is not fundamentally different from other types of business activities; risk management is included in the responsibility of a manager at any level. The general scheme of the instruction process-planning, execution, evaluation, feedback is shown below (Figure 2):

* Sufficiently detailed planning, taking into account possible options;

* Perform work according to the plan;

* Assess the situation and learn from the problems that arise and attempts to solve them;
* Feedback from the performer - what was done correctly and what was good;
* Implement improvements;
* Transfer the experience gained to people who are not part of your team.

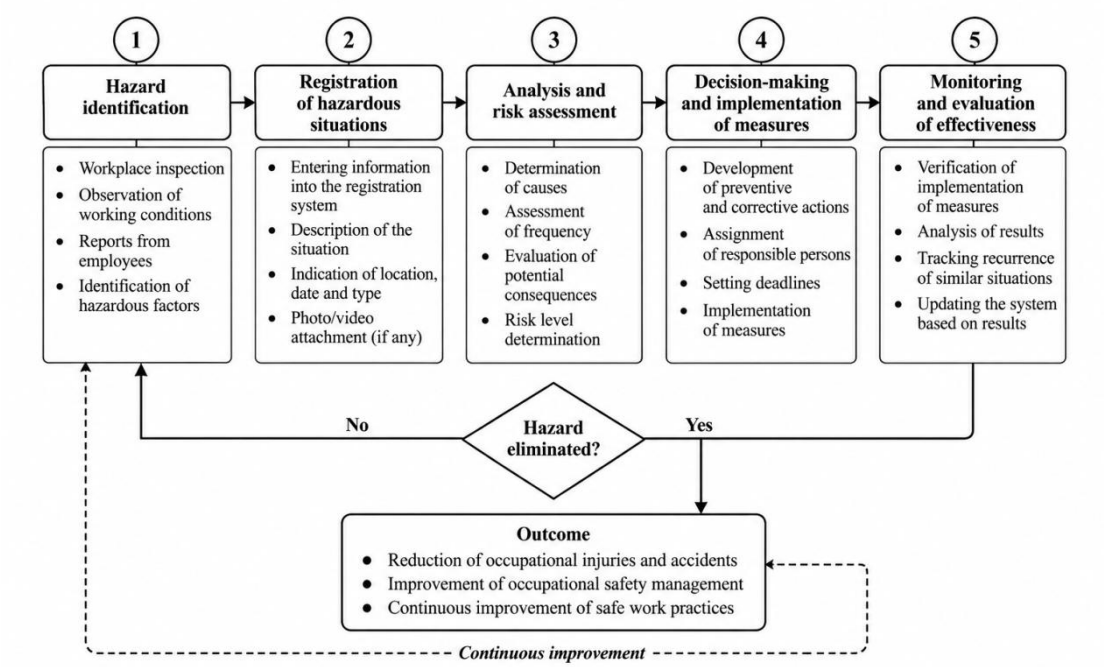


Figure 2 – Process of hazardous situation registration and risk management

From the point of view of the author, nine main aspects of the management of production units can be distinguished. White rectangles are a standard pbiot organization service. Dark rectangles are important milestones in the leader's activity. Dark shadow rectangles located in the corners are the four psychological aspects of management.It is known that the behavior of people in a team affects the personal qualities of a person, for example, attitude to work and the microclimate in the team. All these factors depend on each other. Research has shown that the behavior of Fisheries leaders and their commitment to safety principles are key factors for workers in determining fishing behavior and regarding compliance with safety regulations. The manager is able to prevent an incident by setting high personal standards, providing clear instructions for carrying out work, appointing competent employees for its implementation, forming the personal interest of employees in compliance with safety standards, and ensuring exemplary order in the workplace [12].

Its role is not only to ensure the fulfillment of production requirements. It is no coincidence that most managers admit that 80-90% of the problems that arise are associated not with a lack of technical competence, but with the organization of work and Personnel Management. Ultrasecurity reflects the effectiveness of the work and management of the enterprise and is determined primarily by the staffing and its motivation for more productive and high-quality work. The formation of the necessary personnel potential in the conditions of the functioning of the market and the rational use of human resources require a long-term personnel policy for the training of young personnel, the use of more advanced forms and methods of working with them. The leading role in the training and retraining of specialists in the field of PB and OT should be assigned to higher educational institutions with the active participation of oil and gas companies.

The personnel, human (intellectual) potential of the enterprise's employees has become a real, competitive resource with real value. Modern approaches to solving the complex tasks of enterprise development and disaster Injury Reduction lie in the creation of a team of leaders, an organizational culture of integrated corporate structures and the development of management

programs to stimulate the labor of workers, which include material and intangible incentives and higher stages - moral and inspiring motivation. In the Foreign world, the latter is the key to mobilizing the personnel, Labor and personal potential of employees of integrated corporate structures and allows you to solve any tasks.Of course, a new generation of employees of the Russian oil and gas industry is trained in the current conditions of the functioning of the market, where new technologies are introduced, including in the field of industrial, environmental safety and labor protection, and the attitude to the quality and results of labor of each employee is the basis for his professional growth and stability of the company in the market. Gradually comes the understanding that a security culture is the key to our future. The purpose of the work style aimed at changing the behavior of employees is to achieve a global level in ensuring safety, overcome the framework of compliance with the rules and adhere to the principles of continuous improvement.

At the highest level of security culture, people's actions depend on understanding the importance of problems, and this is not someone's priority today (Figure 3).

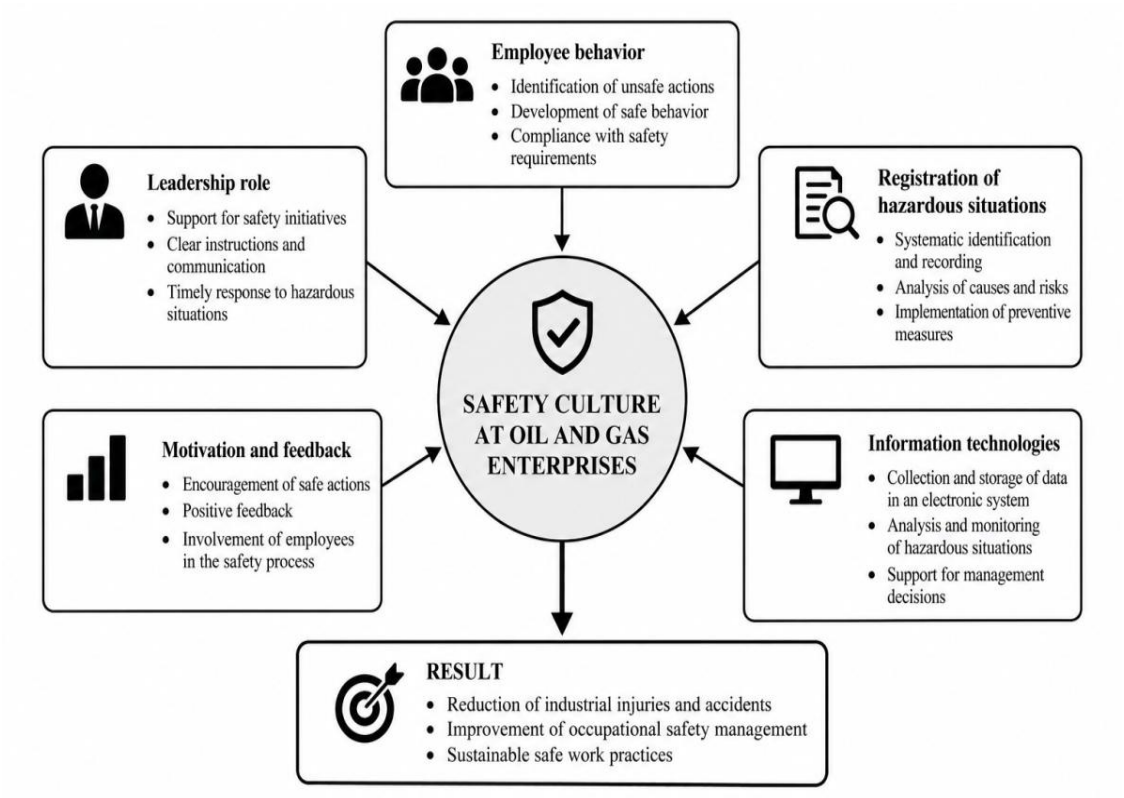


Figure 3 – Main factors influencing the formation of a safety culture at oil and gas enterprises

The influence of modern information technologies on the process of managing labor protection and industrial safety at enterprises in the oil and gas industry. New information technologies are rapidly changing our world, have a direct impact on production technologies, methods of organizing and developing society. Progress in the computer and communication industries has led to the development of systems that radically change the nature of management work, the structure of organizations and the way companies work, their relationship with other firms, and competition in the market. Therefore, understanding the impact of modern information technologies on the management process and using them to gain an advantage in competition, increase productivity and make effective decisions is an important aspect of the work of any modern company [13].

The world's transnational oil companies currently in operation are geographically distributed, multi-functional production and commercial systems across the planet. Without a

timely assessment and analysis of various indicators characterizing the state of production facilities, it is impossible to make decisions in the field of ensuring labor protection, industrial and environmental safety. Changes in the field of Information Technology have allowed global multinational companies to receive information from any regions in real time, store it in a single format, form reports and various databases, which ultimately contributes to minimizing production costs when implementing planned decisions made at the corporate level (Tab. 4).

Table 4 – Effectiveness of an Electronic Information System for Hazard Registration

Area	Electronicsystemcapability	Benefitfortheenterprise
Datacollection	Registration of hazardous situations in a unified system	Improved completeness and timeliness of information
Datastorage	Centralized storage of registered information	Improved accessibility and preservation of safety data
Dataanalysis	Analysis of frequency, location, causes, and recurrence of hazardous situations	Identification of priority risk areas
Monitoring	Tracking hazardous situations and corrective actions	Timely implementation of preventive measures
Managementdecisions	Providing analyzed information to management	Evidence-based and timely decision-making
Riskmanagement	Identification of high-risk areas	More effective allocation of resources and reduction of production risks

Scientific novelty of the theoretical provisions and results of experimental studies obtained by the author.The author has adapted, scientifically substantiated and used the method of registration of hazardous situations at enterprises in the oil and gas industry of Kazakhstan, which is of significant importance for improving the occupational safety conditions of employees. When applying the method of registration of a dangerous situation, theoretical provisions for the occurrence of accidents and accidents have been summarized, which make it possible to take into account various factors affecting the state of IC and IC at work. Taking into account the state of the safety culture and the motivation of people's behavior, for the first time, consistent actions were systematically analyzed to introduce a method of registering hazardous situations at the enterprises of the oil and gas industry of Kazakhstan [14-15].

For the first time, solutions were proposed and worked out to implement the method of registering dangerous situations in the electronic network of the enterprise. On the basis of a unified approach to obtaining, processing and analyzing data, recommendations were made to improve existing methods of obtaining information about the state of working conditions and industrial safety.For the first time, the results of the application of the method of registration of hazardous situations at the enterprises of the oil and gas industry of Kazakhstan were presented and an analysis of the relationship between injury indicators and dangerous situation registration cards was carried out, on the basis of which conclusions were made regarding the improvement of methods for improving the safety of working conditions of oil and gas industry workers.The development of theoretical provisions and the application of the method of registration of dangerous situations on their basis became possible due to the integrated use of theoretical and experimental research methods. The solution of a number of new tasks on labor protection and industrial safety set in the work was made possible thanks to the well-known achievements of the listed scientific disciplines and does not contradict their provisions, based on Strictly proven

conclusions of such fundamental and Applied Sciences as mathematical analysis,mathematical statistics, optimization theory and experimental planning.

Conclusion: The developed theoretical provisions and new solutions were experimentally tested.The method of registration of hazardous situations used in the dissertation is used by personnel and management in the field of industrial, significantly increases attention to the issues of environmental safety and labor protection, contributes to the search for the most effective solutions in production management and can be recommended for practical application to reduce injury by accident. The production activities of oil and gas industry enterprises aimed at reducing injuries, the risk of accidents, emergencies and associated costs lead to an improvement in the quality and safety of production and, ultimately, the successful financial and economic development of the enterprise.

The method of registration of hazardous situations is a practical tool for managing industrial, environmental and labor protection and will be more effective in preventing accidents and accidents. The results confirm a downward trend in accidents with injuries.

The recommendations proposed by the author on improving the working conditions of oil and gas industry workers through the use of the hazard registration method provide a consistent transition from a prescriptive approach in the field of safety to a risk assessment-based approach, as well as allow planning and organizing a system for recording data on working conditions and the state of industrial safety. Decisions made on the basis of high-quality and timely information on the state of working conditions help to reduce financial and human costs for the enterprise and reduce environmental and man-made risks as a whole. In addition, the individual theoretical results of the work are a certain contribution to the overall Occupational Safety Management System.

Әдебиеттер:

[1] Қазақстан Республикасының «Азаматтық қорғау туралы» Заңы. – Астана, 2014.

[2] ҚР СТ 12.1.004-2019. Өрт қауіпсіздігі. Терминдер мен анықтамалар. – Астана: ҚР ИИДМ Техникалық реттеу комитеті, 2019.

[3] ҚР СТ 12.1.010-2015. Жарылыс қауіпсіздігі. Жалпы талаптар. – Астана, 2015.

[4] «Қазақстанның мұнай-газ кешеніндегі өнеркәсіптік қауіпсіздік жағдайы», салалық аналитикалық есеп. – Астана: ҚР Энергетика министрлігі, 2022. .– 33б.

[5] **Нұрпейісов, Е.Е.,** Сейтмұратов А.Ж. Мұнай-газ саласындағы еңбек қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау. – Алматы: Эверо, 2020. – 220 б.

[6] **Қалдарбеков, Б.Қ.** Өнеркәсіптік қауіпсіздік негіздері. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2020. – 201 б.

[7] **Тоқсанбаев, А.Т.** Мұнай-газ тасымалдау жүйелерінің коррозияға қарсы қорғауы. – Алматы: Қазақ университеті, 2019. – 120 б.

[8] **Әбдіқадыров, Т.,** Искаков М. Құбыр желілерінің техникалық диагностикасы. – Астана: Технология, 2020. – 190 б.

[9] Мұнай және газ кен орындарын игеру қауіпсіздігі: оқу құралы / ред. М.Оразбаев. – Атырау: Атырау мұнай және газ университеті, 2020. – 198 б.

[10] ҚР ТЖМ. «Қазақстандағы өнеркәсіптік қауіпсіздік жағдайы туралы ұлттық баяндама». – Астана, жыл сайынғы басылым.

[11] **Смағұлов, А.,** Әлімқұлов Ж. Өндірістік тәуекелдерді бағалау және басқару. – Алматы: Экономика, 2020. – 200 б.

[12] **Таңжарықов, П.А.,** Сарабекова Ұ.Ж., Төлеген А.Е. Мұнай-газ саласындағы кәсіби қауіпсіздік және денсаулық менеджменті жүйесі талаптарын ҚР СТ OHSAS 18001-2008 стандарты бойынша бағалау// Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің ХАБАРШЫСЫ.– 2021. – №1 (56).– 156-163 бб.

[13] **Таңжарықов, П.А.,** Сарабекова Ұ.Ж., Төлеген А.Е. Тоқашова Ж.Е. Мұнай және газ өнеркәсібіндегі техникалық жүйелер мен технологиялық процесстердің қауіпсіздік талаптары. Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына және Дүниежүзілік инженерия күніне арналған «Заманауи инженерлік инновациялар мен технологиялар» атты онлайн халықаралық ғылыми - тәжірибелік конференция материалдары.– Көкшетау, 2021.–Т.1.– 295-299бб.

[14] **Сарабекова, Ұ.Ж.** Еңбекті қорғау. Оқу құралы.– Қызылорда: «Жиенай» баспасы, 2021.– 120 б. ISSN 978-601-02-0469-7.

[15] **Сарабекова, Ұ.Ж.,** Нұржанова Д.Б. Өрт қауіпсіздігі. Оқу құралы. – Қызылорда: «Жиенай» баспасы, 2021. – 92 б. ISSN 978-601-02-0472-7.

References:

[1] Kazakstan Respublikasynyn «Azamattyk korgau turaly» Zany. – Astana, 2014. [in Kazakh]

[2] KR ST 12.1.004-2019. Ort kauipsizdigi. Terminder men anyktamalar. – Astana: KR IIDM Tehnikalyk retteu komiteti, 2019. .– 88 b. [in Kazakh]

[3] KR ST 12.1.010-2015. Zharylys kauipsizdigi. Zhalpy talaptar. – Astana, 2015. . [in Kazakh]

[4] «Kazakstannyn munaj-gaz keshenindegi onerkasiptik kauipsizdik zhagdajy», salalyk analitikalyk esep. – Astana: KR Jenergetika ministrligi, 2022. .– 33 b. [in Kazakh]

[5] **Nurpejisov, E.E.,** Sejtmuratov A.Zh. Munaj-gaz salasyndagy enbek kauipsizdigi zhane korshagan ortany korgau. – Almaty: Jevero, 2020. .– 220 b. [in Kazakh]

[6] **Kaldarbekov, B.K.,** Onerkasiptik kauipsizdik negizderi. – Almaty: KazUTZU, 2020. .– 201 b. [in Kazakh]

[7] **Toksanbaev, A.T.** Munaj-gaz tasymaldau zhүjelerinin korrozijaga karsy korgauy. – Almaty: Kazak universiteti, 2019. .– 120 b. [in Kazakh]

[8] **Abdikadyrov, T.,** Iskakov M. Kubyr zhelilerinin tehnikalyk diagnostikasy. – Astana: Tehnologija, 2020. .– 190 b. [in Kazakh]

[9] Munaj zhane gaz ken oryndaryn igeru kauipsizdigi: oku kuraly / red. M.Orazbaev. – Atyrau: Atyrau munaj zhane gaz universiteti, 2020. .– 198 b. [in Kazakh]

[10] KR TZhM. «Kazakstandagy onerkasiptik kauipsizdik zhagdajy turaly ulttyk bajandama». – Astana, zhyl sajyngy basylym. [in Kazakh]

[11] **Smagulov, A.,** Alimkulov Zh. Ondiristik tauekelderdi bagalau zhane baskaru. – Almaty: Jekonomika, 2020. .– 200 b. [in Kazakh]

[12] **Tanzharykov, P.A.,** Sarabekova U.Zh., Tolegen A.E. Munaj-gaz salasyndagy kasibi kauipsizdik zhane densaulyk menedzhmenti zhүjesi talaptaryn KR ST OHSAS 18001-2008 standarty bojynsha bagalau// Korkyt Ata atyndagy Kyzylorda universitetinin HABARShYSY.– 2021. – №1 (56).– 156-163 bb. [in Kazakh]

[13] **Tanzharykov, P.A.,** Sarabekova U.Zh., Tolegen A.E., Tokashova Zh.E. Munaj zhane gaz onerkasibindegi tehnikalyk zhүjeler men tehnologijalyk processterdin kauipsizdik talaptary. Kazakstan Respublikasy Tauelsizdiginin 30 zhyldygyna zhane Dүniezhүzilik inzhenerija kүnine arnalgan «Zamanaui inzhenerlik innovacijalar men tehnologijalar» atty onlajn halykaralyk gylymi - tazhiribelik konferencija materialdary.– Kokshetau, 2021.–T.1.– 295-299bb. [in Kazakh]

[14] **Sarabekova, U.Zh.** Enbekti korgau. Oku kuraly.– Kyzylorda: «Zhienaj» baspasy, 2021.– 120 b. ISSN 978-601-02-0469-7. [in Kazakh]

[15] **Sarabekova, U.Zh.,** Nurzhanova D.B. Ort kauipsizdigi. Oku kuraly. – Kyzylorda: «Zhienaj» baspasy, 2021. – 92 b. ISSN 978-601-02-0472-7. [in Kazakh]

МҰНАЙ-ГАЗ САЛАСЫ КӘСІПОРЫНДАРДА ҚАУІПТІ ЖАҒДАЙЛАРДЫ ТІРКЕУ АРҚЫЛЫ ҚАУІПСІЗДІК МӘДЕНИЕТІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Сарабекова Ұ.Ж.[1], PhD, доцент
Тынымбай Н.Т.[1], **7**М11279 – «Өміртіршілігінің қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» ББВ2-курс магистранты

[1]*Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан*

Аннотация. Бұл мақалада мұнай-газ саласы кәсіпорындарында еңбек қауіпсіздігі мен өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз етудің заманауи тәсілдері қарастырылады. Зерттеудің негізгі бағыты – қауіпті жағдайларды тіркеу әдісін персоналдың қауіпсіз мінез-құлқын қалыптастыру және өндірістік тәуекелдерді басқару құралы ретінде қолдану. Қауіпсіздік мәдениетінің қалыптасуы, басшылардың көшбасшылық рөлі, қызметкерлердің мінез-құлқына әсер ететін факторлар және ақпараттық технологиялардың қауіпсіздікті басқspy процесіндегі маңызы талданды. Зерттеу барысында қауіпті жағдайларды анықтау мен тіркеудің қолданыстағы тәсілдері, өндірістік жарақаттану мен авариялардың алдын алу мүмкіндіктері қарастырылды.

Қауіптіжағдайлар тіркеу нәтижесінде алынған ақпарат еңбек жағдайларының нақты жай-күйін бағалауға, қауіпті факторларды алдын ала анықтауға және оларды жою бойынша уақтылы басқарушылық шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар, электрондық ақпараттық жүйелерді пайдалану тіркелген деректерді жинау, өңдеу, сақтау және талдау тиімділігін арттырады. Ұсынылған тәсіл еңбек қауіпсіздігін басқаруда нұсқамалық әдістен тәуекелге негізделген басқару жүйесіне көшуге мүмкіндік береді және өндірістік жарақаттану мен авариялық жағдайлардың алдын алуға бағытталған практикалық құрал ретінде қарастырылады.Мақалада мұнай-газ кәсіпорындарында қауіпті жағдайларды тіркеу арқылы еңбек қауіпсіздігін басқаруды жетілдіру және қауіпсіздік мәдениетін қалыптастыру.

Кілт сөздер. Еңбек қауіпсіздігі, өнеркәсіптік қауіпсіздік, қауіпті жағдай, қауіпті мінез-құлық, қауіпсіздік мәдениеті, персоналдың мінез-құлқы, тәуекелдерді басқару.

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Сарабекова У. Ж., PhD, доцент
Тынымбай Н. Т. магистрант 2 курса ОП -7М11279 – Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные подходы к обеспечению безопасности труда и промышленной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли. Основное направление исследований-использование метода регистрации опасных ситуаций как средства формирования безопасного поведения персонала и управления производственными рисками. Проанализировано формирование культуры безопасности, руководящая роль руководителей, факторы, влияющие на поведение сотрудников, и значение информационных технологий в процессе внедрения безопасности. В ходе исследования были рассмотрены существующие подходы к выявлению и регистрации опасных ситуаций, возможности предупреждения производственного травматизма и аварий. Установлено, что информация, полученная в результате регистрации опасных ситуаций, позволяет оценить фактическое состояние условий труда, заранее выявить опасные факторы и своевременно принимать управленческие решения по их устранению. Кроме того, использование электронных информационных систем повышает эффективность сбора, обработки, хранения и анализа фиксированных данных. Предложенный подход позволяет перейти от инструктивного метода управления безопасностью труда к системе риск-ориентированного управления и рассматривается как практический инструмент, направленный на предупреждение производственного травматизма и аварийных ситуаций.

Ключевые слова. Безопасность труда, промышленная безопасность, опасная ситуация, опасное поведение, культура безопасности, поведение персонала, управление рисками.

МРНТИ 55.49.29 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.090

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИИ НАНОСПУТНИКА В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Лязат Ж.Т., магистр технических наук
lyazat.zhanbolat@kaznu.kz, https://orcid.org/0000-0002-8022-6143
Маман Е.П., студент 3 курса бакалавриата по специальности 6B07111 «Космическая техника и технологии», mamanertai05@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-8653-3409
Сейфулина С.Р., студент 2 курса бакалавриата по специальности 6B07111 «Космическая техника и технологии», seifsati2008@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-3694-7806
Азизова М.М., студент 2 курса бакалавриата по специальности 6B07111 «Космическая техника и технологии», malikaazizova258@gmail.com, https://orcid.org/0009-0005-1227-1400

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. На раннем этапе проектирования CubeSat расчёты обычно выполняются при неполном наборе исходных данных. Проблема возникает тогда, когда результаты такого скрининга трактуются как уже подтверждённые характеристики конструкции. В работе предложена схема предварительной оценки рамы 3U CubeSat из сплава AL 7075-T6, в которой конструктивный, тепловой и вакуумный этапы разделены по типу допустимого вывода. Вибрационные нагрузки задавались по профилю Falcon 9/Falcon Heavy. Для полётного режима принят интегральный уровень 5,13 grms; для квалификационной проверки спектральную плотность увеличивали на 3 dB. При Q = 10 расчёт по уравнению Майлса дал трёхсигмовые отклики от 12,0 до 35,5 g на частотах 108,5-445 Гц. Близко расположенные моды 108,5 и 112,3 Гц объединяли методом CQC. Тепловое состояние оценивалось двухузловой моделью: при выбранных параметрах электронный узел достигает +85 °C при поглощённом внешнем теплопритоке около 80,6 Вт. Вакуумную чистоту оценивали по предельным значениям ECSS-Q-ST-70-02C (RML < 1,0 %, CVCM < 0,10 %), оставляя окончательное подтверждение за испытанием. Такой порядок не смешивает предварительный расчёт с последующей МКЭ-, вибрационной и термовакуумной проверкой.

Ключевые слова: 3U CubeSat, AL 7075-T6, случайная вибрация, тепловой анализ, аутгазинг, предпроектная оценка.

Введение. CubeSat даёт возможность быстро перейти от идеи к лётному аппарату, но сокращение габаритов само по себе не упрощает требования к конструкции. Для 3U-платформы внешний контур и интерфейс с диспенсером задаются CubeSat Design Specification, тогда как реальные механические воздействия зависят уже от выбранного средства выведения и схемы интеграции [1]. Поэтому даже на раннем этапе приходится одновременно контролировать модальные свойства, случайную вибрацию, тепловой режим и пригодность материалов для вакуума. В современных работах по 3U CubeSat структурная часть, как правило, строится вокруг модального, квазистатического и случайно-вибрационного расчёта с последующей проверкой модели по испытаниям [2-4].

На ранней стадии проблема связана прежде всего с качеством исходных данных, а не с отсутствием расчётных средств. Если границы исходной информации не обозначить, результат упрощённой модели может выглядеть точнее, чем он есть. Поэтому расчёт разбит на последовательные этапы: новые данные уточняют предыдущую оценку и позволяют отказаться от части допущений. Аналогичная поэтапная логика использована при предпроектном баллистическом анализе ракет-носителей [5]; в данной работе она применена к оценке конструкции и теплового режима малой космической платформы.

При задании вибрационной нагрузки отдельно рассматриваются полётная среда и испытательный запас. В Falcon User’s Guide 2025 максимальная прогнозируемая случайная вибрация на верхней части адаптера соответствует 5,13 grms, тогда как квалификационные и протоквалификационные испытания проводят с увеличением

спектра на 3 dB [6]. Поэтому 5,13 grms используется как MPE полётного режима, а MPE + 3 dB - только для квалификационного скрининга. Такое разделение позволяет связать каждый результат с тем профилем, для которого он рассчитан.

В тепловой задаче аналогичная осторожность нужна при работе с абсолютными температурами. Температура элемента зависит от ориентации аппарата, оптических свойств покрытий, геометрических факторов обзора, внутренних тепловыделений и временной структуры режима. ECSS-E-ST-31C предполагает формирование горячих и холодных расчётных случаев из согласованного набора внешних потоков, свойств материалов и профилей диссипации [7]. Пока эти данные не зафиксированы, более информативна параметрическая оценка чувствительности, после которой можно переходить к транзиентной модели и её корреляции по теплобалансным или термовакуумным испытаниям [8-15].

Задача работы - получить воспроизводимую предпроектную схему оценки рамы 3U CubeSat из AL 7075-T6 и одновременно не выйти за пределы того, что действительно можно доказать на имеющемся наборе данных. Поэтому результат каждого этапа имеет разный статус: вибродинамический расчёт формирует контрольные уровни, тепловая модель показывает чувствительность к внешнему теплопритоку, а вакуумная часть задаёт критерии лабораторной приёмки материалов. Научно-методическая новизна работы заключается в объединении вибродинамического, теплового и вакуумного предпроектных скринингов в единую трассируемую процедуру с явным разделением расчётных оценок и параметров, требующих экспериментального подтверждения.

Материалы и методы исследования

Исходные данные и постановка задачи.

В расчётной схеме рассматривалась рама 3U CubeSat с четырьмя продольными направляющими, поперечными силовыми панелями и внутренним пакетом плат PC/104. Габариты конструкции составляют 100 × 100 × 340,5 мм, расчётная масса - 4,29 кг; компоновка приведена на рисунке 1. Для рамы выбран сплав AL 7075-T6. Его справочные характеристики зависят от состояния полуфабриката и толщины детали. Поэтому значения около 503 МПа для предела текучести и 572 МПа для предела прочности использованы лишь при первичном выборе материала. Они не заменяют данные сертификата на конкретную заготовку и не являются основанием для окончательной квалификации [16-17].

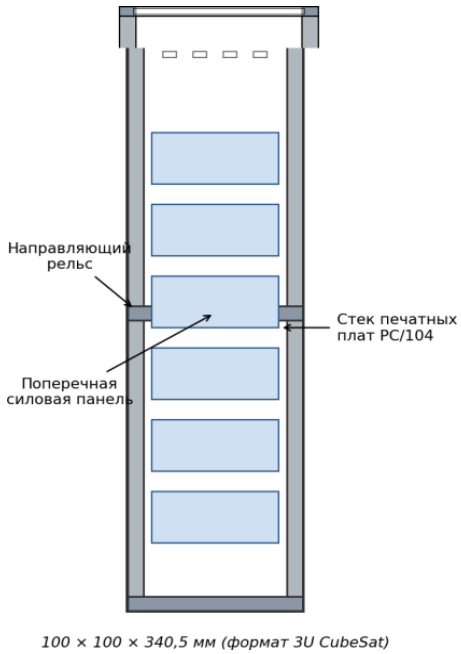


Рисунок 1 – Компоновочная схема рассматриваемой рамы 3U CubeSat и стека PC/104

Для анализа сохранены шесть контрольных резонансных частот исходной расчётной модели: 108,5; 112,3; 187,6; 224; 318 и 445 Гц. Они используются как точки, в которых вычисляется локальная спектральная плотность возбуждения и отклик одномодовой системы. На данном этапе частоты рассматриваются как расчётные входные данные и подлежат подтверждению высокодетальной МКЭ-моделью или модальным испытанием. Такой подход соответствует практике, в которой предварительный расчёт предшествует корреляции динамической модели [2], [3], [4], [18], [19].

Таблица 1 – Исходные параметры предпроектной оценки

Параметр	Обозначение	Значение	Статус
Формат аппарата	-	3U, 100 × 100 × 340,5 мм	по CDS Rev.14.1
Расчётная масса	m	4,29 кг	исходная компоновка
Материал рамы	-	AL 7075-T6	концепция
Добротность	Q	10 (ζ = 0,05)	скрининговое допущение
Контрольные частоты	fn	108,5-445 Гц	исходная расчётная модель
Геометрическая площадь	Ageo	0.1562 м²	расчёт по габаритам
Эффективная радиирующая площадь	Arad	0.1250 м²	0,8·Ageo, допущение
Эмиссивность поверхности	ε	0,80	параметрический расчёт
Внутреннее тепловыделение	Pint	6 Вт	контрольный режим
Термическое сопротивление	Rth	1,1 К/Вт	контрольный кондуктивный путь

Методика предпроектной оценки. Скрининг случайной вибрации.

Для возбуждения использован профиль Falcon 9/Falcon Heavy Random Vibration MPE (P95/50) из Falcon User’s Guide 2025 [6]. Узловые значения спектра составляют 0,0044 g²/Гц при 20 и 100 Гц, 0,01 g²/Гц при 300 и 700 Гц, 0,03 g²/Гц при 800 и 925 Гц и 0,00644 g²/Гц при 2000 Гц; интегральный полётный уровень равен 5,13 grms. Квалификационный скрининг сформирован увеличением спектральной плотности в два раза, то есть на +3 dB. Между заданными точками спектр интерполируется в логарифмических координатах по частоте и СПМ.

Отклик на каждой контрольной частоте оценивается уравнением Майлса для одномассовой системы. В расчёте Q = 10, что соответствует относительному демпфированию ζ = 0,05. Трёхсигмовое ускорение определяется выражением:

$$3\sigma_a = 3\sqrt{\frac{\pi}{2} f_n Q S_a(f_n)} \qquad (1)$$

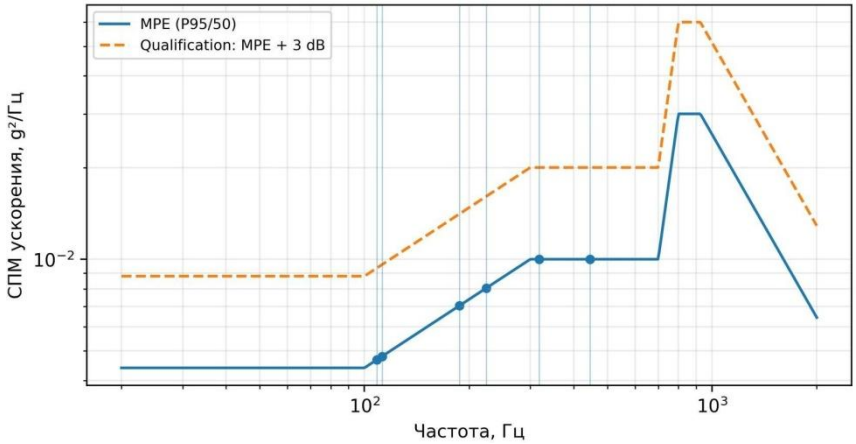
Уравнение Майлса используется только как верхнеуровневый скрининг. Оно не задаёт эквивалентную статическую силу для многомодовой конструкции и не позволяет без модальных масс, форм колебаний и геометрии сечений однозначно получить локальные напряжения. Для сложной конструкции NASA рекомендует частотный расчёт по коррелированной конечно-элементной модели [20], [21].

Отдельно учитывается корреляция близких мод. В NASA-HDBK-7005 метод SRSS основан на предположении о некоррелированных модальных откликах; для близко

расположенных частот используется Complete Quadratic Combination (CQC) [20]. Для одинакового демпфирования коэффициент корреляции пары мод может быть записан в виде:

$$\rho_{ij} = \frac{8\zeta^2 (r+1) r^{3/2}}{(r+1)^2 [(r-1)^2 + 4\zeta^2 r)}, r = \frac{f_j}{f_i} \quad (2)$$

$$^{L}C\,QC = \sqrt{\sum_i \sum_j {}^{L}i\,\rho_{ij}\,{}^{L}j} \quad (3)$$



Коррелированный отклик близко расположенных мод определяется по выражению (3).

Рисунок 2 – Профиль Falcon 9/Falcon Heavy MPE и квалификационный уровень MPE + 3 dB [6]

Параметрическая тепловая модель. На тепловом этапе использована двухузловая модель низкого порядка. Её назначение - не предсказать температуру конкретного витка орбиты, а показать, при каких сочетаниях внешнего теплопритока и теплового сопротивления появляется риск выхода электроники за допустимый диапазон. Первый узел представляет внешнюю раму с эффективной радиирующей площадью Arad, второй - электронный блок; между ними задано кондуктивное сопротивление Rth. Для стационарной контрольной точки баланс рамы и перепад температуры между узлами записываются как:

$$Q_{ext} + P_{int} = \varepsilon \sigma A_{rad} T_{frame}^4 \quad (4)$$

$$T_{elec} = T_{frame} + P_{int} R_{th} \quad (5)$$

Здесь Qext - эффективный суммарный внешний поглощённый теплоприток; он объединяет вклад прямого солнечного потока, альбедо, инфракрасного излучения Земли и зависит от ориентации и оптических свойств поверхностей. Поэтому Qext варьируется в диапазоне 10-80 Вт, а не присваивается конкретной орбите. Геометрическая площадь внешних поверхностей 3U корпуса составляет 0,1562 м²; в скрининге 80 % этой площади считается эффективно радиирующей, ε = 0,80, Pint = 6 Вт, Rth = 1,1 К/Вт. Полученная модель не заменяет транзиентный hot/cold-анализ, но позволяет определить чувствительность температуры к внешнему теплопритоку и к качеству кондуктивного пути [7-15].

Вакуумная чистота и аутгазинг. Вакуумная часть сформулирована как программа подтверждения материала, поскольку аутгазинг нельзя надёжно закрыть одной расчётной

оценкой. ECSS-Q-ST-70-02C предусматривает термовакуумный скрининг при 125 °C и высоком вакууме с определением TML, RML и CVCM [22]. Для общего применения в работе приняты критерии RML < 1,0 % и CVCM < 0,10 %. Для FR4, клеёв, компаундов, кабельной изоляции и покрытий поэтому не присваивается расчётный статус PASS:

фиксируются партия и технология подготовки, после чего решение принимается по результатам лабораторного испытания. Для материалов вблизи оптических поверхностей критерии могут потребовать дополнительного ужесточения.

Результаты исследований, обсуждение. Вибродинамический скрининг

В таблице 2 приведены значения, полученные по уравнению (1) для квалификационного спектра MPE + 3 dB. Максимум среди шести контрольных точек приходится на 445 Гц и составляет 35,5 g по уровню 3σ. Это ускорение относится к идеализированному одномодовому отклику при Q =

Использовать его как готовую «эквивалентную статическую» нагрузку на весь аппарат некорректно: для перехода к усилиям и напряжениям нужны модальные массы, формы колебаний и геометрия конкретных элементов.

Таблица 2 – Результаты расчёта по уравнению Майлса для MPE + 3 dB

№	fn, Гц	MPE, g²/Гц	MPE+3dB, g²/Гц	a3σ, g
1	108.5	0.00468	0.00935	12.0
2	112.3	0.00480	0.00960	12.3
3	187.6	0.00704	0.01408	19.3
4	224.0	0.00804	0.01608	22.6
5	318.0	0.01000	0.02000	30.0
6	445.0	0.01000	0.02000	35.5

Отношение частот 112,3 и 108,5 Гц равно 1,035. При $\zeta = 0{,}05$ по выражению (2) получен коэффициент корреляции $\rho 12 = 0{,}894$. Если локальные модальные отклики направлены одинаково, их консервативное сочетание по CQC составляет примерно 23,7 g. Эта величина относится к принятой расчётной точке и не может трактоваться как ускорение всей конструкции. В пространственной модели необходимо складывать соответствующие модальные усилия или напряжения с учётом форм колебаний, а не объединять только скалярные значения ускорения.

Поэтому запас по текучести можно оценивать лишь после задания реальных сечений, условий закрепления, распределения массы и коэффициентов участия мод. На текущем этапе получены контрольные уровни, предназначенные для построения подробной МКЭ-модели. Затем расчёт требуется сопоставить с результатами модального испытания и квалификационной вибрации. Такой порядок применяется и в исследованиях 3U CubeSat, где собственные частоты и случайно-вибрационный отклик проверяют совместно с shaker-тестами [2-4].

Тепловая чувствительность

Расчёт по выражениям (4)-(5) показывает ожидаемую, но важную для проектирования зависимость: при фиксированных ε, Arad, Pint и Rth температура электронного узла почти напрямую определяется эффективным поглощённым теплопритоком. Полученная серия точек не привязана к конкретной ориентации на солнечно-синхронной орбите. Поэтому таблица 3 используется как карта чувствительности и как способ быстро оценить запас до температурного ограничения, а не как прогноз будущей телеметрии.

Таблица 3 – Параметрическая оценка стационарных температур

Qext, Вт	Tframe, °C	Telec, °C
10	-42.7	-36.1
20	-12.9	-6.3
30	9.1	15.7
40	27.0	33.6
50	42.1	48.7
60	55.3	61.9
70	67.1	73.7
80	77.8	84.4

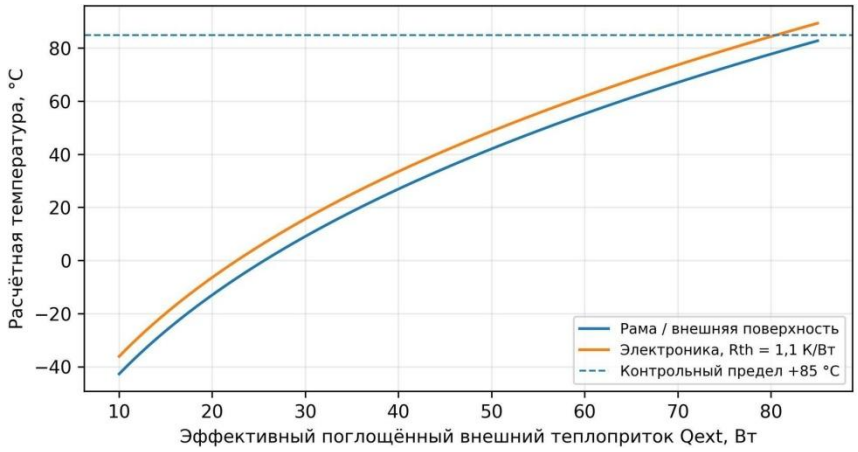


Рисунок 3 – Чувствительность температуры рамы и электронного узла к эффективному внешнему теплопритоку

При принятых параметрах уровень Telec = +85 °C достигается при Qext ≈ 80,6 Вт. Этот результат удобен как инженерный порог: после задания ориентации, коэффициентов поглощения и излучения, альбедо и инфракрасного потока рассчитанный суммарный теплоприток можно сравнить с 80,6 Вт и понять, требуется ли более детальная проработка горячего случая. Холодный случай, напротив, должен анализироваться во времени, потому что участок затмения определяется тепловой инерцией аппарата. Для финальной верификации нужна транзиентная hot/cold-модель с реальными свойствами поверхностей и последующая корреляция по TVAC или теплобалансному испытанию [7-15].

Критерий вакуумной чистоты

Таблица 4 переводит вакуумный этап из формулировки «материал подходит» в проверяемую процедуру приёмки. Расчётные значения TML/RML/CVCM для FR4 намеренно не приведены: без измерения конкретной партии они не воспроизводимы. Предварительный bake-out остаётся полезной технологической операцией, но сам по себе не доказывает соответствие. Основанием для решения должны быть измеренные значения RML и CVCM и зафиксированные условия подготовки образца.

Таблица 4 – Минимальная программа подтверждения вакуумной чистоты

Этап	Условие	Показатель	Критерий/выход
Предкондиционирование	22 ± 3 °C; 55 ± 10 % RH; 24 ч	m0	зафиксированная исходная масса
Micro-VCM	125 °C; высокий вакуум; 24 ч	TML, RML, CVCM	протокол испытания
Приёмка	по ECSS-Q-ST-70-02C	RML	< 1,0 %
Приёмка	по ECSS-Q-ST-70-02C	CVCM	< 0,10 %
Критические оптические зоны	по требованию проекта	CVCM/спектр загрязнения	ужесточённый критерий

Ограничения и дальнейшая верификация

На данном этапе уравнение Майлса используется для оценки возможного резонансного усиления. Для многомодовой системы этой информации недостаточно, поскольку в расчёт не входят модальные массы и пространственные формы колебаний. Полученные значения поэтому служат контрольными уровнями для последующей МКЭ-проверки. Для мод 108,5 и 112,3 Гц это особенно существенно: из-за их близости простое SRSS-сочетание без корреляции может дать некорректный результат [20].

Ограничение тепловой модели связано с тем, что Qext пока рассматривается как независимый параметр. Однозначно задать «орбитальную температуру» нельзя без ориентации аппарата, солнечной β-геометрии, коэффициентов α/ε для отдельных граней, профиля внутренних тепловыделений и длительности затмений. Поэтому сначала определяется чувствительность температуры к внешнему теплопритоку. После уточнения миссии на этой основе формируются расчётные hot/cold cases. Такой порядок соответствует практике CubeSat: расчётную модель уточняют и затем коррелируют по результатам теплобалансных или TVAC-испытаний [8-15].

Для аутгазинга основным источником неопределённости становится уже не модель, а сам материал и его технологическая история. RML и CVCM могут изменяться в зависимости от партии, режима отверждения, загрязнения и предварительного bake-out. Поэтому кинетический расчёт пригоден для анализа тенденций, но не заменяет Micro-VCM-приёмку по ECSS-Q-ST-70-02C [22].

Работа, следовательно, не рассматривается как завершённая лётная квалификация конкретного экземпляра CubeSat. Её выход - набор воспроизводимых предпроектных проверок и порогов, достаточных для выбора направления дальнейшей проработки без подмены испытаний расчётными оценками. Следующий этап должен включать коррелированную МКЭ-модель рамы, модальный survey, расчёт случайной вибрации для фактического интерфейса запуска, транзиентный hot/cold-анализ и термовакуумные испытания материалов и сборки.

Заключение и выводы. Для профиля Falcon 9/Falcon Heavy полётный уровень случайной вибрации составляет 5,13 grms. Квалификационный скрининг выполнен на MPE + 3 dB, поэтому источник и назначение каждого используемого уровня остаются прослеживаемыми.

При Q = 10 расчёт по уравнению Майлса на частотах 108,5-445 Гц дал трёхсигмовые отклики 12,0-35,5 g. Для пары 108,5/112,3 Гц использовано CQC-сочетание; альтернативой является прямой многомодовый расчёт. Однако эти ускорения не определяют запас прочности сами по себе. Для такой оценки нужны реальные сечения, модальные массы и МКЭ-модель, подтверждённая испытаниями.

В двухузловой модели при Arad = 0,125 м², ε = 0,80, Pint = 6 Вт и Rth = 1,1 К/Вт электронный узел достигает +85 °C при Qext около 80,6 Вт. Это значение использовано

как ориентир для горячего случая на предпроектной стадии. Рабочий температурный диапазон следует рассчитывать для миссионных hot/cold cases и подтверждать теплобалансным либо TVAC-испытанием.

Для оценки вакуумной чистоты приняты критерии ECSS-Q-ST-70-02C: RML < 1,0 % и CVCM < 0,10 %. Расчётная оценка не заменяет испытание конкретного материала, а предварительный bake-out рассматривается только как операция подготовки образца.

Практическое значение схемы заключается в разделении решений по уровню доступных данных. Быстрые расчёты применяются там, где они дают проверяемый ориентир; вывод о соответствии формируется после получения геометрии, характеристик материалов и результатов испытаний. Для университетского 3U CubeSat такой порядок позволяет перейти к детальному проектированию без необоснованного запаса и преждевременного заявления о квалификации.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта AP26104583.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, способного повлиять на интерпретацию результатов.

Әдебиеттер:

[1] The CubeSat Program, Cal Poly SLO. CubeSat Design Specification (1U-12U), Rev. 14.1, CP-CDS-R14.1. – San Luis Obispo, CA, 2022. URL: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/01/cubesatdesignspecification_rev14cp-cds-r14_1_2022-02-09.pdf

[2] **Elshaal, A.,** Okasha M., Sulaeman E., Jallad A.H., Faris Aizat W., Alzubaidi A.B. Structural Analysis of AlAinSat-1 CubeSat // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.– 2024. – Vol. 27.– No. 3. – P. 532-546. DOI: 10.1016/j.ejrs.2024.06.006.

[3] **Thaheer, A.S.M.,** Ismail N.A., Amir M.H.H., Razak N.A. Static and dynamic analysis of different MYSat frame structure // Journal of Mechanical Engineering and Sciences. – 2024. – Vol. 18.– No. 4. DOI: 10.15282/jmes.18.4.2024.4.0810.

[4] **Mitra, P.R.,** Raouf M., Nasrabadi V.Y., Foing B., Ananwatanyoo P., Sonou U.N.A.N.T., Pacheco A.R., Hesar F.F., Irakleous C. Design of the Structure of an Earth Observation 3U CubeSat for Hyperspectral Imaging // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC 2025. – 2025.– P. 725-739. DOI: 10.52202/083081-0088.

[5] **Кумыспаев, А.Р.,** Ракишева З.Б., Нургужин М.Р., Спандияр Н.М. Аналитические методы предпроектной оценки конечной скорости активного участка траектории ракет-носителей: иерархия приближений // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2026. – № 2(73). – С. 172-183. DOI: 10.51775/2790-0886_2026_73_2_172.

[6] Space Exploration Technologies Corp. Falcon User’s Guide. - Rev. 2025-05-09. - Hawthorne, CA: SpaceX, 2025. URL: https://www.spacex.com/media/falcon-users-guide-2025-05-09.pdf

[7] ECSS-E-ST-31C. Space Engineering - Thermal Control. - Noordwijk: European Cooperation for Space Standardization, 2008. URL: https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-31c-thermal-control/

[8] **Blanchete, N.,** Bah A. Thermal design, analysis and test: Framework for CubeSat in low Earth orbit // Results in Engineering. – 2024. – Vol. 24. – Art. 103401. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.103401.

[9] **Quirino, M.,** Sciarrone G., Piazzolla R., Fuschino F., Evangelista Y., Morgante G., Guilizzoni M., Marocco L., Silvestrini S., Fiore F., Lavagna M. HERMES CubeSat Payload Thermal Balance Test and Comparison with Finite Volume Thermal Model // Applied Sciences.– 2023. – Vol. 13.– No. 9. – Art. 5452. DOI: 10.3390/app13095452.

[10] **Cannon, J.R.,** Mulford R.B., Iverson B.D. Triangular fin array passively actuated by bimetallic coils for CubeSat thermal control // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 240. – Art. 122239. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.122239.

[11] **Cannon, J.R.,** Havey K.N., Housley N.S., Mulford R.B., Iverson B.D. Internally stowed, radially deployed radiator panels for passive CubeSat thermal control // Applied Thermal Engineering. – 2025. – Vol. 270. – Art. 126281. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126281.

[12] **Yamagata, M.R.,** Wakita Y., Tsuruda Y., Miyata K. Feasibility study of low-temperature operable electric power supply for CubeSats using passive thermal control with VO2-based solid-solid

phase change material // Thermal Science and Engineering Progress. – 2023. – Vol. 37. – Art. 101601. DOI: 10.1016/j.tsep.2022.101601.

[13] **Capovilla, G.,** Cestino E., Reyneri L., Valpiani F. Modular Multifunctional Composite Structure for CubeSat Applications: Embedded Battery Prototype Thermal Analysis // Batteries. – 2025. – Vol. 11.– No. 5. – Art. 172. DOI: 10.3390/batteries11050172.

[14] **Bennett, N.S.,** Hawchar A., Cowley A. Thermal Control of CubeSat Electronics Using Thermoelectrics // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13.–No. 11.–Art. 6480. DOI: 10.3390/app13116480.

[15] **Kubicka, M.,** Zeif R., Henkel M., Hörmer A.J. Thermal vacuum tests for the ESA's OPS-SAT mission // e&i Elektrotechnik und Informationstechnik. – 2022. – Vol. 139. – P. 16-24. DOI: 10.1007/s00502-022-00990-w.

[16] ASTM B209/B209M-21. Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021. URL: https://store.astm.org/b0209_b0209m-21.html

[17] ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. – М.: Стандартинформ, 2019. URL: https://protect.gost.ru/gost/details/ec049aa0-9abc-406e-be53-2fcae00b74ef

[18] **Capovilla, G.,** Cestino E., Reyneri L. Modular Multifunctional Composite Structure for CubeSat Applications: Embedded Battery Prototype Modal Analysis // Aerospace. – 2023. – Vol. 10.– No. 12.– Art. 1009. DOI: 10.3390/aerospace10121009.

[19] **Dawood, S.D.S.,** Harithuddin A.S.M., Harmin M.Y. Modal Analysis of Conceptual Microsatellite Design Employing Perforated Structural Components for Mass Reduction // Aerospace. – 2022. – Vol. 9.– No. 1.– Art. 23. DOI: 10.3390/aerospace9010023.

[20] NASA-HDBK-7005. Dynamic Environmental Criteria. – Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 2001. URL: https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-HDBK-7005

[21] NASA-STD-5002A. Load Analyses of Spacecraft and Payloads. – Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 2019. URL: https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/A/0/nasa-std-5002a.pdf

[22] ECSS-Q-ST-70-02C. Space Product Assurance - Thermal Vacuum Outgassing Test for the Screening of Space Materials. – Noordwijk: European Cooperation for Space Standardization, 2008. URL: https://ecss.nl/standard/ecss-q-st-70-02c-thermal-vacuum-outgassing-test-for-the-screening-of-space-materials/

References:

[1] The CubeSat Program, Cal Poly SLO. CubeSat Design Specification (1U-12U), Rev. 14.1, CP-CDS-R14.1. San Luis Obispo, CA, 2022. Available at: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/01/cubesatdesignspecification_rev14cp-cds-r14_1_2022-02-09.pdf

[2] **Elshaal, A.,** Okasha M., Sulaeman E., Jallad A.H., Faris Aizat W., Alzubaidi A.B. Structural Analysis of AlAinSat-1 CubeSat. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2024, vol. 27, no. 3, pp. 532-546. DOI: 10.1016/j.ejrs.2024.06.006.

[3] **Thaheer, A.S.M.,** Ismail N.A., Amir M.H.H., Razak N.A. Static and dynamic analysis of different MYSat frame structure. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 2024, vol. 18, no. 4. DOI: 10.15282/jmes.18.4.2024.4.0810.

[4] **Mitra, P.R.,** Raouf M., Nasrabadi V.Y., Foing B., Ananwatanyoo P., Sonou U.N.A.N.T., Pacheco A.R., Hesar F.F., Irakleous C. Design of the Structure of an Earth Observation 3U CubeSat for Hyperspectral Imaging. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC 2025, 2025, pp. 725-739. DOI: 10.52202/083081-0088.

[5] **Kumyspaev, A.R.,** Rakisheva Z.B., Nurguzhin M.R., Spandijar N.M. Analiticheskie metody predproektnoj ocenki konechnoj skorosti aktivnogo uchastka traektorii raket-nositelej: ierarhija priblizhenij // Vestnik Almatinskogo universiteta jenergetiki i svjazi. – 2026. – № 2(73). – S. 172-183. DOI: 10.51775/2790-0886_2026_73_2_172. [in Russian]

[6] Space Exploration Technologies Corp. Falcon User's Guide. Rev. 2025-05-09. Hawthorne, CA, SpaceX, 2025. Available at: https://www.spacex.com/media/falcon-users-guide-2025-05-09.pdf

[7] ECSS-E-ST-31C. Space Engineering - Thermal Control. Noordwijk, European Cooperation for Space Standardization, 2008. Available at: https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-31c-thermal-control/

[8] **Blanchete, N.,** Bah A. Thermal design, analysis and test: Framework for CubeSat in low Earth orbit. Results in Engineering, 2024, vol. 24, art. 103401. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.103401.

[9] **Quirino, M.,** Sciarrone G., Piazzolla R., Fuschino F., Evangelista Y., Morgante G., Guilizzoni M., Marocco L., Silvestrini S., Fiore F., Lavagna M. HERMES CubeSat Payload Thermal Balance Test and Comparison with Finite Volume Thermal Model. Applied Sciences, 2023, vol. 13, no. 9, art. 5452. DOI: 10.3390/app13095452.

[10] **Cannon, J.R.,** Mulford R.B., Iverson B.D. Triangular fin array passively actuated by bimetallic coils for CubeSat thermal control. Applied Thermal Engineering, 2024, vol. 240, art. 122239. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.122239.

[11] **Cannon, J.R.,** Havey K.N., Housley N.S., Mulford R.B., Iverson B.D. Internally stowed, radially deployed radiator panels for passive CubeSat thermal control. Applied Thermal Engineering, 2025, vol. 270, art. 126281. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126281.

[12] **Yamagata, M.R.,** Wakita Y., Tsuruda Y., Miyata K. Feasibility study of low-temperature operable electric power supply for CubeSats using passive thermal control with VO2-based solid-solid phase change material. Thermal Science and Engineering Progress, 2023, vol. 37, art. 101601. DOI: 10.1016/j.tsep.2022.101601.

[13] **Capovilla, G.,** Cestino E., Reyneri L., Valpiani F. Modular Multifunctional Composite Structure for CubeSat Applications: Embedded Battery Prototype Thermal Analysis. Batteries, 2025, vol. 11, no. 5, art. 172. DOI: 10.3390/batteries11050172.

[14] **Bennett, N.S.,** Hawchar A., Cowley A. Thermal Control of CubeSat Electronics Using Thermoelectrics. Applied Sciences, 2023, vol. 13, no. 11, art. 6480. DOI: 10.3390/app13116480.

[15] **Kubicka, M.,** Zeif R., Henkel M., Hörmer A.J. Thermal vacuum tests for the ESA's OPS-SAT mission. e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, 2022, vol. 139, pp. 16-24. DOI: 10.1007/s00502-022-00990-w.

[16] ASTM B209/B209M-21. Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. West Conshohocken, PA, ASTM International, 2021. Available at: https://store.astm.org/b0209_b0209m-21.html

[17] GOST 4784-2019. Aljuminij i splavy aljuminievye deformiruemye. Marki. – M.: Standartinform, 2019. URL: https://protect.gost.ru/gost/details/ec049aa0-9abc-406e-be53-2fcae00b74ef [in Russian]

[18] **Capovilla G.,** Cestino E., Reyneri L. Modular Multifunctional Composite Structure for CubeSat Applications: Embedded Battery Prototype Modal Analysis. Aerospace, 2023, vol. 10, no. 12, art. 1009. DOI: 10.3390/aerospace10121009.

[19] **Dawood S.D.S.,** Harithuddin A.S.M., Harmin M.Y. Modal Analysis of Conceptual Microsatellite Design Employing Perforated Structural Components for Mass Reduction. Aerospace, 2022, vol. 9, no. 1, art. 23. DOI: 10.3390/aerospace9010023.

[20] NASA-HDBK-7005. Dynamic Environmental Criteria. Washington, DC, National Aeronautics and Space Administration, 2001. Available at: https://standards.nasa.gov/standard/NASA/NASA-HDBK-7005

[21] NASA-STD-5002A. Load Analyses of Spacecraft and Payloads. Washington, DC, National Aeronautics and Space Administration, 2019. Available at: https://standards.nasa.gov/sites/default/files/standards/NASA/A/0/nasa-std-5002a.pdf

[22] ECSS-Q-ST-70-02C. Space Product Assurance - Thermal Vacuum Outgassing Test for the Screening of Space Materials. Noordwijk, European Cooperation for Space Standardization, 2008. Available at: https://ecss.nl/standard/ecss-q-st-70-02c-thermal-vacuum-outgassing-test-for-the-screening-of-space-materials/

ҒАРЫШ ОРТАСЫНДАҒЫ НАНОСПУТНИК КОНСТРУКЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ МІНЕЗ-ҚҰЛҚЫ МЕН ПАЙДАЛАНУ СЕНІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Лязат Ж.Т., техника ғылымдарының магистры
Маман Е.П., бакалавриаттың 3-курс студенті
Сейфулина С.Р., бакалавриаттың 2-курс студенті
Азизова М.М., бакалавриаттың 2-курс студенті

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аннотация. CubeSat аппаратын жобалаудың бастапқы кезеңінде бастапқы деректер толық болмайтындықтан, есептеулер көбіне ықшам модельдермен жүргізіледі. Негізгі қауіп - осындай скрининг нәтижелерін конструкцияның сынақпен расталған сипаттамасы ретінде қабылдау. Бұл жұмыста AL 7075-T6 қорытпасынан жасалған 3U CubeSat рамасын алдын ала бағалау сызбасы ұсынылды; онда конструкциялық, жылулық және вакуумдық кезеңдер беретін қорытынды түріне қарай ажыратылды. Дірілдік бағалау үшін Falcon 9/Falcon Heavy кездейсоқ діріл профилі пайдаланылды: ұшу MPE деңгейі 5,13 grms, ал біліктілік спектрі MPE + 3 dB ретінде қабылданды. Q = 10 кезінде Майлс теңдеуі 108,5-445 Гц аралығындағы бақылау жиіліктері үшін 12,0-35,5 g үш сигмалық жауап берді; 108,5 және 112,3 Гц жақын модалары CQC әдісімен қосымша қарастырылды. Екі түйінді параметрлік жылулық модельде электрондық түйіннің +85 °C температурасына тиімді сыртқы жылу ағыны шамамен 80,6 Вт болғанда жететіні анықталды. Вакуумдық тазалық ECSS-Q-ST-70-02C бойынша RML < 1,0 % және CVCM < 0,10 % эксперименттік критерийлерімен бағаланады. Ұсынылған тәртіп жобалауалды скринингті кейінгі МКЭ, дірілдік және термовакуумдық верификациядан нақты ажыратады.

Тірек сөздер: 3U CubeSat, AL 7075-T6, кездейсоқ діріл, жылулық талдау, газсыздану, жобалауалды бағалау.

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR AND OPERATIONAL RELIABILITY OF A NANOSATELLITE STRUCTURE IN THE SPACE ENVIRONMENT

Lyazat Zh.T., Master of technical Sciences
Maman Y.P., 3rd-year Bachelor's student
Seifulina S.R., 2nd-year Bachelor's student
Azizova M.M., 2nd-year Bachelor's student

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Annotation. Preliminary CubeSat design is usually performed with an incomplete set of inputs, so the main risk is not the use of simplified models itself but treating screening results as already qualified hardware characteristics. This study proposes a staged assessment of an AL 7075-T6 3U CubeSat frame in which structural, thermal and vacuum tasks are separated by the type of conclusion each model can support. The Falcon 9/Falcon Heavy random-vibration environment is used for structural screening: the flight MPE is 5.13 grms and the qualification spectrum is taken as MPE + 3 dB. With Q = 10, Miles' equation gives 3σ responses of 12.0-35.5 g at six control frequencies between 108.5 and 445 Hz; the closely spaced 108.5/112.3 Hz pair is additionally combined using CQC. A two-node parametric thermal model shows that the electronics node reaches +85 °C at an effective absorbed external heat input of about 80.6 W for the adopted parameters. Vacuum cleanliness is treated as an experimentally verified property using ECSS-Q-ST-70-02C criteria of RML < 1.0% and CVCM < 0.10%. The resulting workflow separates preliminary screening from subsequent finite-element, vibration and thermal-vacuum verification.

Keywords: 3U CubeSat, AL 7075-T6, random vibration, thermal analysis, outgassing, preliminary assessment.

SRSTI 10.55.61 https://doi.org/10.52081/tst.2026.v03.i15.091

IMPROVING THE METHOD OF ACCOUNTING FOR AGRICULTURAL LAND BASED ON GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

Amirzhanova Zh.N., Master of land management and cadastre, senior lecturer
janatamirjanova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-5686-6821
Yeleuova E.Sh., Candidate of agricultural sciences, professor
yeleuovaelmira@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6488-2714
Aldambergenova G.T., Master of land management and cadastre, senior lecturer
gulzi_31@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4583-612X

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Annotation. Management of land resources and improvement of computer technology in land management are among the most important tasks of the state, the efficient implementation of which is inextricably related to widespread introduction of the latest achievements of the information technologies. Obviously, increasing the reliability and manageability of the infrastructure, reaching the maximum transparency of processes are vital in the area of geoinformation resources and spatial data resources. With the powerful tools of visualization, analysis and modeling, which allow bringing together the knowledge about the environment, measurements and calculations, geoinformation technologies have become widespread in various fields, and are the informational basis for decision-making. Their application to agricultural land accounting enables the systematic collection, processing, updating, and comparison of spatial and attribute data. The proposed approach improves the accuracy of land records, supports continuous monitoring of land use, identifies inefficiently used areas, and facilitates informed decisions concerning sustainable agricultural development and planning.

Keywords: land relations, geoinformation resources, spatial data, land management, agricultural land accounting, geoinformation technologies.

Introduction. Land resources form the foundation of any state's socio-economic well-being; they define and constitute the very basis of the nation. Consequently, there is currently significant interest in land as a primary source of wealth and value among all natural resources. Access to comprehensive, timely, accurate, and up-to-date information regarding land, landowners, and land users serves as a benchmark of a state's maturity and an indicator of its level of economic development. Such information enables the formulation and implementation of land policy and the monitoring of land reform processes. Furthermore, it establishes the necessary prerequisites for participating in the global system of industrial raw material production and the service sectors.

Research materials and methods. The methodological basis of the research includes works of the leading Kazakhstani, Russian and foreign authors in the area of geoinformation resources and spatial data, as well as case studies in special literature. The information-empirical and regulatory base of the research consists of Laws, Presidential Decrees, Decrees of the Government of the Republic of Kazakhstan, and normative legislative acts. To achieve the objectives, the research used general scientific methods for analytical, structural and comparative analysis, as well as statistical research methods.

Results and discussion. Currently, information systems are used in various fields of human activity. However, users quite often need to determine the spatial position of studied objects. Any spatial information system is based on the principles inherent in all information systems. Such systems are presented as automated information systems intended for displaying and analyzing natural and artificial objects located on the surface of the Earth. The spatial reference of the studied objects was used as the basis for introducing term “Geographic Information Systems”. Broadly speaking, geographic information systems are perceived as models of the real world, while in the narrow sense they are systems of accumulating and storing data hooked to the earth's surface. With that, the most promising direction in development of geoinformation systems is the ability to support the decision-making processes [1, 2].

Presently, automation in the area of geoinformation resources has reached the level that allows solving the tasks of spatial analysis, implementing keeping the graphic and attribute databases, and correcting information and printing. Thus, the main difference between geographic information resources and computer graphics is that geographic information systems, in addition to the graphical display, contain information about objects and their elements. In addition, they also ensure assessment of the area and land distribution by categories, acreage, land ownership, economic use, etc. Information about each object included into a geographic information system is stored in digital format[3, 4].

Such information may be generated, for example, with the materials of automated survey, scanning, and remote probing. Thus, the result of the operator's work depends largely on the accuracy of previously populated information. Therefore, the area and other derived parameters will be calculated by the information contained in the databases. The more accurate this information is, the more reliable result will be obtained.

The current stage of information technologies development is characterized by transition to integration of all kinds of geographic information resources. Therefore, along with the semantic information technologies, geoinformation technologies also develop rapidly, which ensure communication between users of different digital spatial data, which are usually provided together with their attribute data. Spatial data are understood as digital data about geographic objects, including information about their location, shape and properties shown in the coordinate-time system, and attribute data are properties, qualitative and quantitative characteristics of spatial objects represented in digital form [5].

Entering data into a geographic information system is an operation of reading the information from various media. Before entering into a geographic information system, the data are to be converted into digital format. This process is called "digitizing", and may be automated in modern geographical information systems through the use of scanning technology. In modern geographic information systems, relational models of data are used, which store information as tables [6].

The data about the spatial position (geographical data) and the appropriate tabular (attribute) information are generated directly by the user, or obtained from suppliers commercially or elsewise. In the geographical information systems, these data are integrated with other types and sources of information. With that, various organizations may use external, more powerful database management systems for organizing and using the available information. In order to improve the geoinformation resources based on the spatial data, analysis of lands distribution by category in the Karmakshy district of the Kyzylorda region was made in the research. Table 1 shows the data for years 2021 through 2025.

Table 1 – Land distribution in the Karmakshy district of the Kyzylorda region by category

Categories	2021		2022		2023		2024		2025	
	thousand ha	%	thousand ha	%	thousand ha	%	thousand ha	%	thousand ha	%
Agricultural land	483.5	18	486.5	18	361.5	14	362.4	14	364.0	14
Land of settlements	44.1	2	44.1	2	44.1	2	44.1	2	44.1	2
Industrial lands	2.2	-	2.4	-	4.1	-	4.0	-	4.0	-
Specifically protected territories	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
The lands of the Forest Fund	429.0	16	429.0	16	429.0	16	429.0	16	429.0	16
Water resource lands	10.7	-	10.7	-	10.7	-	10.7	-	10.7	-
Reserve lands	1,706.1	64	1,702.9	64	1,826.2	68	1,825.4	68	1,823.8	68
Total area	2,675.6	100	2,675.6	100	2,675.6	100	2,675.6	100	2,675.6	100

Over time, many categories have changed. Over the past five years, agricultural land decreased by 4%, the land state reserve, in turn, increased by 4%. The forest fund land has remained the same, which is particularly important in the context of Kazakhstan. Analysis of the diagram showed that the largest area in the Karmakshy district of the Kyzylorda region constituted reserve land (68%), forest fund land (16%), and agricultural land (14%) (Figure 1).

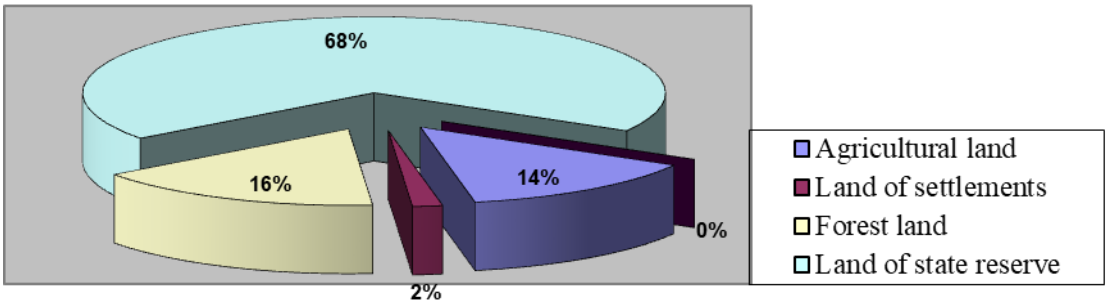


Figure 1 – Land distribution in the Karmakshy district by category (01.11.2025)

Insignificant area is occupied by settlements land, industrial land and water fund land. For generating spatial data, the Limited Liability Company “Zhanazhol” in the Karmakshy district was analyzed within the framework of this research (hereinafter referred to as "the farm").

Table 2 – Land distribution at farm “Zhanazhol” in the Karmakshy area by the type of land

Type of land	2021		2022		2023		2024		2025	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Arable land	3,852	30	3,910	31	3,885	30	3,885	30	3,950	31
Haylands	658	5	658	5	658	5	658	5	658	5
Lealands	5,923	46	5,865	45	5,890	46	5,890	46	5,825	45
Other lands	2,396	19	2,396	19	2,396	19	2,396	19	2,396	19
Total	12,829	100	12,829	100	12,829	100	12,829	100	12,829	100

The total area of the farm is 12,829 hectares, agricultural lands take 10,432.6 hectares, or 81%, while other land (saline soils, sands, takyrs) takes 2,396.4 hectares, or 19%. The planted acreage of the farm is 3,950 ha (Table 2). Table 2 shows that the farm has reserves for increasing arable land at the expense of lealands.

The study has shown that a considerable area of the farm is taken by rice, alfalfa of past years and alfalfa of this year. An insignificant area is taken by alfalfa for seeds, spring wheat and potato (Figure 2).

Improvement of the geographic information system based on the spatial data should include a comprehensive analysis of land use with regard to the balance of graphical and attribute data. Based on these requirements, the authors have developed a flow chart of improving the geographic information system (Figure 3).

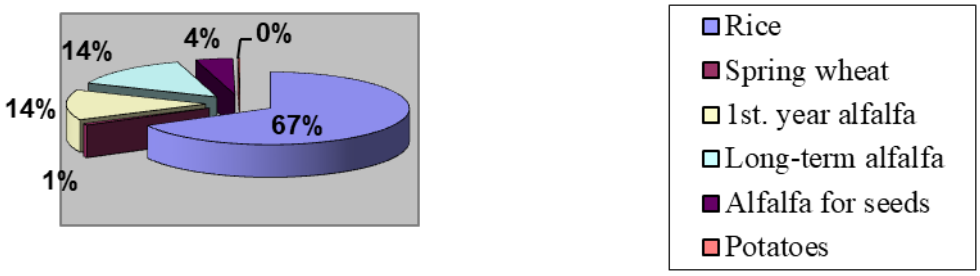


Figure 2 – Dynamics of cultivated area at the "Zhanazhol" farm in the Karmakshy district

Graphical data are used to derive the spatial data, which are considered as the decision-making process that has significant impact on the geographic information system. In order to improve geographic information system, the attribute data should be made for determining the area and distribution of land by categories, ownership, type of economic use, and for cases of qualitative and quantitative characteristics of the spatial objects.

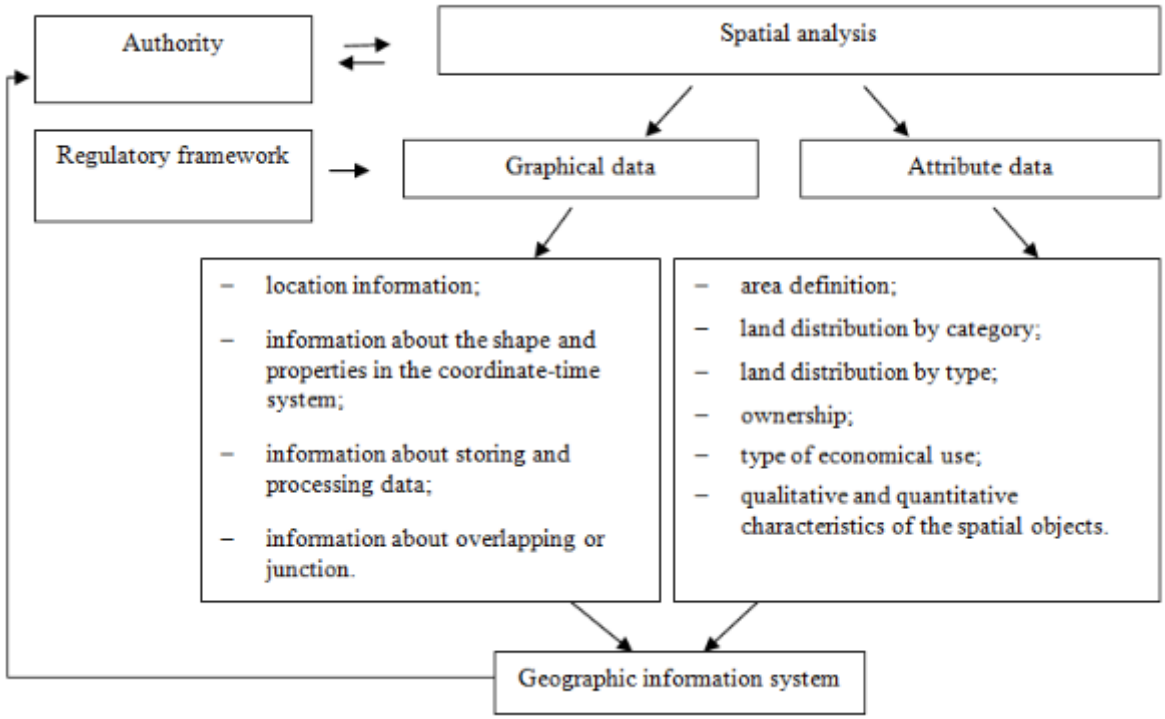


Figure 3 – Flow-chart of improving the geographic information system

A way of organizing data in a geographic information system is a layered model, the essence of which is in dividing objects into thematic layers. Objects in the layer are saved to a separate file, they have their own system of identifiers that can be referred to as a certain set. The geographic information system envisages operation of the graphical part of the data in the form of electronic maps and the attribute part of the data that contains some meaning of the map and additional information related to the spatial data, but cannot be directly plotted on the map (description of areas or the information describing the quality characteristics of object – attributes). Graphical objects and attribute data are interrelated; in particular, the graphical information is physically stored as one of the fields of the table of attributes. By manipulating the information layers and objects, by using arrays of digital maps, the user can generate the required

set of objects in the form of map coverage. The toolkit of the geoinformation system provides a possibility to use the query attribute and graphic data, and to perform simulation modeling. In addition, the built-in internal programming languages of the geographic information system allow creating native apps that contribute to solving specialized tasks [7, 8].

Geoinformation technologies may be used in land management, land registries; design, engineering, surveying and planning in urban construction; thematic cartography; facilities inventory and accounting; marine cartography and navigation; analysis of the terrain features; navigation of ground transportation; air traffic control; geology; environmental monitoring; management of environmental protection measures and natural resources [9, 10].

Forming a geographic information system based on the spatial data consists in establishing new regularities that characterize land use in relation to the needs of the society, availability of other resources, population growth, achievements of the scientific and technical progress; improvement of methods of land use analyzing, predicting and planning; determining efficiency of land use from the economic, social and environmental point of view; formulation of new tasks, problems and issues in accordance with development of the society, its production force, needs and requests for using research results in preparing forecast and planning documents.

The rational use of land resources requires full-scale improvement of land use with the growth of needs and the material-and-technical capabilities of the society. Improvement of land use is based on the ability to automate calculation of quantitative indicators of land resources, followed by their visualization, for example, automated calculation of yield and gross output from the crop rotation fields with regard to the soil and terrain conditions. Field arrangement and crop rotation work plots are planned on this basis. First, a digital model of land use is built, which includes thematic layers (topography, soils, hydrography, map of land utilization, etc.). Fields are placed upon overlaying digital maps (topographic, terrain, existing map of land use and soil map). With that, the map of the land use shows the main directions of treatment proposed on-farm roads from the fields to the production centers, and shelterbelts. The overlaying of maps in designing land use ensures the best accounting for the directions of land drainage, accounting for location of topographical features (ravines, gullies, etc.) [11, 12].

Efficient use of digital data involves availability of software tools that provide functions of data storage, description, update, etc. Depending on the types and formats of presentation, the level of software tools for a geographic information system and some characteristics of the environment and conditions of use, various options may be offered for storage and for access to the spatial data; methods of organization are different for graphical and attribute parts.

In simple software tools for a geographic information system, there are no specific tools for organizing storage, data access and handling, or these functions are implemented by means of the operating system in its file organization.

Data are stored in the geographic information systems in the form of a set of thematic layers, which are combined based on their geographical location. This flexible approach and the possibilities of geographic information systems are effective in solving any problems related to spatial information.

Components of geographic information systems are the following:

- hardware;
- software. Geographic information system software contains functions and tools required for storing, analyzing and visualizing spatial information; and
- the data are represented either in the form of ready-made maps with the required thematic layers, or in the form space and aerial images [13, 14].

Geographic information systems and spatial research are directly related to absolute and relative localization of terrain features, as well as to properties and symptoms of these features. Usually, not only localization of important geographical objects such as rivers and currents is recorded, but their size, flow velocity, water quality as well. Indeed, these characteristics often

depend on the spatial location of the terrain features. Geographic information systems help analyze and display these spatial dependencies.

Maps and plans created with the use of the geoinformation technology are products of the new generation. Digital maps and plans may be used for qualitative analysis, for example, in order to determine what lands are located on a specific land plot, or location of the most dangerous enterprises for human health. Besides, maps and plans created with the use of geoinformation technologies allow solving problems that are more complex in a quite simple way. For example, coordinates of the rotation angles of a land plot may be used for obtaining several quantitative characteristics: the area occupied by the project, the lengths of the sides, and the values of the directional angles.

The minimum set of criteria that identify each specific geographic information system forms a "system of coordinates" for the three-dimensional space, the axes of which are the territorial coverage and associated functional scale (or spatial resolution), subject area of information modeling, and problem orientation.

With all the variety of operations, goals, areas of information modeling, problem orientation, and other attributes that are typical for newly created and the existing geographic information systems, several building blocks may be separated logically and organizationally in them, which are also called modules or subsystems that perform more or less clearly defined roles. In turn, the functions of geoinformation systems are derived from four types of solved problems:

1. Collection;
2. Processing; and
3. Modeling and analysis.

Digital and electronic maps serve as the basis for creating, operating and developing geoinformation systems of various levels and topics. Modern computer technology allows fast processing and interpreting large amounts of mapping data of various purpose, content and scale. However, in order to efficiently use the maps and the information contained therein, one has to choose and apply such methods of analysis, synthesis and forecasting that will result in solving the problems [15].

The latest geoinformation technologies allow the use of computerized programs for mathematical and cartographic modeling and traditional methods of mapping implemented with the use of displays and displayed electronic maps.

Geoinformation technology is developed and refined through technical progress, and increasing spatial data. Geographic information systems are being implemented, and disclose new opportunities in the field of spatial planning and forecasting. Specialists in the field of land relations extend the use of geographic information systems to solving their specific problems, and thereby contribute to development of geoinformation technology.

Development of geographic information technologies consists in free creation of any tables to be used for generating databases. To achieve progress in the geoinformation technology, one has to widely use:

- practical implementation of e-government;
- software;
- integration of spatial data;
- development of information resources;
- improving efficiency of local government and planning;
- system accounting and inventory; and
- visibility, accessibility and accuracy of the information.

Refining a geographic information system with account to the graphical and attribute data is of great importance:

- for public authorities: obtaining visual information about land price, the status of quarters and plots; the possibility of analyzing data based on the information about the

percentage ratio of land by kind of ownership, by category; information for preparing analytical reports about efficiency of land use.

- land services: checking correspondence of the cadastral and market value; providing information services to the population and businesses.

- for businesses: obtaining information about the allowed use of land plots; forming output documentation according to standard templates, including a map of site boundaries; performing spatial analysis of the chosen land plot; creating a database about the land plot; providing information services to the population and businesses.

Conclusion. Improving geoinformation technology implies implementation and use of modern software products of the nationwide geographic information system for repeatedly tried and progressive criteria and technologies available in the world community at the moment; it will also, based on spatial information, allow for a more widespread use of land resources, based on the digital geographical and attribute data.

Based on the analysis of spatial data in case of timely and qualitative collection primary data about land resources (quality, area and land distribution), the results of land use, it is necessary to develop interrelated activities that would allow for accumulation of information and its generalization in relevant geoinformation resources at each level of the system.

Formation of geoinformation resources not only allows improving the spatial system, but also raises their informative value, which increases the interest of agricultural enterprises in them. Thus, further improvement of the spatial data by switching to automated technology will, in the end, create all favorable conditions for landowners and land users.

Әдебиеттер:

[1] **Джангарашева, Н.В.,** Таипов Т.А., Кизимбаева А.С. Мониторинг земельных ресурсов на основе автоматизированной информационной системы государственного земельного кадастра: применение геоинформационных технологий // Проблемы агрорынка. – 2025. – № 4. DOI: https://doi.org/10.46666/2025-4.2708-9991.12.

[2] Об информатизации: Закон Республики Казахстан № 217-III от 11 января 2017 года. – С. 3–4.

[3] **Бексеитов, А.** Автоматизированный земельный кадастр // Земельные ресурсы Казахстана. – 2025. – № 6. – С. 23–25.

[4] **Середович, В.А.,** Клюшниченко В.Н., Тимофеева Н.В. Геоинформационные системы: назначение, функции и классификация: монография. – Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2018. – 192 с.

[5] **Vitek, J.D.,** Walsh, S.J., & Gregory, M.S. Accuracy in Geographic Information Systems: An Assessment of Inherent and Operational Errors. – Silver Spring, 2024. – 296 p.

[6] **Гаврилов, Ю.В.** Картографическое проектирование: монография. – Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2023. – 146 с.

[7] **Трифонова, Т.А.,** Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях: учебник. – Москва: Академический проект, 2025. – 352 с.

[8] **Lagacherie, P.,** McBratney, A.B., & Voltz, M. (Eds.). Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. – Amsterdam: Elsevier, 2017. – 600 p.

[9] **Ахметов, Е.М.,** Кунаев М.С. Основы геоинформационных систем: учебник. – Алматы: Издательство «Арыс», 2018. – 208 с.

[10] **Tomlinson, R.F.** Geographic Information System. – London: University of London, 2024. – 444 p.

[11] **Mauyayeva, S.** et al. Improvement of Cadastral Services for Agricultural Land Use under Conditions of Digitalisation in Almaty Region, Kazakhstan // Survey Review. – 2026. DOI: https://doi.org/10.1080/00396265.2026.2721719.

[12] **Zegeye, M.K.** Development of a Cadastral Information System Using a Geographic Information System (GIS): A Case Study of Tepi Town, Southwestern Ethiopia // Journal of Geosciences and Geomatics. – 2019. – Vol. 7. – No. 4. – P. 184–190. DOI: https://doi.org/10.12691/jgg-7-4-3.

[13] **Тарарин, А.М.** Понятие и классификация земельных информационных систем // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2021. – Т. 65. – № 2. – С. 221–231. DOI: https://doi.org/10.30533/0536-101X-2021-65-2-221-231.

[14] **Abdullaev, I.,** Nasirov, A., Pirimov, J., & Abdullaeva, N. Integrated Information System for Cadastre Based on GIS and Web Technologies. – 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/ICISCT55600.2022.10146844.

[15] **Карпик, А.П.** Концепции и закономерности развития землеустройства, кадастра и мониторинга земель // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2019. – Т. 24. – № 3. – С. 141–157. DOI: https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157.

References:

[1] **Dzhangarasheva, N.V.,** Taipov T.A., Kizimbaeva A.S. Monitoring zemel'nyh resursov na osnove avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy gosudarstvennogo zemel'nogo kadastra: primenenie geoinformacionnyh tehnologij // Problemy agrorynka. – 2025. – № 4. DOI: https://doi.org/10.46666/2025-4.2708-9991.12. [in Russian]

[2] Ob informatizacii: Zakon Respubliki Kazahstan № 217-III ot 11 janvarja 2017 goda. – S. 3–4. [in Russian]

[3] **Bekseitov, A.** Avtomatizirovannyj zemel'nyj kadastr // Zemel'nye resursy Kazahstana. – 2025. – № 6. – S. 23–25. [in Russian]

[4] **Seredovich, V.A.,** Kljushnichenko V.N., Timofeeva N.V. Geoinformacionnye sistemy: naznachenie, funkcii i klassifikacija: monografija. – Novosibirsk: Sibirskij gosudarstvennyj universitet geosistem i tehnologij, 2018. – 192 s. [in Russian]

[5] **Vitek, J.D.,** Walsh, S.J., & Gregory, M.S. Accuracy in Geographic Information Systems: An Assessment of Inherent and Operational Errors. – Silver Spring, 2024. – 296 p.

[6] **Gavrilov, Ju.V.** Kartograficheskoe proektirovanie: monografija. – Novosibirsk: Sibirskij gosudarstvennyj universitet geosistem i tehnologij, 2023. – 146 s. [in Russian]

[7] **Trifonova, T.A.,** Mishhenko N.V., Krasnoshhekov A.N. Geoinformacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie v jekologicheskih issledovanijah: uchebnik. – Moskva: Akademicheskij proekt, 2025. – 352 s. [in Russian]

[8] **Lagacherie, P.,** McBratney, A.B., & Voltz, M. (Eds.). Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. – Amsterdam: Elsevier, 2017. – 600 p.

[9] **[9] Ahmetov, E.M.,** Kunaev M.S. Osnovy geoinformacionnyh sistem: uchebnik. – Almaty: Izdatel'stvo «Arys», 2018. – 208 s. [in Russian]

[10] **Tomlinson, R.F.** Geographic Information System. – London: University of London, 2024. – 444 p.

[11] **Mauyayeva, S.** et al. Improvement of Cadastral Services for Agricultural Land Use under Conditions of Digitalisation in Almaty Region, Kazakhstan // Survey Review. – 2026. DOI: https://doi.org/10.1080/00396265.2026.2721719.

[12] **Zegeye, M.K.** Development of a Cadastral Information System Using a Geographic Information System (GIS): A Case Study of Tepi Town, Southwestern Ethiopia // Journal of Geosciences and Geomatics. – 2019. – Vol. 7. – No. 4. – P. 184-190. DOI: https://doi.org/10.12691/jgg-7-4-3.

[13] **Tararin, A.M.** Ponjatie i klassifikacija zemel'nyh informacionnyh sistem // Izvestija vuzov. Geodezija i ajerofotos#jomka. – 2021. – T. 65. – № 2. – S. 221–231. DOI: https://doi.org/10.30533/0536-101X-2021-65-2-221-231. [in Russian]

[14] **Abdullaev, I.,** Nasirov, A., Pirimov, J., & Abdullaeva, N. Integrated Information System for Cadastre Based on GIS and Web Technologies. – 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/ICISCT55600.2022.10146844.

[15] **Karpik, A.P.** Koncepcii i zakonomernosti razvitija zemleustrojstva, kadastra i monitoringa zemel' // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tehnologij. – 2019. – T. 24. – № 3. – S. 141–157. DOI: https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157. [in Russian]

ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІН ЕСЕПКЕ АЛУ ӘДІСТЕМЕСІН ЖЕТІЛДІРУ

Амиржанова Ж.Н., жерге орналастыру және кадастр магистрі
Елеуова Э.Ш., ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор
Алдамбергенова Г.Т., жерге орналастыру және кадастр магистрі

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

Аңдатпа. Жер ресурстарын басқару және жер қатынастары саласында компьютерлік технологияларды жетілдіру мемлекеттің аса маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Бұл міндеттерді тиімді жүзеге асыру ақпараттық технологиялардың заманауи жетістіктерін кеңінен енгізумен тікелей байланысты. Инфрақұрылымның сенімділігі мен басқарылуын арттыру, сондай-ақ үдерістердің барынша ашықтығын қамтамасыз ету геоақпараттық ресурстар мен кеңістіктік деректерді басқару саласында ерекше маңызға ие. Геоақпараттық технологиялар визуализациялау, талдау және модельдеудің қуатты құралдарын ұсынады. Олар қоршаған орта туралы мәліметтерді, өлшеу нәтижелері мен есептеулерді бірыңғай ақпараттық ортада біріктіруге мүмкіндік береді. Сондықтан бұл технологиялар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылып, негізделген басқарушылық шешімдер қабылдаудың маңызды ақпараттық базасы ретінде қызмет етеді. Геоақпараттық технологияларды ауыл шаруашылығы жерлерін есепке алуда қолдану жер туралы ақпараттың дәлдігін, тиімділігін, қолжетімділігі мен ашықтығын арттыруға, сондай-ақ жер ресурстарын орнықты басқаруды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Оларды ауыл шаруашылығы жерлерін есепке алу саласында қолдану кеңістіктік және атрибутивтік деректерді жүйелі түрде жинауға, өңдеуге, жаңартуға және салыстыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл жер-есептік мәліметтердің дәлдігін арттырады, жердің пайдаланылуына үздіксіз мониторинг жүргізуді қамтамасыз етеді, тиімсіз пайдаланылатын аумақтарды анықтауға мүмкіндік береді және ауыл шаруашылығын тұрақты дамыту мен жоспарлау саласында негізделген шешімдер қабылдауға ықпал етеді.

Тірек сөздер: ауыл шаруашылығы жерлері, жерді есепке алу, жер қатынастары, геоақпараттық технологиялар, геоақпараттық ресурстар, кеңістіктік деректер, жер ресурстарын басқару, ауыл шаруашылығы жерлерін есепке алу, геоақпараттық технологиялар.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ УЧЁТА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Амиржанова Ж.Н., магистр землеустройства и кадастра
Елеуова Э.Ш., кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор
Алдамбергенова Г.Т., магистр землеустройства и кадастра,

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан

Аннотация. Управление земельными ресурсами и совершенствование компьютерных технологий в сфере земельных отношений относятся к числу важнейших задач государства. Эффективное решение данных задач непосредственно связано с широким внедрением современных достижений информационных технологий. Повышение надёжности и управляемости инфраструктуры, а также обеспечение максимальной прозрачности процессов имеют особое значение в области управления геоинформационными ресурсами и пространственными данными. Геоинформационные технологии предоставляют широкие возможности для визуализации, анализа и моделирования. Они позволяют объединять сведения об окружающей среде, результаты измерений и расчётов в единой информационной среде. Поэтому данные технологии широко применяются в различных сферах и служат важной информационной основой для принятия обоснованных управленческих решений. Использование геоинформационных технологий при учёте земель сельскохозяйственного назначения позволяет повысить точность, эффективность, доступность и прозрачность земельной информации, а также обеспечить устойчивое управление земельными ресурсами. Их применение для учета земель сельскохозяйственного назначения обеспечивает систематический сбор, обработку, обновление и сопоставление пространственных и

атрибутивных данных. Предлагаемый подход повышает точность земельно-учетных данных, обеспечивает непрерывный мониторинг использования земель, позволяет выявлять неэффективно используемые территории и способствует принятию обоснованных решений в области устойчивого развития и планирования сельского хозяйства.

Ключевые слова: земли сельскохозяйственного назначения, учёт земель, земельные отношения, геоинформационные технологии, геоинформационные ресурсы, пространственные данные, управление земельными ресурсами, учет земель сельскохозяйственного назначения, геоинформационные технологии.

Руководство для авторов по оформлению рукописей

Готовая научная работа для публикации в журнале «Технические науки и технологии» может быть подана автором (авторами) через систему онлайн подачи статей на сайте vestnik.korkyt.kz, используя специальные инструкции. Статья должна быть написана в формате Word в Windows 10 шрифтом Times New Roman (статья, не написанная в соответствии с этим требованием, не будет принята автоматически). Язык публикаций казахский, русский, английский. **Структура и оформление статьи**:

1. Объем статьи в пределах от 6 до 12 страниц (не менее 6 страниц, за исключением аннотаций и списка литературы).

- Схема построения статьи (страница – А 4, книжная ориентация, поля с левой, верхней и нижней сторон – 2,5 м, с парвой – 2,0 мм. Шрифт: тип – Times New Roman, размер (кегль) - 12) (В формате Word в операционной системе Windows 10):

- индекс МРНТИ - первая строка сверху слева (http://grnti.ru); индекс DOI (предоставляется редакцией журнала);

- название статьи – прописными буквами по центру полужирным шрифтом, размер-12;

- инициалы и фамилию автора(ов) – по центру полужирным шрифтом, размер (кегль) – 11 (адрес эл.почты авторов, номер орсид, количество авторов не должно превышать 5 человек);

- полное наименование организации, город, страна – по центру, курсив, размер - 11.

- **Аннотация** на языке оригинала (**150-200** слов; сохраняя структуру статьи) размер-11.

- **Ключевые слова** (на казахском, русском, английском от 5 до 8 слов/словосочетаний) размер (кегль) - 11.

- Основной текст (12 шрифт, межстрочный интервал - 1, отступ «красной строки» - 1,25 см), структура:

2. **Введение**: обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы, определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения работы.

3. **Материалы и методы исследования**: должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

4. В статье нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. В ссылках в тексте указывается в квадратных скобках.

5. **результаты/обсуждение**: приводится анализ и обсуждение полученных результатов исследования.

6. **заключение/выводы:** обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором.

Список литературы (размер (кегль) – 11, количество используемой литературы не менее 15). При наличии в списке литературы работ, представленных на кириллице, список литературы должен быть представлен в двух вариантах: первый - в оригинале, второй - в латинизированном алфавите (транслитерация). Список ссылок в статье должен содержать только рецензируемые литературные источники, литературу с индексом DOI. Список латинизированной литературы должен быть подготовлен через сайт http://www.translit.ru.

7. Сведения об авторах: (должны содержать ФИО автора (ов), полное наименование организации, город, страна, контактные данные: телефон, эл.почта, номер орсид) на 3-х языках.

8. Статья должна обладать не менее 80% уникальности текста для публикаций. В случае если оригинальность статьи ниже 80%, работа будет возвращена автору для исправление и корректировки. После вторичной проверки статья набирает необходимого показателя в антиплагиат, направляется на рассмотрение редакционной коллегии. Статья, не отвечающая соответствующим требованиям, оригинальность который, проверена дважды, к публикации не принимается. После положительного отзыва рецензентов, статья принимается для публикации в журнал и автору направляется уведомление об оплате. Автор обязан отправить квитанцию об оплате на электронную почту редакции. (Technique_Journal@korkyt.kz).

Manual for authors of manuscripts

Ready scientific work for publication in the journal «Technical sciences and technologies» can be submitted by the author (authors) through the system of online submission of articles on the site vestnik.korkyt.kz, using special instructions. The article should be written in Word format in Windows 10 in Times New Roman font (an article not written in accordance with this requirement will not be accepted automatically). Language of publications Kazakh, Russian, English.

Structure and design of the article:

1. The size of the article ranges from 6 to 12 pages at least 6 pages, excluding annotations and bibliography).

- description of the scheme of the article (page - A 4, book orientation, indents are calculated with respect to the left top and bottom sides page margins – 2.5 m, with right - 2.0 m, Standard font: type - Times New Roman, size (font) - 12) (Word format on Windows 10 operating system):
- the ISTIR index is the first line at the top left (http://grnti.ru).
- DOI index (provided by the editorial office);
- title of article – with capital letters, alignment on the center in bold, size (font) 12.
- initials and last name of author(s) - alignment on the center in bold, size (font) – 11, (e-mail address of the authors, orsid number, the number of authors should not exceed 5 people);
- the full name of the organization, city, country, alignment on the center, italic, size (font) - 11.
- **Annotation** in the original language (150-200 words; retaining the structure of the article) size (font) - 11.
- **Keywords** (in Kazakh, Russian, English from 5 to 8 words/phrases) size (font) - 11.
- **Main text** (12 font, line spacing - 1, indentation of red line#- 1.25 cm)
- Structure:

2. **Introduction:** rationale for the selection of the topic; relevance of the topic or problem; definition of the object, subject, objectives, tasks, methods, approaches, hypotheses and meanings of the work.

3. **Research materials and methods:** should consist of a description of the materials and the progress of work, as well as a full description of the methods used.

4. In the article, only those formulas that are referenced in the text are numbered. References in the text are indicated in square brackets.

5**. Results/discussion**: an analysis and discussion of the results of the study is given.

6. **Conclusion/conclusions**: summarizing and summarizing the work at this stage; confirmation of the truth of the assertion put forward by the author.

List of references (size (point size) - 11, the number of used literature is at least 15). If there are works presented in Cyrillic in the list of references, the list of references should be presented in two versions: the first - in the original, the second - in the Latinized alphabet (transliteration). The list of references in the article should contain only peer-reviewed literary sources, literature with a DOI index. The list of romanized literature should be prepared through the site http://www.translit.ru.

7. Information about the authors: (should contain the full name of the author (s), full name of the organization, city, country, contact details: telephone, e-mail, orsid number) in 3 languages.

8. The article must have at least 80% uniqueness of the text for publication. If the originality of the article is below 80%, the work will be returned to the author for correction and correction. After a secondary check, the article gains the required indicator in anti-plagiarism, and is sent for consideration by the editorial board. An article that does not meet the relevant requirements, the originality of which is double-checked, is not accepted for publication. After a positive feedback from the reviewers, the article is accepted for publication in the journal and the author is sent a notification of payment. The author is obliged to send a payment receipt to the editorial office by e-mail (Technique_Journal@korkyt.kz)

МАЗМҰНЫ

Бекетова Г.С., **Калбаев Т.С.** Өндірістік корпоративтік және технологиялық желілерді сегментациялау арқылы ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету 4

Танжариков П.А., **Амангельдиева Г.Б.**, **Махатова Н.Ш.**, **Сарабекова Ұ.Ж.** Төмен қысымды ілеспе мұнай газының айнымалы шығыны жағдайында сорап-эжекторлық жүйенің жұмыс режимдерін реттеу 16

Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Хаджиев А.А. Таулы аймақтағы өзен экожүйелерін далалық зерттеудің әдістемесі мен ақпараттық-өлшеу әдістерін негіздеу 25

Сарабекова Ұ.Ж., Тынымбай Н.Т. Мұнай-газ саласы кәсіпорындарда қауіпті жағдайларды тіркеу арқылы қауіпсіздік мәдениетін қалыптастыру 35

Лязат Ж.Т., **Маман Е.П.**, **Сейфулина С.Р.**, **Азизова М.М.** Ғарыш ортасындағы наноспутник конструкциясының динамикалық мінез-құлқы мен пайдалану сенімділігін зерттеу 47

Амиржанова Ж.Н., Елеуова Э.Ш., Алдамбергенова Г.Т. Геоақпараттық технологиялар негізінде ауыл шаруашылығы жерлерін есепке алу әдістемесін жетілдіру 58

СОДЕРЖАНИЕ

Бекетова Г.С., **Калбаев Т.С.** Обеспечение информационной безопасности путём сегментации производственных корпоративных и технологических сетей 4

Танжариков П.А., **Амангельдиева Г.Б.**, **Махатова Н.Ш.**, **Сарабекова У.Ж.** Регулирование режимов работы насосно-эжекторной системы при переменном расходе попутного нефтяного газа низкого давления 16

Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Хаджиев А.А. Обоснование методики и информационно-измерительных методов полевых исследований речных экосистем в гористой местности 25

Сарабекова У. Ж., Тынымбай Н. Т. Формирование культуры безопасности путем регистрации опасных ситуаций на предприятиях нефтегазовой отрасли 35

Лязат Ж.Т., Маман Е.П., **Сейфулина С.Р., Азизова М.М.** Исследование динамического поведения и эксплуатационной надёжности конструкции наноспутника в условиях космической среды 47

Амиржанова Ж.Н., Елеуова Э.Ш., Алдамбергенова Г.Т. Совершенствование методики учёта земель сельскохозяйственного назначения на основе геоинформационных технологий 58

CONTENT

Beketova G.S., **Kalbayev T.S.** Ensuring information security through segmentation of industrial corporate and technological networks 4

Tanzharikov P.A., Amangeldiyeva G.B., Makhatova N. Sh., Sarabekova U.Zh. Regulation of pump-ejector system operating modes under variable flow of low-pressure associated petroleum gas 16

Vorobyev A.E., Vorobyev K.A., Khadzhiev A.A. Substantiation of the methodology and information-measuring methods for field studies of river ecosystems in mountainous terrain 25

Sarabekova U. Zh., Tynymbay N. T. Formation of a safety culture by registering dangerous situations at enterprises of the oil and gas industry 35

Lyazat Zh.T., Maman Y.P., **Seifulina S.R.**, **Azizova M.M.** Investigation of the dynamic behavior and operational reliability of a nanosatellite structure in the space environmen 47

Amirzhanova Zh.N., Yeleuova E.Sh., Aldambergenova G.T. Improving the method of accounting for agricultural land based on geoinformation technologies 58

Техника ғылымдары
және технологиялар
журналы

Журнал
Технические науки
и технологии

Technical science
and technology
journal

2023 жылдан бастап шығады
Издается с 2023 года
Published since 2023

Жылына төрт рет шығады
Издается четыре раза в год
Issued quarterly

Редакция мекен-жайы:
120014, Қызылорда қаласы,
Әйтеке би көшесі, 29 «А»,
Қорқыт Ата атындағы
Қызылорда университеті

Адрес редакции:
120014, город Кызылорда, ул.
Айтеке би, 29 «А»,
Кызылординский университет
им. Коркыт Ата

Address of edition:
120014, Kyzylorda city,
29 «A» Aiteke bie str.,
Korkyt Ata Kyzylorda
University

Телефон: (7242) 27-60-27
Факс: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Телефон: (7242) 27-60-27
Факс: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Tel: (7242) 27-60-27
Fax: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Құрылтайшысы: «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ
Учредитель: НАО «Кызылординский университет им. Коркыт Ата»
Founder: «Korkyt Ata Kyzylorda University» NJSC

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
берген бұқаралық ақпарат құралын есепке алу куәлігі
алғашқы тіркеу № KZ KZ37VPY00066487 16-наурыз, 2023 ж
қайта тіркеу № KZ44VPY00096431 9-маусым, 2024 ж

Техникалық редакторы: Абуова Н.А.
Компьютерге беттеген Махашов А.А.

Теруге 15.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 27.06.2026 ж. қол қойылды.
Форматы 60 × 841 ⁄ 8. Көлемі 3,2 шартты баспа табақ. Индекс 76216.
Таралымы 50 дана. Тапсырыс 0235 Бағасы келісім бойынша.

Сдано в набор 15.06.2024 г. Подписано в печать 27.06.2024 г.
Формат 60 × 841 ⁄ 8. Объем 3,2 усл. печ. л. Индекс 76216.
Тираж 50 экз. Заказ 0235. Цена договорная.

Жарияланған мақала авторларының пікірі редакция көзқарасын білдірмейді. Мақала мазмұнына автор жауап береді. Қолжазбалар өңделеді және авторға қайтарылмайды. «Техника ғылымдары және технологиялар» журналында жарияланған материалдарды сілтемесіз көшіріп басуға болмайды.

Опубликованные статьи не отражают точку зрения редакции. Автор несет ответственность за содержание статьи. Рукописи редактируются и авторам не возвращаются. Материалы, опубликованные в журнале «Технические науки и технологии», не могут воспроизведены без ссылки.

The published articles do not reflect the editorial opinion. The author is responsible for the content of the article. Manuscripts are edited and are not returned the authors. Materials published in the journal «Technical science and technology» can not be republished without reference.

Университет баспасы, 120014, Қызылорда қаласы, Әйтеке би көшесі, 29А.