

FTAMP 87.33.33

А.А. Рахимберлина¹ – негізгі автор, | ©
С.С. Кудрявцев², П.В. Емелин³, М.Т. Курбанов⁴



¹Докторант, ²Биол. ғылым. канд., доцент, ³Техн. ғылым. д-ры,
⁴Техн. ғылым. канд., доцент

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-5310-5944> ²<https://orcid.org/0000-0002-7232-6304>
³<https://orcid.org/0000-0001-7431-0069> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-2526-9527>



^{1,2}Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қарағанды қ. Қазақстан

³ЖШС «ДӨБҰАК БАО», Қарағанды қ. Қазақстан

⁴Бұхара инженерлік-технологиялық институты,
Бұхара қ. Өзбекстан Республикасы



¹altuwa1986@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/FPFM8417>

СУДЫ ТАЗАРТУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРАТЫН ХИМИЯЛЫҚ ҚАУІПТІ ОБЪЕКТІДЕГІ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПТІ БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Суды дайындаудың технологиялық процесі суды хлорлауды жүзеге асыратын өндірістік объектілердің химиялық қауіпті мәртебесін анықтайтын күшті уландырғыш және экотоксикант болып табылатын хлорды пайдаланумен байланысты. Зерттеудің мақсаты суды хлорлауды өндіретін химиялық қауіпті объектідегі техногендік төтенше жағдайға байланысты экологиялық тәуекелді бағалаудың өзіндік әдістемесін сынақтан өткізу болып табылады. Зерттеу барысында сараптамалық бағалау әдісіне негізделген экологиялық тәуекелді бағалау әдістемесі қолданылды. Экологиялық тәуекел деңгейі химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілігі мен қоршаған ортаның осалдығы көрсеткіштерінің арақатынасы бойынша бағаланды. Бұл әдістемені қолдану химиялық қауіпті объектілердің маңындағы аумақты экологиялық қауіп деңгейіне қарай ғылыми негізделген аймақтарға бөлуге мүмкіндік береді. Хлор ыдысынан 200 м қашықтықта орналасқан жердегі қоршаған орта объектісі үшін тәуекел деңгейі төмен деп бағаланды, бұл, ең алдымен, зерттелетін объектідегі еңбекті қорғауды басқару жүйесінің тиімді жұмысымен және қоршаған ортаның осалдығының төмен деңгейімен байланысты.

Тірек сөздер: химиялық қауіпті объект, авариялық химиялық қауіпті зат, экологиялық қауіпсіздік, хлор, экологиялық қауіп, тәуекелді бағалау, сараптамалық бағалау әдісі.



Рахимберлина, А.А. Суды тазартуды жүзеге асыратын химиялық қауіпті объектідегі экологиялық қауіпті бағалау [Мәтін] / А.А. Рахимберлина, С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, М.Т. Курбанов //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.382-391. <https://doi.org/10.55956/FPFM8417>

Кіріспе. Су дайындау станциясы бастапқы суды тұрмыстық және өнеркәсіптік пайдалануға дайындаудың маңызды нысаны болып табылады. Қазақстан Республикасында ауыз су алудың ең көп таралған технологиясы хлорлау болып табылады. Хлор әдетте суды дезинфекциялау және бактерияларды, вирустарды және басқа микроорганизмдерді жою үшін су

тазарту станцияларында хлорлау процесінде қолданылады. Бұл халықты су арқылы таралатын аурулардың өршуінен қорғау үшін қажет технологиялық процестің негізгі компоненттерінің бірі [1].

Сонымен қатар, хлор жоғары реакциялық және коррозиялық белсенділікке ие [2]. Хлордың жоғары уыттылығы оның ауадағы салыстырмалы түрде төмен концентрацияда да тірі организмдердің өліміне және су ортасына енген кезде улы қосылыстардың пайда болуына әкелу қабілетімен көрсетілген [3].

2022 жылы 27 маусымда Иорданияның Акаба портында 25 тонналық цистернадан хлордың ағып кетуіне байланысты үлкен апат орын алып, 13 адам қаза тауып, 260 адамға улану диагнозы қойылды [4]. Бұл оқиға хлордың қауіпті жағдайда туындауы мүмкін ауыр зардаптарын көрсетеді, бұл химиялық қауіпті объектілерде (ХҚО) авариялық химиялық қауіпті заттардың (АХҚЗ) айналымына байланысты тәуекелдерді бағалау әдістемелерін әзірлеуді өзекті етеді.

Осы бағыттағы көптеген соңғы әзірлемелер хлормен байланысты оқиғаларды, соның ішінде олардың қоршаған ортаға әсерін және олардың негізгі себептерін талдауды мұқият зерттеуді қамтиды. Мұндай апаттарды тергеу кезінде негізгі себептер жүйелі түрде анықталады және жіктеледі, бұл алдын алу шаралары мен ықтималдықты зерттеуді сәтсіздіктерді талдау ағашы мен оқиғаларды талдау ағашын қолдану арқылы біріктіруге мүмкіндік береді [5]. Сонымен қатар, зерттеулер сәтсіздіктерді талдау ағашы сияқты жеткілікті сенімді әдістер болжамның дәлдігін арттырып, тәуекелдерді азайту стратегияларын жақсарту алатын келесі сандық деңгейге өтудің маңыздылығын көрсетеді [6]. Сәтсіздіктерді талдау ағашы жүйенің дизайнын жақсарту және сәтсіздік қаупін азайту мақсатында сәтсіздіктердің себептерін түсіну үшін қолданылады. Бұл әдістеме жүйенің сенімділігін арттыру үшін маңызды болып табылатын сәтсіздік ықтималдығын талдау үшін сапалық және сандық тәсілдерді қоса алғанда, әртүрлі әдістер мен құралдарды пайдаланады [7].

Сәтсіздіктерді талдау ағашы жүйелердің қалай істен шығуы мүмкін екеніне және осы сәтсіздіктердің пайда болу ықтималдығына назар аударады. Бұл әдісте негізгі сәтсіздіктер мен олардың себептері айқын көрсетілген, бұл жүйенің жалпы сәтсіздік ықтималдығын болжауды жеңілдетеді [8, 9]. Сонымен қатар, зерттеушілер алдын алу және азайту шараларын қарастырған кезде апаттардың негізгі себептерінен туындаған салдарды (сәтсіздіктерді талдау ағашымен анықталған) зерттеу үшін оқиғаларды талдау ағашын пайдаланады [10].

Зерттеуде Renjith et al. [11] істен шығуды талдау ағашы хлор-негіз өнеркәсібінің қоймалары мен құю пункттерінен хлордың шығарылу ықтималдығын бағалау үшін пайдаланылды. Бұл әдіс ықтимал қауіптерді анықтауға, атап айтқанда, осындай оқиғаға әкелуі мүмкін барлық ықтимал себептер мен сәтсіздіктерді картаға түсіру арқылы хлордың бөлінуіне құрылымдық тәсілді қамтамасыз етті. Кумар мен Сингх [12] бұл әдісті хлормен байланысты оқиғаларды талдау үшін де қолданды, дегенмен бұл тәсілдің айырмашылығы сарапшылардың пікірлерін біріктіру және сәтсіздік ықтималдығын есептеу үшін α -кесінді аралықтарына негізделген ұқсастықты біріктіру әдісін қолдану болды. Бұл зерттеуден айырмашылығы, сәтсіздіктерді талдау ағашы сәтсіздік ықтималдығын бағалаумен шектелмейді, бірақ әрбір ықтимал оқиғаның салдарын бағалайды, ал

оқиғаларды талдау ағашындағы нәтижелер елеусізден ауыр зардаптарға дейін өзгеруі мүмкін [5].

Экологиялық тәуекелді бағалауға қатысты жоғарыда қарастырылған әдістерді қолдану апаттық жағдайдың ықтималдығын анықтауға мүмкіндік береді, ал АХҚЗ (хлордың) қасиеттері мен қоршаған ортаның осалдығы сияқты маңызды факторлар ескерілмейді.

Ғылыми жұмыстарға жүргізілген талдау зерттелетін мәселенің бөлшектеніп зерттелгенін көрсетті. Соңғы онжылдықта көптеген мақалалар жарияланды, зиянды заттардың физикалық-химиялық [13, 14] және экотоксикологиялық [15] қасиеттерін, қоршаған ортаның осалдығын [16, 17], химиялық кәсіпорындардағы апаттардың себептерін және апатқа әсер ететін факторларды жеке қарастыратын бірқатар әдістер әзірленді [18]. Алайда, оларды түпнұсқа түрінде пайдалану қоршаған ортаға қауіп-қатерді объективті және жан-жақты талдауға мүмкіндік бермейді, өйткені оның кейбір аспектілері зерттелмеген күйінде қалады.

Жүргізілген зерттеудің бірқатар ерекшеліктерін ескере отырып, АХҚЗ қоршаған ортаға авариялық әсер ету қаупін бағалау үшін авторлар әзірлеген әдіснамалық тәсілді қолдану орынды болып көрінеді [19]. Сонымен қатар, бұл химиялық, экологиялық және өнеркәсіптік қауіпсіздік тұрғысынан АХҚЗ апаттық шығарылуымен байланысты экологиялық тәуекелге кешенді талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты суды хлорлауды өндіретін химиялық қауіпті объектіде техногендік төтенше жағдайға (ТЖ) байланысты экологиялық тәуекелді бағалаудың өзіндік әдістемесін сынақтан өткізу болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Қолданылған әдістемеде ең пессимистік сценарий бойынша орын алған бейбіт уақыттағы ТЖ қарастырылады [20]. Бұл сценарий хлормен толтырылған ең үлкен резервуардың толық жойылуын білдіреді, бұл оның толық ағып кетуіне әкеледі [21], бұл қоршаған ортаға ең зиянды әсер.

Апат туралы объективті мәліметтер базасының болмауы, сонымен қатар экологиялық зардаптардың жиілігі мен ауырлығын анықтайтын көптеген салыстыруға келмейтін факторлар және қоршаған ортаның осалдығы сараптамалық бағалау әдісін қарастырылып отырған әдістемеде қолдануды өзекті етеді. Бұл әдістің мәні сарапшылардың пікірлері мен болжамдарын ұйымдасқан түрде жинау, содан кейін алынған жауаптарды өңдеу және нәтижелерді қалыптастыру болып табылады. Зерттеу тобы сараптамалық зерттеудің пәндік саласы мен мақсатын анықтады. Сараптамалық сауалнаманың мақсаты критериялды параметрлердің тізбесін, олардың әсер ету дәрежесін және ХҚО-дегі техногендік сипаттағы ТЖ экологиялық салдарын бағалау үшін олардың мәндерінің маңыздылығын анықтау болды.

Экологиялық тәуекел деңгейі ХҚО-дің экологиялық қауіптілігі мен қоршаған ортаның осалдығы көрсеткіштерінің арақатынасы бойынша бағаланды. ХҚО-дің экологиялық қауіптілік көрсеткіші апаттың орын алу ықтималдығы белгіленген критерийлер бойынша сандық түрде өлшенеді. Қоршаған ортаның осалдығының көрсеткіші техногендік төтенше жағдайдың әсер етуші факторы әсер еткен кезде оның экологиялық сенімсіздік дәрежесін сипаттайды.

Осы көрсеткіштерді анықтаудың егжей-тегжейлі әдістемесі бұрын жарияланған жұмыстарда келтірілген [19,22].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттелетін су алу елді мекеннен тыс оқшауланған жер учаскесінде орналасқан. Бұл ХҚО-ның мақсаты-артезиан ұңғымасынан тұщы су алу және оны құбыр арқылы соңғы тұтынушыларға – Теміртау қ. тұрғындарына және металлургия комбинатының өндірістік объектілеріне тұрмыстық және техникалық мақсаттар үшін жеткізу. Суды хлорлау хлорды контейнерден беру арқылы жүзеге асады, ал судағы хлордың концентрациясын оператор бақылайды және соңғы өнімге қойылатын санитарлық-гигиеналық талаптарға байланысты өзгеруі мүмкін.

ХҚО қауіптілік көрсеткішін анықтау үш кластерге біріктірілген факторлардың жиынтық әсерін анықтаудан тұрады: физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттердің критериялды параметрлерінің және химиялық қауіпті заттардың саны кластері; кәсіпорында қолданылатын жабдықтың критериялды параметрлерінің кластері; кәсіпорында жұмыс істейтін персоналдың критериялды параметрлерінің кластері.

1-кестеде физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттердің критерийлік параметрлері және АХҚЗ саны кластеріне кіретін критерийлік параметрлердің балдық бағалары көрсетілген.

Кесте 1

Физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттерінің көрсеткіштері және АХҚЗ саны бойынша бағалау нәтижелері

Критериялды параметрдің атауы	Ұпайлар
Ұшпалылық	1
Топырақтағы ұтқырлық (тығыздық / тұтқырлық қатынасы)	5
Ұтқырлық (суда ерігіштігі бойынша)	4
Тұрақтылық (жартылай ыдырау кезеңі $BIOWIN_3$)	1
Биоаккумуляция ($\log K_{ow}$)	1
Жедел уыттылық (LC / EC50)	5
Созылмалы уыттылық (NOEC)	5
Сақтау көлемі	1
БАРЛЫҒЫ	23

Хлор жеткізілетін құбырлардың жалпы ұзындығы 120 м құрайды. Барлық жабдықтар техникалық жарамды күйде, барлық қажетті жөндеу жұмыстары белгіленген мерзімдерге сәйкес жүргізіледі, бұл кәсіпорынның апатсыз жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Негізгі құралдардың тозу коэффициенті 0,01-ден аспайды, негізгі құралдарды ауыстыру коэффициенті – 0,95-тен асады.

Суды хлорлау өнімділігі 0-4 кг/сағ (1,262 м³/сағ дейін) хлоратордың көмегімен жүзеге асырылады. Хлор 1000 л сыйымдылығы бар арнайы контейнерде сақталады және беріледі. Технологиялық процесте автоматты өшіру клапандарының болуы қарастырылмаған. Сонымен қатар, бұл технологиялық желі ауадағы хлор концентрациясының жоғарылау датчиктері анықталған жағдайда хлордың берілуін блоктауға мүмкіндік беретін газ талдағыштар жүйесімен жабдықталған. Бұл ХҚО хлорды оқшаулау құралдарының барлық қажетті спектрін, соның ішінде нөсер кәрізін, сілтілі ерітінділерді пайдаланады.

ХҚО-нің барлық қызметкерлері технологиялық жабдықты қауіпсіз пайдалану ережелеріне, химиялық апат болған жағдайда іс-қимылдарға үнемі және уақтылы оқытылады. Кәсіпорындағы технологиялық процесс тәулік

бойы жүзеге асырылады. Операторлардың еңбек және демалыс режимі – тәулік екі күн сайын. Объектінің қауіпсіз жұмыс істеуіне бағытталған нұсқаулықтарды қайта қарау қолданыстағы нормативтерге сәйкес жүзеге асырылады. Барлық қажетті құжаттар толық көлемде бар. Технологиялық процесс автоматты бақылау және мониторинг құралдарымен жабдықталған. Профилактикалық жұмыстар мен жөндеу жұмыстарының сапасы жақсы.

Технологиялық жабдықты пайдалануға және оның қауіпсіз жұмыс істеуіне жауапты ХОО персоналының сауалнамасының нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2

Зерттелетін су алудың технологиялық жабдықтары мен персоналының көрсеткіштері бойынша бағалау нәтижелері

Қолданылатын жабдық бойынша	
Критериалды параметрдің атауы	Ұпайлар
АХҚЗ тасымалдайтын құбыр жүйелерінің ұзындығы, м	3
Негізгі құралдардың тозу коэффициенті, үлесі	1
Негізгі құралдарды ауыстыру коэффициенті, үлесі	1
Сорғылардың (компрессорлардың) өнімділігі, м³/сағ	1
Объектідегі АХҚЗ сақтауға арналған резервуарлардың саны, дана	1
Автоматты жапқыш клапандарының болуы	1
Окшаулау құралдарының болуы	1
БАРЛЫҒЫ	9
Жұмыс істейтін персонал бойынша	
"Қауіпті өндірістік объектілердегі өнеркәсіптік қауіпсіздік" курсы бойынша оқудан өткен ХҚО қызметкерлерінің саны / біліктілікті арттыру (есепті кезеңде), %	1
Өндірістің апатсыз жұмыс істеуіне бағытталған ұйымдастыру іс-шараларын жүргізу	2
БАРЛЫҒЫ	3

1 және 2-кестелерде берілген деректерді пайдалана отырып, одан 200 м қашықтықта орналасқан жер учаскесі үшін зерттелетін су қабылдағышта бар АХҚЗ (хлор) [19,22] үшін экологиялық қауіптілік көрсеткішін (ЭҚК) анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \text{ЭҚКі} = & (0,05 \cdot (1 + 4 + 1) + 0,04 \cdot 5 + 0,06 \cdot (1 + 5) + 0,12 \cdot 5 + 0,17 \cdot 1) + \\ & + (0,037 \cdot 3 + 0,035 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1 + 0,03 \cdot (1 + 1) + 0,033 \cdot 1 + 0,04 \cdot 1) + \\ & + (0,07 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1) = 2,104 \end{aligned}$$

Химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілік көрсеткішінің есептелген мәні [19,22] химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілігінің орташа дәрежесіне сәйкес келеді.

Осы ХҚО-де ықтимал апат болған жағдайда қоршаған ортаның осалдығын бағалау үшін хлор контейнерінен қашықтығы 200 м болатын жер учаскесі таңдалды. ХҚО мен зерттелетін қоршаған орта объектісінің орналасуы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Зерттелетін объектілердің топографиясы

GPS деректері негізінде ХҚО-ден зерттелетін объектіге қарай жер беті көлденең екендігі анықталды. Топырақ су өткізгіш, сүзу коэффициенті тәулігіне 2,1 м құрайды. Бағаланатын учаске пайдаланылмайтын жер учаскелерінде орналасқан.

3-кестеде ХБҰ-де АХҚЗ контейнер бұзылған жағдайда жер учаскесіне (топыраққа) қоршаған ортаның осалдығын анықтайтын критерийлік параметрлердің балдық ұпайлық бағалары келтірілген.

Кесте 3

Қоршаған ортаның осалдығын сипаттайтын көрсеткіштерді бағалау нәтижелері

Критериалды параметрдің атауы	Ұпайлар
Қарастырылып отырған жер учаскесіне (топыраққа), объектіге дейінгі қашықтық, м	3
Жер бетінің көлбеуі	1
Топырақтың су өткізгіштік дәрежесі, м / тәулік	3
Жер учаскесінің (топырақтың), объектінің мақсаты	0
БАРЛЫҒЫ	7

3-кестеде келтірілген деректерді пайдалана отырып, зерттелетін жер учаскесінің осалдық көрсеткішін (ОК) анықтаймыз [19,22]:

$$ОК = 0,4 \cdot 3 + 0,25 \cdot 1 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 0 = 1,9$$

Осалдық көрсеткішінің есептелген мәні [19,22] зерттелетін жер учаскесінің химиялық қауіпті объектіден осалдығының төмен дәрежесіне сәйкес келеді.

Әрі қарай, 4-кестеге сәйкес, тәуекел деңгейін ХҚО-нің қауіптілік көрсеткіштері мен одан қоршаған ортаның осалдығы бойынша анықтаймыз [19,22].

Кесте 4

I-ші жер учаскесі (топырақ), объект немесе су ортасы үшін химиялық қауіпті объектілердегі төтенше жағдайлар нәтижесінде экологиялық зардаптардың тәуекел деңгейін бағалау матрицасы

Қауіп көрсеткіші	Осалдық көрсеткіші				
	0	0-ден 2-ге дейін	2-ден 4-ке дейін	4-тен 6-ға дейін	6-дан астам
0	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ
2 дейін	жоқ	елеусіз	шағын	орташа	жоғары
2-ден 3-ке дейін	жоқ	шағын	орташа	жоғары	жоғары
3-тен 4-ке дейін	жоқ	орташа	жоғары	жоғары	сыни
4-тен 5-ке дейін	жоқ	жоғары	жоғары	сыни	сыни

4-кестеден көрініп тұрғандай, зерттелетін жер учаскесі экологиялық тәуекелдің төмен деңгейіне сәйкес келеді.

Өнеркәсіптік кәсіпорынның айналасындағы көптеген *i*-к жер учаскелері (топырақ), объектілер немесе су ортасы үшін есептеуді жүргізе отырып, химиялық қауіпті объектілердегі төтенше жағдайлар нәтижесінде экологиялық салдарлардың тәуекел деңгейінің әртүрлі мәндері бар картаны құруға мүмкіндік аламыз, ол әрі қарай аймақтың топографиялық картасымен біріктіріледі.

Қорытынды. Химиялық қауіпті объект – су қабылдаудағы ықтимал ТЖ нәтижесінде экологиялық зардаптардың тәуекеліне жүргізілген талдау ағын суды хлорлау үшін пайдаланылатын сұйытылған хлоры бар контейнер орналасқан жерде тікелей тәуекелдің жоғары деңгейін көрсетті. Қоршаған ортаның қалған учаскелері үшін айтарлықтай қауіп анықталған жоқ.

Хлордың қоршаған ортаға әсерін талдау айтарлықтай әсерді анықтауға мүмкіндік бермеді, өйткені қоршаған ортада ол газ күйіне ауысады және ауамен сұйылтылады. Бұл жағдайда оны сулы ортада немесе топырақта жинақтау болмайды.

Зерттелетін су қабылдаудың экологиялық тәуекел деңгейіне қосқан үлесін сипаттайтын критерийлік параметрлерді талдау көп жағдайда олардың минималды мәндерін көрсетті. Бұл технологиялық жабдықты дұрыс ұстаумен, уақтылы қызмет көрсетумен байланысты.

ХҚО-де жұмыс істейтін персонал кластерін талдау еңбек және демалыс режимін 8 немесе 12 сағаттық күнге өзгертуді ұсынуға мүмкіндік береді, бұл сенсорлық органдар мен операторлардың қабылдауына жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Біз қарастырып отырған жағдайда қоршаған ортаның осалдығы хлордың физика-химиялық қасиеттері мен экотоксикологиялық қасиеттеріне және оның мөлшеріне байланысты. Ең алдымен, қарастырылып отырған ХҚО су объектісінен өте алыс қашықтықта екенін атап өткен жөн, ал оның топырақпен немесе сумен адсорбция деңгейі оған ХҚО-де жақын аумаққа және су ортасына әсер етуге мүмкіндік бермейді. Бұл ретте қоршаған ортаның жер үсті объектілері үшін елеулі қауіп анықталған жоқ.

Әдебиеттер тізімі

1. Crider Y.S., Tsuchiya M., Mukundwa et al. Adoption of point-of-use chlorination for household drinking water treatment: a systematic review // *Environmental Health Perspectives*. – 2023. – Vol. 131. – No. 1. – P. 016001.
2. Ediagbonya T.F., Tobin A.E. Toxicological assessment of chlorine concentration in atmospheric particulate matter in Benin City, Nigeria // *Air Quality, Atmosphere & Health*. – 2020. – Vol. 13. – No. 7. – P. 885-891.
3. National Research Council. Committee on Acute Exposure Guideline Levels. Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals. – Washington: National Academy Press, 2012. – Vol. 13. – 293 p.
4. Gritten, D. Toxic gas leak at Jordan's Aqaba port kills 13, injures hundreds. – 2022. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-61950965>. Date of access: 19.02.2025.
5. Crawley, F.A Guide to Hazard Identification Methods. – 2nd ed. – Oxford: Elsevier, 2020. – 256 p.
6. Rbeht D., El-Ali Al-Waqfi M.S., Al-Jarrah J. Qualitative risk assessment in water bottling production: a case study of Maan Nestlé Pure Life factory // *International Journal of Safety and Security Engineering*. – 2023. – Vol. 13. – No. 6. – P. 1025-1038.
7. Bas E. Application of systems theoretic process analysis and failure modes and effects analysis to process reliability and occupational safety and health in construction projects // *International Journal of Safety and Security Engineering*. – 2022. – Vol. 12. – No. 1. – P. 1-11.
8. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: a survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools // *Computer Science Review*. – 2015. – Vol. 15-16. – P. 29-62.
9. Ashraf A.M., Imran W., Vechot L. Analysis of the impact of a pandemic on the control of the process safety risk in major hazards industries using a Fault Tree Analysis approach // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2022. – Vol. 74. – No. 1. – P. 104649.
10. Ramzali N., Lavasani M.R.M., Ghodousi J. Safety barriers analysis of offshore drilling system by employing Fuzzy Event Tree Analysis // *Safety Science*. – 2015. – Vol. 78. – P. 49-59.
11. Renjith V.R., Madhu G., Nayagam V.L.G., Bhasi A.B. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 183. – No. 1-3. – P. 103-110.
12. Kumar M., Singh K. Fuzzy fault tree analysis of chlorine gas release hazard in Chlor-Alkali industry using α -cut interval-based similarity aggregation method // *Applied Soft Computing*. – 2022. – Vol. 125. – P. 109199.
13. Hakkinen J., Kiiski A., Malk V., Myyra M., Penttinen O.-P. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymen laaksossa. Ympäristöriskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta // Final report of the ChemRisk project. – [Electronic resource]. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/264382277_... – Date of access: 07.06.2021.
14. Hakkinen J., Malk V., Posti A., Penttinen O.-P., Makela R., Kiiski A. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas // *WMU Journal of Maritime Affairs*. – 2013. – Vol. 12. – P. 147-160.
15. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf>. – Date of access: 07.06.2021.
16. Andersson S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf>.

17. Shao Ch., Yang J., Tian X., Ju M., Huang L. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2013. – No. 10. – P. 1609-1630.
18. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical analysis of accidents in chemical process industry and lessons learnt // Chemical Engineering Transactions. – 2010. – Vol. 19. – P. 451-456.
19. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites // Environmental Engineering Research. – 2021. – Vol. 26. – No. 4. – P. 100-111.
20. Sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnykh avari, katastrof, stikhiynykh bedstviy v RSChS. Kniga 2. [Collection of Methods for Forecasting Possible Accidents, Disasters, and Natural Catastrophes in the Russian Unified Emergency Response System. Book 2.] – [Electronic resource]. – Access mode: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf>. Date of access: 03.03.2025. [in Russian].
21. Rassledovanie i uchet avari i neschastnykh sluchaev [Investigation and Registration of Accidents and Incidents]: Collection of Documents. Ser. 29, Issue 1. 14th ed. – Moscow: NTC PB JSC, 2010. 220 p. [in Russian].
22. Kudryavtsev S.S., Emelin P.V., Emelina N.K. Metodika otsenki riska dlya okruzhayushchey sredy ot chrezvychaynykh situatsiy na khimicheski opasnykh ob'ektakh [Methodology for assessing environmental risk from emergencies at chemically hazardous facilities] // Occupational Safety in Industry. – 2022. – No. 5. – P. 81-89.

Материал редакцияға 18.04.25 түсті, 27.09.25 қабылданды.

А.А. Рахимберлина¹, С.С. Кудрявцев¹, П.В. Емелин², М.Т. Курбанов³

¹*Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан*

²*ТОО «НАКС ГАЦ», г. Караганда, Казахстан*

³*Бухарский инженерно-технологический институт,
г. Бухара, Республика Узбекистан*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕМ ОЧИСТКУ ВОДЫ

Аннотация. Технологический процесс водоподготовки связан с использованием хлора, являющимся сильным отравляющим веществом и экотоксикантом, что определяет статус производственных объектов, осуществляющих хлорирование воды, как химически опасных. Целью исследования является апробация оригинальной методики оценки экологического риска, связанного с техногенной чрезвычайной ситуацией на химически опасном объекте, производящем хлорирование воды. В исследовании использована методика оценки экологического риска, основанная на методе экспертных оценок. Уровень экологического риска оценивался по соотношению показателей экологической опасности химически опасного объекта и уязвимости окружающей среды. Применение данной методики позволяет научно обоснованно зонировать территорию вблизи химически опасных объектов по уровню экологического риска. Для наземного объекта окружающей среды, находящегося в 200 м от ёмкости с хлором, уровень риска был оценён как малый, что, в первую очередь, связано с

эффективной работой системы управления охраной труда на исследуемом объекте и низким уровнем уязвимости окружающей среды.

Ключевые слова: химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, экологическая безопасность, хлор, экологический риск, оценка риска, метод экспертных оценок.

A.A. Rakhimberlina¹, S.S. Kudryavtsev¹, P.V. Yemelin², M.T. Kurbanov³

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

²*“NAKS GAC” LLP, Karaganda, Kazakhstan*

³*Bukhara Engineering-Technological Institute, Bukhara, Republic of Uzbekistan*

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT AT A CHEMICALLY HAZARDOUS SITE INVOLVED IN WATER TREATMENT

Abstract. The water treatment process involves the use of chlorine, a potent toxic substance and ecotoxicant, which classifies industrial sites that perform water chlorination as chemically hazardous sites. The aim of this study is to test an original methodology for assessing the environmental risk associated with a man-made emergency at a chemically hazardous site engaged in water chlorination. The study employed an environmental risk assessment methodology based on expert evaluation. The environmental risk level was determined by comparing the environmental hazard indices of the chemically hazardous site with its environmental vulnerability. The application of this methodology enables the scientifically grounded zoning of areas surrounding chemically hazardous sites according to environmental risk levels. For the environmental object located 200 meters from the chlorine tank, the risk level was assessed as low. This assessment is mainly attributed to the effective operation of the occupational safety management system at the studied industrial site and the low level of environmental vulnerability.

Keywords: chemically hazardous site, hazardous chemical, chlorine, environmental safety, environmental risk, risk assessment, expert evaluation method.