Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ЖЕРГІЛІКТІ ТОПЫРАҚТЫ ӘРТҮРЛІ ТҰТҚЫР МАТЕРИАЛДАРМЕН НЫҒАЙТУ ЖӘНЕ ЦЕМЕНТ-КҮЛ ҚҰРАМЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Молдабаев Дінмұхаммед[1,*], Есенгабулов Серікболат[1]

[1]«Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[*]Корреспондент автор: moldabayevvv1@gmail.com

Аңдатпа. Жол негіздерінде жергілікті топырақтарды пайдалану тұтқыр материалды ғылыми негізде таңдауды талап етеді, өйткені нығайтудың тиімділігі топырақтың қасиеттеріне, тұтқырдың түрі мен мөлшеріне, ылғалдылыққа және қатаю жағдайларына байланысты. Зерттеудің мақсаты - жергілікті топырақты битуммен, әкпен және цементпен нығайтудың тиімділігін салыстырмалы түрде бағалау, неғұрлым тиімді тұтқырды анықтау және цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы оның шығынын азайту мүмкіндігін бағалау. Зерттеуде 5, 8 және 10% сөндірілмеген әк, сондай-ақ 8, 10 және 12% цемент қолданылған құрамдар қарастырылды. Үлгілердің сығу кезіндегі беріктік шегі мен көлемдік тығыздығы 7 және 28 тәулікте анықталды. БНД 70/100 битумын қолданған кезде қабылданған ыстық араластыру технологиясында біртекті қоспа алу мүмкін болмады. Негізгі тұтқырлар арасында ең жоғары беріктік 12% цементті құрамда алынды: 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Осы құрам кейінгі цемент-күл оңтайландыруы үшін бастапқы нұсқа ретінде қабылданды. Нәтижелер бойынша 10% цемент пен 2% ЖЭО күлі бар құрам ең перспективті болды: оның беріктігі тиісінше 10,707 және 17,840 МПа құрады. Алынған нәтижелер жоғары беріктік деңгейін сақтай отырып цемент шығынын азайтудың практикалық мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: топырақты нығайту, жол негізі, цемент, сөндірілмеген әк, ЖЭО күлі, сығу кезіндегі беріктік шегі, оңтайландыру.

Кіріспе

Жол негіздерінің конструкцияларында жергілікті топырақтарды пайдалану әлсіз материалдарды алмастыру көлемін азайтуға, тас материалдарын тасымалдау қашықтығын қысқартуға және жер жұмыстарына жұмсалатын шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар табиғи құмдақтар мен саздақтар көбіне ылғалдануға жоғары сезімталдықпен, жеткіліксіз көтергіштік қабілетімен және маусымдық мұздау кезінде пайдалану қасиеттерінің төмендеуімен сипатталады. Осыған байланысты жергілікті топырақтарды тұтқыр материалдармен нығайту олардың беріктігін және жол конструкцияларында қолдануға жарамдылығын арттырудың тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады. Мұндай нығайтудың тиімділігі тұтқырдың түрі мен мөлшеріне ғана емес, бастапқы топырақтың қасиеттеріне, ылғалдылыққа, тығыздалу дәрежесіне, қалыптау жағдайларына және қатаю мерзіміне де байланысты [1]. Қазіргі зерттеулерде топырақты нығайту үшін портландцемент, әк, кешенді минералдық және органикалық тұтқырлар қолданылады.

Цемент, әдетте, беріктіктің айқын өсуін қамтамасыз етеді, алайда оның мөлшері мен алынатын әсер арасындағы тәуелділік әрдайым сызықтық сипатта болмайды.

Жекелеген зерттеулерде белгілі бір деңгейден кейін цемент мөлшерін арттыру беріктіктің соған сәйкес өсуіне әкелмеген [1], [2]. Kired және т.б. әртүрлі топырақ түрлерін зерттеу барысында гидравликалық тұтқыр мөлшері артқан сайын беріктік пен көтергіштік қабілетінің жалпы өсетінін анықтағанымен, әсер шамасының бастапқы топырақ қасиеттеріне едәуір тәуелді екенін көрсетті [3].

Әк топыраққа өзгеше әсер етеді: оны қолдану илемділікке, оңтайлы ылғалдылыққа, тығыздалу қабілетіне және кейінгі беріктік жинау сипатына ықпал етуі мүмкін. Бұл ретте әкпен нығайтудың тиімділігі топырақтың құрамы мен қасиеттеріне айтарлықтай тәуелді, ал беріктіктің қалыптасуы цементті жүйелермен салыстырғанда баяуырақ жүруі мүмкін [4], [5]. Өңірлік зерттеулердің нәтижелері де бірдей тұрақтандыру жүйелерінің шығу тегі әртүрлі топырақтарға әрқалай әсер ететінін көрсетеді. Батыс Қазақстанның төрт өңірінің топырақтарын зерттеу бастапқы материал сипаттамаларына байланысты қол жеткізілген беріктік мәндерінің елеулі айырмашылығын көрсетті, бұл дайын құрамдарды бір өңірден екіншісіне тікелей көшіру мүмкіндігін шектейді [7].

Әдеби деректерді талдау ұтымды құрамды анықтау тәсілдерінің де әртүрлі екенін көрсетеді. Кейбір зерттеулерде негізгі критерий ретінде максималды беріктік қабылданса, басқаларында талап етілетін қасиеттерге тұтқырдың ең аз шығынымен қол жеткізу басымдыққа ие. Сондықтан тиімді құрамды таңдау кезінде беріктіктің абсолюттік мәнімен қатар, нақты топырақ жағдайындағы тұтқырды пайдалану тиімділігі де ескерілуі тиіс. Бұл мәселе Қазақстан жағдайында ерекше өзекті, себебі топырақтардың өңірлік әркелкілігі мен шұғыл континенттік климат таңдалған шешімдерді тәжірибелік тексеруді талап етеді.

Оңтайландырудың қосымша бағыты ретінде минералдық компоненттерді пайдалану арқылы портландцемент шығынын азайту қарастырылады. Кешенді минералдық тұтқырларды зерттеу нәтижелері нығайтылған топырақтың қасиеттері тұтқырдың жалпы мөлшеріне ғана емес, оның құрамдастарының арақатынасына да тәуелді екенін көрсетеді [6]. Қарастырылған еңбектерде нығайтылған топырақ жүйелерінде күл-қож материалдарын қолдану мүмкіндігі де зерттелген [2], бұл цемент шығынын азайту кезінде техногендік минералдық ресурстарды пайдалану мүмкіндігін бағалаудың өзектілігін көрсетеді.

Осылайша, қолданыстағы зерттеулер әртүрлі тұтқырлардың тиімділігін растайды, алайда жергілікті топырақ үшін ұтымды құрамды тікелей анықтауға мүмкіндік бермейді және тәжірибелік тексеруді қажет етеді. Белгілі бір топырақ үшін алдымен бірнеше тұтқырдың тиімділігін салыстырып, содан кейін ең нәтижелі жүйеде цементтің бір бөлігін жергілікті минералдық компонентпен алмастыру арқылы оңтайландыруға бағытталған жүйелі тәсіл жеткіліксіз зерттелген.

Зерттеудің мақсаты - жергілікті топырақты нығайту кезінде әртүрлі тұтқырлардың тиімділігін салыстырмалы бағалау, ең тиімді тұтқырды анықтау және беріктіктің барынша жоғары деңгейін сақтай отырып, цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы оның шығынын оңтайландыру.

Әдістеме

Тәжірибелік зерттеу жергілікті топырақты нығайту мақсатында әртүрлі тұтқыр материалдардың тиімділігін салыстырмалы түрде бағалауға және ЖЭО күлін қолдану арқылы цемент шығынын оңтайландыруға бағытталған. Негізгі факторлар тұтқыр материалдың түрі мен құрамы болып табылады, ал цемент-күл қосылыстары үшін – минералды компоненттің тұрақты жиынтық құрамындағы цемент пен күлдің қатынасы. Нәтижелердің салыстырмалы болуын қамтамасыз ету үшін ылғалдылық, үлгілердің геометриясы, қалыптау режимі және сақталу шарттары тұрақты болды. Зерттеу үш кезеңнен тұрады: топырақ пен қолданылатын материалдардың сипаттамасы, цемент, әктас және битум арқылы топырақты нығайтуды салыстырмалы түрде зерттеу, ЖЭО күлін пайдалана отырып цемент шығынын азайту.

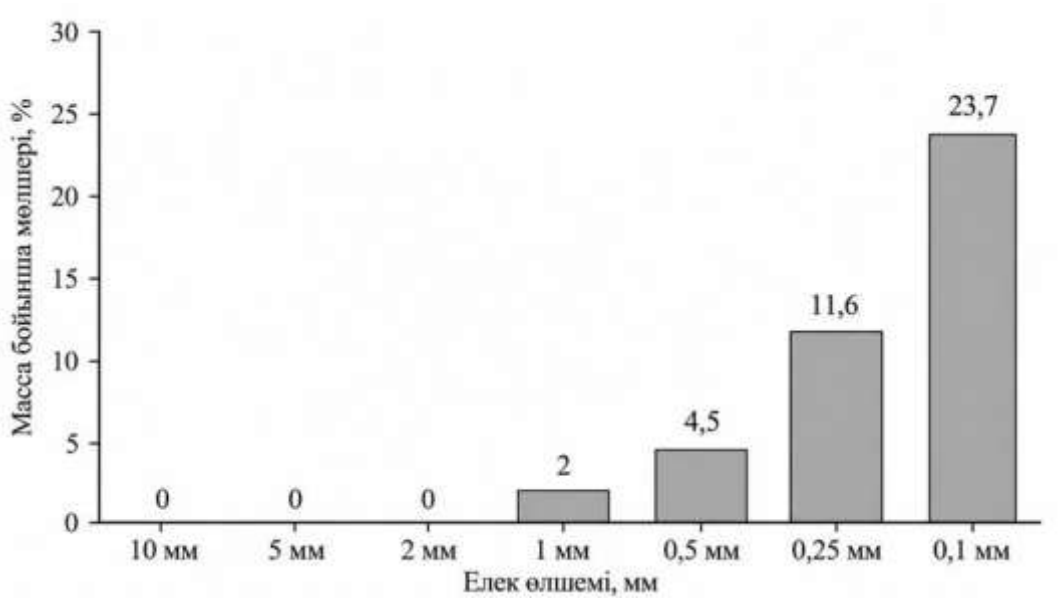
Минералды негіз ретінде Астана қаласының аумағындағы қазаншұңқырдан алынған жергілікті топырақ пайдаланылды.

Бастапқы бақылау кешені топырақтың түйіршіктік құрамын, ылғалдылығын, максималды тығыздығын, оңтайлы ылғалдылығын,аққыштық және созылымдық шектерін анықтауды қамтыды.

Топырақтың түрі ГОСТ 25100-2020 талаптарына сәйкес анықталды, ал түйіршіктік құрамы СТ РК 1273-2004 бойынша белгіленді. Зерттеулер бойынша толтырғышы шаңды – құмайт ретінде жіктелді. Максималды тығыздық пен оңтайлы ылғалдылық СТ РК 1285-2004 бойынша, ал ылғалдылық пен илемділік көрсеткіштері СТ РК 1290-2004 бойынша анықталды.

Кесте 1 – Топырақтың негізгі физикалық сипаттамалары

Көрсеткіш	Мәні	Нормативтік құжат
Топырақ түрі	Шаңды құмайт	ГОСТ 25100-2020
Максималды тығыздығы, г/см^3	1,99	СТ РК 1285-2004
Оңтайлы ылғалдылығы, %	10,7	СТ РК 1285-2004
Ылғалдылығы, %	11,2	СТ РК 1290-2004
Аққыштық шегі, %	15,9	СТ РК 1290-2004
Созылмалық шегі, %	13,89	СТ РК 1290-2004
Илемділік саны	0,02	ГОСТ 25100-2020

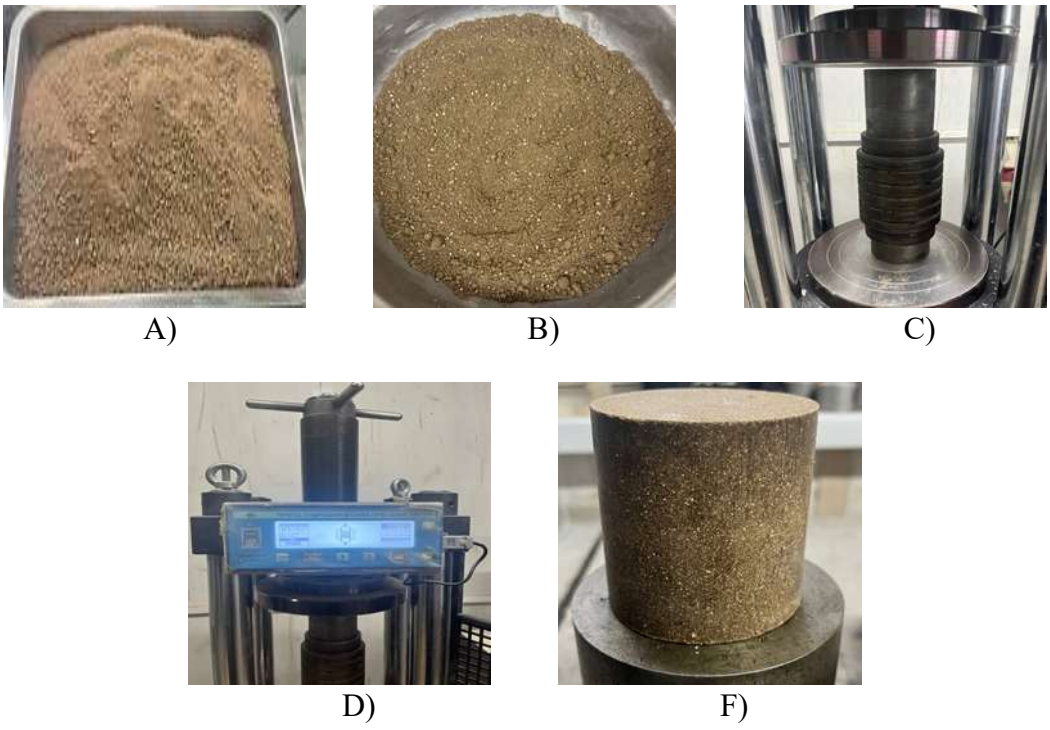


Сурет 1 – Топырақтың түйіршіктік құрамы

Тұтқыр және минералдық компоненттер ретінде 32,5 Н, М400 портландцементі, құрылысқа арналған сөндірілмеген әк, БНД 70/100 маркалы мұнай жол битумы және Астана қаласының ЖЭО-лардың бірінен алынған күл пайдаланылды. Цемент пен әк бейорганикалық тұтқырлар ретінде, битум органикалық тұтқыр, ал ЖЭО күлі цемент-күл құрамдарының минералдық компоненті ретінде қолданылды.

Цементті және әкті топырақпен құрғақ күйде араластырып, кейін біртекті қоспаға айналғанға дейін есептік мөлшердегі су қосу арқылы дайындалды. Барлық тәжірибелік сериялар үшін СТ РК 1285-2004 бойынша анықталған топырақтың оңтайлы ылғалдылығына сәйкес келетін 10,7% бірыңғай технологиялық ылғалдылық қабылданды. Бұл мән салыстырмалы тәжірибенің тұрақты параметрі ретінде пайдаланылады және модификацияланған құрамдардың жеке оңтайлы ылғалдылығы ретінде қарастырылмайды. Битум-топырақ қоспасы БНД 70/100 маркалы тұтқыр мұнай жол битумын қолдану арқылы ыстық күйде араластыру әдісімен дайындалды.

Үлгілерді дайындау зерттеуде қабылданған қалыптау әдістемесі бойынша, п.6.3.1 СТ РК 1218-2024 тармағына сілтеме жасай отырып жүргізілді. Диаметрі 71,4 мм металл цидиндрлік қалып пайдаланылды. Дайылдалған қоспа цилиндрлік қалыпқа салынып, содан ккейін қалып ПГМ-500МГ4А гидравликалық престің плиталарының арасына орнатылды. Қалыптау кезіндегі нақты қысым 20 МПа, жүктеме астында ұстау ұзақтығы 180 секунд болды. Барлық салыстырылатын құрамдар үшін бірдей престеу режимі қолданылды. Престеу аяқталғаннан кейін жүктеме алынып, үлгі қалыптан шығарылып, оның геометриялық параметрлері штангенциркульмен өлшенді. Үлгілердің массасы ВЛГ-МГ4 зертханалық таразысында анықталған болатын.



A) B) C)

D) F)

Сурет 2 – Үлгілерді дайындау процесі: A) Кептірілген топырақ; B) Топырақ және тұтқыр қоспасы; C) Қоспаны қалыптау; D) Престеу режимі; F) Үлгі

Қалыптан шығарылғаннан кейін үлгілер белгіленген сынақ мерзіміне дейін зертханада бөлме температурасында сақталды. Барлық салыстырылатын сериялар бірдей сақтау жағдайларында ұсталып,сынақтар 7 және 28 тәулік мерзімде жүргізілді. Сынақ алдында әрбір үлгінің массасы мен нақты геометриялық өлшемдері анықталып, алынған деректер негізінде қалыпталған үлгінің көлемдік тығыздығы есептелді. Сығу кезіндегі беріктік шегі ПГМ-500МГ4А гидравликалық престе үлгі бұзылғанға дейін жүктеу арқылы анықталды.

Нәтижелер және оларды талқылау

Тұтқыр материалдардың тиімділігі битуммен, әкпен және цементпен нығайту нұсқалары боойынша кезең-кезеңімен бағаланды. Әкті, цементті және цемент-күл құрамдарының әрбір мөлшерлемесі үшін 7 және 28 тәулік мерзімінде үш параллель үлгіден сыналды. Бақылау көрсеткіші ретінде тұтқыр қоспасыз бастапқы топырақ пайдаланылды; оның орташа беріктігі 7 тәулікте 0,876 Мпа, ал 28 тәулікте 2,017 МПа болды.

Битум. БНД 70/100 маркалы тұтқыр мұнай жол битумын алдын ала бағалау нәтижесінде қабылданған ыстық араластыру тәсілінің зерттелетін топырақ үшін бірқатар технологиялық шектеулері анықталды.

Қоспаны дайындау барысында тұтқырдың біркелкі таралуын және минералдық бөлшектердің біртекті қапталуын қамтамасыз ету мүмкін болмады. Битум шығынын одан әрі арттыру қоспаның материал сыйымдылығын ұлғайтып, технологиялық режимді күрделендірер еді. Осыған байланысты беріктік пен көлемдік тығыздықты анықтауға арналған қалыпталған үлгілердің толық сериясы дайындалмады. Алынған нәтиже нақты «БНД 70/100 - зерттелетін топырақ - қабылданған ыстық араластыру технологиясы» жүйесіне қатысты және бейорганикалық тұтқырларды одан әрі зерттеуге көшуге негіз болды.



Сурет 3 – Битум мен топырақтың 6% қатынасы

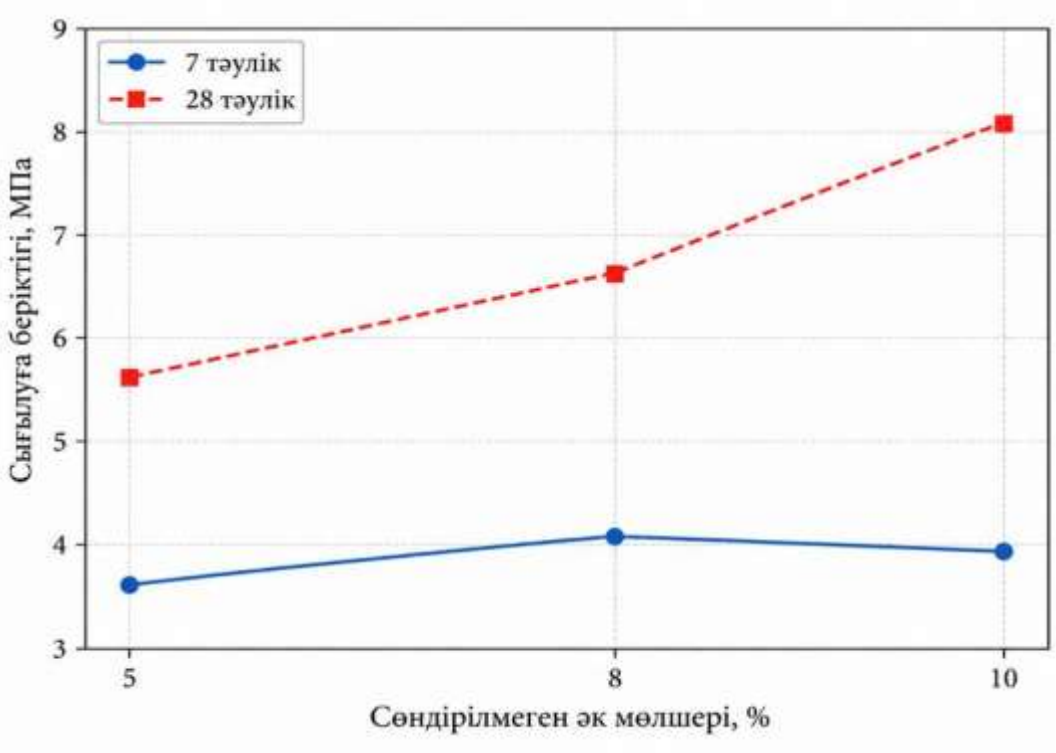
Әк. Әкті нығайтудың тиімділігін бағалау үшін сөндірілмеген әктің мөлшері құрғақ топырақ массасының 5%, 8% және 10%-ы деңгейінде қабылданды. Сыналған барлық үлгілердің нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 - Сөндірілмеген әкпен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Әк мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
5	7	71,0	628,5	2,21	3,593
5	7	70,4	617,3	2,19	3,509
5	7	72,1	643,7	2,23	3,691
5	28	72,0	625,0	2,17	5,608
5	28	70,8	609,5	2,15	5,482
5	28	72,6	636,6	2,18	5,719
8	7	72,0	616,5	2,14	4,091
8	7	71,3	616,6	2,16	3,960
8	7	72,4	614,6	2,12	4,170
8	28	72,0	615,0	2,13	6,616
8	28	71,3	602,4	2,11	6,484
8	28	70,6	607,8	2,15	6,763
10	7	71,0	616,5	2,17	3,922
10	7	70,6	607,8	2,15	3,856
10	7	72,2	630,2	2,18	4,021

10	28	71,0	600,0	2,11	8,059
10	28	70,4	589,1	2,09	7,927
10	28	72,2	615,7	2,13	8,207

Әкті құрамдардың 7 тәуліктегі орташа беріктігі әк мөлшері 5% болғанда 3,598 МПа, 8% болғанда 4,074 МПа және 10% болғанда 3,933 МПа құрады. Ерте мерзімде ең жоғары көрсеткіш 8% әк мөлшерінде алынды; мөлшерін 10%-ға дейін арттыру беріктіктің қосымша өсуін қамтамасыз етпеді. 28 тәулікке қарай орташа беріктік тиісінше 5,603; 6,621 және 8,064 МПа-ға дейін артты. Беріктіктің ең айқын өсуі 10% әк бар құрамда байқалды: 7 тәулікпен салыстырғанда көрсеткіш шамамен 2,05 есе ұлғайды. Әкті үлгілердің көлемдік тығыздығы 2,09–2,23 г/см³ аралығында болды және беріктіктің артуымен салыстырмалы деңгейде өсім байқалмады.



Сурет 4 - Сөндірілмеген әк мөлшерінің 7 және 28 тәуліктегі нығайтылған топырақтың сығылу беріктігіне әсері

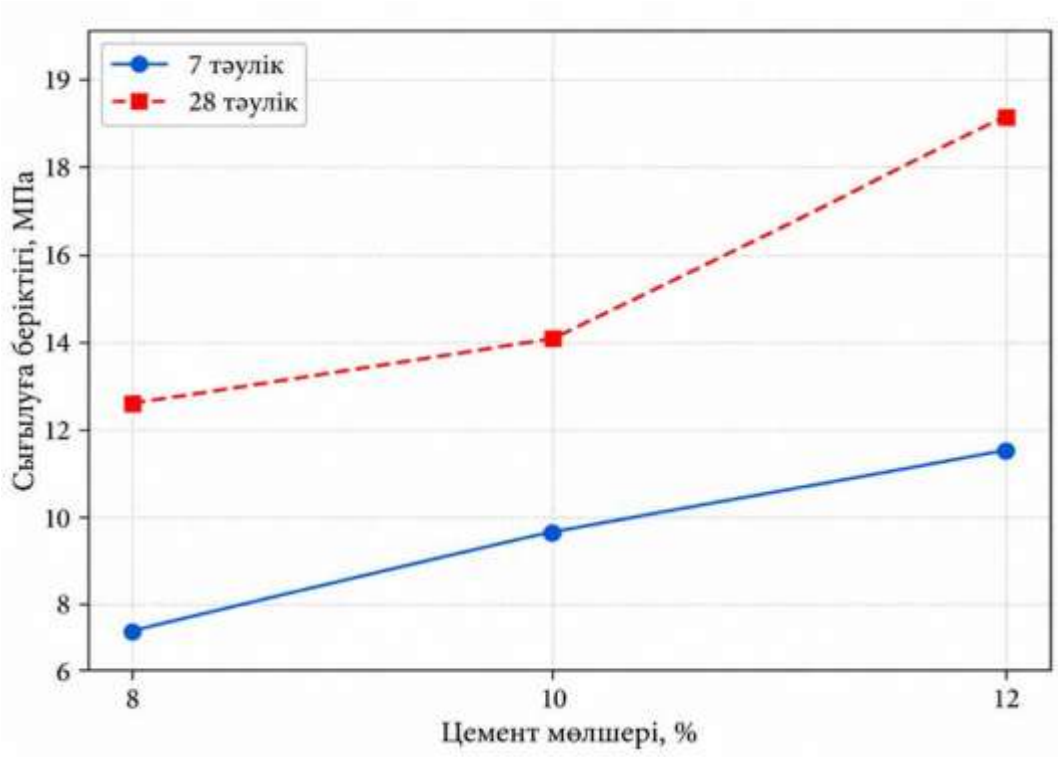
Цемент. Цементпен нығайту құрғақ топырақ массасының 8%, 10% және 12%-ы мөлшеріндегі цемент құрамында зерттелді. Үлгілердің жеке сынақ нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 - Цементпен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Цемент мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
8	7	70,9	640,6	2,26	7,352
8	7	71,6	646,8	2,26	7,233
8	7	70,3	633,8	2,25	7,523
8	28	71,0	635,0	2,23	12,55
8	28	70,6	624,7	2,21	12,43
8	28	72,3	648,4	2,24	12,74
10	7	72,9	649,1	2,22	9,659

10	7	71,7	634,4	2,21	9,478
10	7	70,6	633,2	2,24	9,785
10	28	71,0	625,0	2,20	14,03
10	28	71,8	635,3	2,23	13,92
10	28	70,5	618,2	2,18	14,21
12	7	71,0	637,5	2,24	11,63
12	7	71,0	646,8	2,28	11,43
12	7	71,6	647,3	2,26	11,54
12	28	71,0	630,0	2,22	18,23
12	28	70,5	621,0	2,20	18,12
12	28	72,2	647,5	2,24	18,51

Цементті серия үшін беріктіктің байланыстырғыш мөлшеріне тәуелді бірізді өзгерісі анықталды. 7 тәулік жасында орташа мәндер 8% цемент үшін 7,369 МПа, 10% цемент үшін 9,641 МПа және 12% цемент үшін 11,533 МПа құрады. Бастапқы топырақпен салыстырғанда бұл беріктіктің шамамен 8,4; 11,0 және 13,2 есе артуына сәйкес келеді. 28 тәулікке қарай орташа беріктік тиісінше 12,573; 14,053 және 18,287 МПа-ға дейін артты. Сынақтың екі мерзімінде де ең жоғары мән 12% цемент мөлшерінде алынды.



Сурет 5 – Цемент мөлшерінің 7 және 28 тәулік жасындағы нығайтылған топырақтың беріктігіне әсері

Цемент мөлшерін арттыру беріктіктің айқын өсуімен қатар жүрді, алайда бұл тәуелділік қатаң сызықтық сипатта болмады. Цемент мөлшері 8%-дан 10%-ға дейін арттырылғанда 7 тәуліктегі беріктік шамамен 30,8%-ға, ал 10%-дан 12%-ға дейін арттырылғанда тағы 19,6%-ға өсті. 28 тәуліктік үлгілер үшін сәйкес өсім шамамен 11,8 және 30,1% құрады. Бұл ретте көлемдік тығыздық едәуір аз өзгерді.

Мысалы, 7 тәуліктегі 8% және 12% цементті құрамдардың орташа тығыздығы тиісінше 2,257 г/см³ және 2,260 г/см³ болды, ал олардың беріктік мәндерінің айырмашылығы 4 МПа-дан астамды құрады.

Бастапқы құрам. Нәтижелерді салыстыру кезінде цементтің сөндірілмеген әкке қарағанда жоғары беріктікпен қамтамасыз еткенін көрсетті. Тұтқыр мөлшері 8% болғанда цементті құрамның орташа беріктігі әкті құрамнан 7 тәулікте шамамен 1,81 есе, ал 28 тәулікте 1,90 есе жоғары болды. 10% мөлшерінде бұл айырмашылық тиісінше шамамен 2,45 және 1,74 есе құрады. Салыстырмалы сериядағы ең жоғары мәндер 12% цементті құрам үшін алынды - 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Сондықтан бұл құрам келесі зерттеу кезеңі үшін түпкілікті оңтайлы құрам ретінде емес, бастапқы құрам ретінде қабылданды. Келесі кезеңнің міндеті қол жеткізілген беріктік деңгейін барынша сақтай отырып, цемент шығынын төмендету болды.

ЖЭО күлін қолдану арқылы цементті құрамды оңтайландыру. Ресурстық оңтайландыру мақсатында цементтің бір бөлігі ЖЭО күлімен алмастырылды, бұл ретте цемент пен күлдің жалпы мөлшері құрғақ топырақ массасының 12%-ы деңгейінде тұрақты сақталды. Зерттелген серияға 12% цементтен тұратын бастапқы құрам, сондай-ақ 10% цемент + 2% ЖЭО күлі, 8% цемент + 4% ЖЭО күлі және 6% цемент + 6% ЖЭО күлі құрамдары енгізілді.



А)



В)

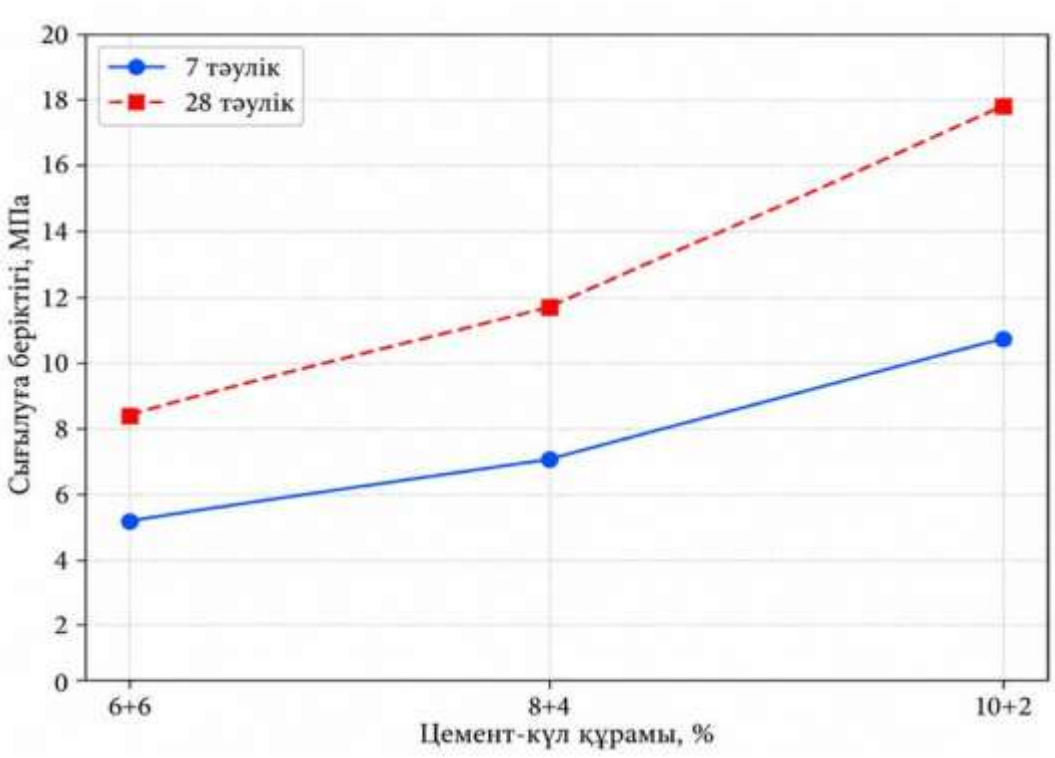
Сурет 6 - ЖЭО күлін қолдану арқылы цементті құрамды оңтайландыру: А) ЖЭО күлі; В) Топырақ, цемент және ЖЭО қосындысы

Кесте 4 – Цемент және ЖЭО күлімен нығайтылған топырақты сынау нәтижелері

Цемент мөлшері, %	Жасы, тәулік	Биіктігі, мм	Масса, г	Көлемдік тығыздығы, г/см^3	Сығу кезіндегі беріктік шегі, МПа
Ц10%+К2%	7	71,0	637,5	2,24	11,63
Ц10%+К2%	7	71,0	646,8	2,28	11,43
Ц10%+К2%	7	71,6	647,3	2,26	11,54
Ц10%+К2%	28	71,0	630,0	2,22	18,23
Ц10%+К2%	28	70,5	621,0	2,20	18,12
Ц10%+К2%	28	72,2	647,5	2,24	18,51
Ц8%+К4%	7	71,0	628,8	2,212	10,160
Ц8%+К4%	7	70,8	628,1	2,216	10,920
Ц8%+К4%	7	71,4	633,0	2,214	11,040
Ц8%+К4%	28	71,0	622,6	2,190	17,720

Ц8%+К4%	28	71,4	628,9	2,200	17,860
Ц8%+К4%	28	70,8	618,0	2,180	17,940
Ц6%+К6%	7	71,0	627,2	2,206	7,046
Ц6%+К6%	7	71,2	628,4	2,204	7,118
Ц6%+К6%	7	70,7	622,9	2,200	6,982
Ц6%+К6%	28	71,2	621,5	2,180	11,580
Ц6%+К6%	28	70,7	614,3	2,170	11,730
Ц6%+К6%	28	71,6	627,8	2,190	11,790

Алынған цемент-күл сериясының нәтижелері цемент мөлшері азайып, ЖЭО күлінің үлесі артқан сайын беріктіктің төмендейтінін көрсетті. 7 тәулікте 10% цемент және 2% күл қосылған құрамның орташа беріктігі 10,707 МПа, 8% цемент және 4% күл қосылған құрамда 7,049 МПа, ал 6% цемент және 6% күл қосылған құрамда 5,199 МПа болды. 12% цементтен тұратын базалық құрамның беріктігі 11,533 МПа құрады. Осылайша, бастапқы құрамға ең жақын нәтиже цементтің 2%-ын күлмен алмастырған жағдайда алынды: беріктік айырмашылығы 0,826 МПа болды.



Сурет 6 – Цемент және ЖЭО күл мөлшерінің 7 және 28 тәулік жасындағы нығайтылған топырақтың беріктігіне әсері

28 тәулікке қарай барлық цемент-күл құрамдарының орташа беріктігі артты. 10% цемент және 2% күл қосылған құрамның беріктігі 17,840 МПа-ға, 8% цемент және 4% күл қосылған құрамда 11,700 МПа-ға, ал 6% цемент және 6% күл қосылған құрамда 8,423 МПа-ға жетті. 12% цементтен тұратын базалық құрамның беріктігі 18,287 МПа болды.

Бұл ретте базалық құрам мен 10% цемент + 2% күл құрамының арасындағы айырмашылық небәрі 0,447 МПа болды, ал күл мөлшері одан әрі артқанда айырмашылық тиісінше 6,587 және 9,864 МПа-ға дейін өсті.

7 тәуліктен 28 тәулікке дейін 10% цемент және 2% күл құрамының беріктігі 7,133 МПа-ға, 8% цемент және 4% күл құрамында 4,651 МПа-ға, ал 6% цемент және 6% күл құрамында 3,224 МПа-ға артты. Бұл цементтің күлмен алмастырылу дәрежесі төмен болған кезде беріктіктің уақыт өте келе өсуі анағұрлым айқын сақталатынын көрсетеді.

Цемент-күл құрамдарының көлемдік тығыздығы салыстырмалы түрде аз өзгерді. 7 тәулікте орташа мәндер 10% цемент + 2% күл, 8% цемент + 4% күл және 6% цемент + 6% күл құрамдары үшін тиісінше 2,214; 2,203 және 2,180 г/см³ болды. 28 тәулікте бұл көрсеткіштер сәйкесінше 2,190; 2,180 және 2,160 г/см³ құрады. Демек, күл үлесі артқан кезде байқалған беріктіктің төмендеуі көлемдік тығыздықтағы өзгерістерге қарағанда анағұрлым айқын болды. Сынақтарды бағалау барысында ең ұтымды көрсеткіштер 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрамнан алынды. Оның 28 тәуліктегі беріктігі 17,840 МПа болып, 12% цементтен тұратын базалық құрамнан небәрі 0,447 МПа-ға төмен болды. Цемент мөлшерін 8 және 6%-ға дейін одан әрі азайтқанда беріктіктің төмендеуі айқынырақ байқалды. Сондықтан 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрам кейінгі бағалау және нақты сынақ нәтижелерімен растау үшін ең перспективалы нұсқа ретінде қарастырылады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу жергілікті топырақты нығайту кезінде қолданылған тұтқырлардың тиімділігі айтарлықтай айырмашылықтары бар екенін көрсетті. Қабылданған ыстық араластыру технологиясы бойынша БНД 70/100 маркалы тұтқыр жол битумын қолдану біртекті қоспа алуға мүмкіндік бермеді, сондықтан бұл нұсқа бойынша кейінгі сандық сынақтар жүргізілген жоқ.

Сөндірілмеген әк топырақтың беріктігін арттырды, алайда абсолюттік көрсеткіштері бойынша цементпен нығайтудан төмен нәтиже көрсетті. Цементті құрамдарда цемент мөлшері артқан сайын беріктіктің тұрақты өсуі байқалды. Ең жоғары көрсеткіштер 12% цемент қолданылған құрамда алынды: 7 тәулікте 11,533 МПа және 28 тәулікте 18,287 МПа. Осы нәтижелер негізінде 12% цементті құрам кейінгі оңтайландыру кезеңі үшін бастапқы құрам ретінде қабылданды.

Цемент-күл құрамдарын алдын ала бағалау цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыра отырып, жоғары беріктік деңгейін сақтауға болатынын көрсетті. Ең перспективті нәтиже 10% цемент және 2% ЖЭО күлі бар құрамда алынды: орташа беріктік 7 тәулікте 10,707 МПа, ал 28 тәулікте 17,840 МПа болды. Бұл көрсеткіштер 12% цементтен тұратын базалық құрамның нәтижелеріне жақын. Күл мөлшерін 4 және 6%-ға дейін арттырған кезде беріктіктің анағұрлым айқын төмендеуі байқалды.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы жергілікті топырақты нығайту кезінде цементтің бір бөлігін ЖЭО күлімен алмастыру арқылы портландцемент шығынын азайту мүмкіндігімен анықталады. Мұндай тәсіл нығайтылған жол негізінің материал сыйымдылығын төмендетуге және сонымен қатар екінші реттік минералдық материалды жол құрылымдарында пайдалануға мүмкіндік береді.

Кейінгі зерттеулерде цемент-күл құрамдарының нәтижелерін толық көлемдегі нақты сынақтармен растау, таңдалған құрамның ұзақ мерзімді беріктігін, ылғал әсеріне және циклдік мұздату-ерітуге төзімділігін бағалау ұсынылады. Сонымен қатар цемент-күлмен нығайтылған топырақ құрылымын зерттеу және цементті ЖЭО күлімен ішінара алмастырудың техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау перспективті бағыт болып табылады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Roshan M. J., Rashid A. S. B. A. Geotechnical characteristics of cement stabilized soils from various aspects: a comprehensive review//Arabian Journal of Geosciences.- 2024.- Vol. 17.- Art. 1.- DOI: https://doi.org/10.1007/s12517-023-11796-1

2. Slobodchikova N. A., Pljuta K. V., Gorelov A. V., Kljuev S. V., Leonov D. I. Razrabotka sostavov gruntov, ukreplennyh neorganicheskimi vjazhushhimi materialami//Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura.- 2025.- №10 (65).- C.1-8.- DOI: https://doi.org/10.60797/mca.2025.65.2

3. Kired F., Šešlija M., Milović T., Starčev-Ćurčin A., Bulatović V., Radović N. Stabilization of different soil types using a hydraulic binder//Buildings.- 2023.- Vol. 13, №8.- Art. 2040.- DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13082040

4. Gruchot A., Kamińska K., Woś A. The effects of lime and cement addition on the compaction and shear strength parameters of silty soils//Materials.- 2025.- Vol. 18, №5.- Art. 974.- DOI: https://doi.org/10.3390/ma18050974

5. Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed//Construction of Unique Buildings and Structures.- 2022.- №105.- Art. 10503.- DOI: https://doi.org/10.4123/CUBS.105.3

6. Simchuk E. N., Zhdanov K. A., Zarifov R. R. Issledovanie jeffektivnosti kompleksnyh mineral'nyh vjazhushhih v ukreplenii gruntov dlja dorozhnyh konstrukcij//Dorogi i mosty.- 2023.- №50-2.- C.309-322

7. Smagulova M., Dyussembinov D., Kang J. K., Zhumagulova A., Zhumamuratov M. The influence of stabilizers on the strength characteristics of soils in the Western Kazakhstan region//Technobius.- 2025.- Vol. 5, №3.- Art. 0084.- DOI: https://doi.org/10.54355/tbus/5.3.2025.0084

8. Ignat'ev A. A. Ocenka vlijanija izvesti pri ukreplenii peska melkogo na vremja ego vyderzhivanija pri optimal'noj vlazhnosti//Umnye kompozity v stroitel'stve.- 2024.- T. 5, вып. 3.- C.53-64.- DOI: https://doi.org/10.52957/2782-1919-2024-5-3-53-64

9. de Medeiros A. S., da Silva M. A. V. Influence of emulsion type and moisture on the stiffness of stabilized granular soil//Civil Engineering Journal.- 2025.- Vol. 11, №6.- P.2282-2302.- DOI: https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-06-07

10. Cui G., Zhuo C., Sun F., Ma S., Liu Z. Mechanical properties and neural network prediction of cement fly ash-enhanced roadbed soil in seasonal frozen zones under short-term curing//KSCE Journal of Civil Engineering.- 2024.- Vol. 28, №1.- P.106-123.- DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-023-2077-6

Авторлар туралы мәліметтер:

Д.С. Молдабаев - 7М07361 «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын және конструкцияларын өндіру» білім беру бағдарламасының магистранты, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, yessengabulov_sk@enu.kz

Д.С. Молдабаев - магистрант образовательной программы 7М07361 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, yessengabulov_sk@enu.kz

D. Moldabayev - Master's student of the educational program 7M07361 "Production of Building Materials, Products and Structures", Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, moldabayevvv1@gmail.com

С.К. Есенгабулов - Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, yessengabulov_sk@enu.kz

Авторлардың үлесі:

Д.С. Молдабаев - зерттеу жұмыстарын орындау, зертханалық сынақтарды жүргізу, эксперименттік деректерді жинау және өңдеу, нәтижелерді талдау, кестелер мен графикалық материалдарды дайындау, алынған нәтижелерді интерпретациялау, мақаланың бастапқы мәтінін жазу және рәсімдеу.

С.К. Есенгабулов - зерттеу тұжырымдамасы мен әдіснамасын қалыптастыру, ғылыми жетекшілік ету, зерттеу нәтижелерін талқылау және интерпретациялау, мақаланың ғылыми мазмұнын тексеру, редакциялау және түпкілікті нұсқасын мақұлдау.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Жасанды интеллектті (AI) пайдалану: Бұл мақаланы дайындау барысында жасанды интеллект құралдары пайдаланылған жоқ.

УКРЕПЛЕНИЕ МЕСТНОГО ГРУНТА РАЗЛИЧНЫМИ ВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО СОСТАВА

Молдабаев Динмухаммед[1,*], Есенгабулов Серикболат[1]

[1]Кафедра «Технология промышленного и гражданского строительства», Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

[*]Корреспондент автор: moldabayevvv1@gmail.com

Аннотация. Использование местных грунтов в конструкциях дорожных оснований требует научно обоснованного выбора вяжущего материала, поскольку эффективность укрепления зависит от свойств грунта, вида и содержания вяжущего, влажности и условий твердения. Целью исследования являлась сравнительная оценка эффективности укрепления местного грунта битумом, известью и цементом, определение наиболее эффективного вяжущего, а также оценка возможности снижения расхода цемента за счет частичной замены его золой ТЭЦ. В исследовании рассматривались составы с содержанием негашеной извести 5, 8 и 10%, а также цемента 8, 10 и 12%. Предел прочности при сжатии и объемную плотность образцов определяли в возрасте 7 и 28 суток. При применении битума марки БНД 70/100 вследствие его высокой вязкости не удалось получить однородную смесь. Наиболее высокие значения прочности среди основных вяжущих были получены при содержании цемента 12% и составили 11,533 МПа в возрасте 7 суток и 18,287 МПа в возрасте 28 суток. Данный состав был принят в качестве исходного для последующей оптимизации цементно-зольной смеси. По результатам исследования наиболее перспективным оказался состав, содержащий 10% цемента и 2% золы ТЭЦ, прочность которого составила соответственно 10,707 и 17,840 МПа. Полученные результаты свидетельствуют о практической возможности снижения расхода цемента при сохранении высокого уровня прочности укрепленного грунта.

Ключевые слова: укрепление грунта, дорожное основание, цемент, негашеная известь, зола ТЭЦ, предел прочности при сжатии, оптимизация.

STABILIZATION OF LOCAL SOIL WITH VARIOUS BINDING MATERIALS AND OPTIMIZATION OF A CEMENT–FLY ASH COMPOSITION

Dinmukhammed Moldabayev[1,*], Serikbolat Yessengabulov[1]

[1]Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[*]Corresponding author: moldabayevvv1@gmail.com

Abstract. The use of local soils in road base structures requires a scientifically justified selection of a binding material, since stabilization efficiency depends on the soil properties, the type and content of the binder, moisture conditions, and curing conditions. The aim of this study was to comparatively evaluate the effectiveness of stabilizing local soil with bitumen, lime, and cement, to determine the most effective binder, and to assess the possibility of reducing cement consumption by partially replacing it with thermal power plant fly ash. The study considered mixtures containing 5, 8, and 10% quicklime, as well as 8, 10, and 12% cement. The compressive strength and bulk density of the specimens were determined after 7 and 28 days of curing. When BND 70/100 bitumen was used, its high viscosity prevented the production of a homogeneous mixture. Among the main binders, the highest strength values were obtained with 12% cement, reaching 11.533 MPa after 7 days and 18.287 MPa after 28 days.

This composition was selected as the reference mixture for subsequent optimization of the cement–fly ash system. According to the results, the most promising composition contained 10% cement and 2% thermal power plant fly ash, with compressive strength values of 10.707 and 17.840 MPa after 7 and 28 days, respectively. The obtained results demonstrate the practical feasibility of reducing cement consumption while maintaining a high strength level of the stabilized soil.

Keywords: soil stabilization, road base, cement, quicklime, thermal power plant fly ash, compressive strength, optimization.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).