

UDC 624
IRSTI 67.01.05
RESEARCH ARTICLE

METHODS OF INJECTION STRENGTHENING OF FOUNDATIONS IN CONSTRUCTION

B.M. Aubakirova* 

International Educational Corporation, 050043, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article discusses the problems of strengthening strip foundations of buildings and structures. In accordance with the main reasons for strengthening foundations and artificially improving the construction properties of the soil foundation, the reserves and reserves of the bearing capacity of the soil foundation were assessed by analyzing the results of the technical condition of the building and analyzing its physical condition and mechanical characteristics. The exact dimensions of the foundation structures, their condition and the loads acting on them were determined, and the geological and hydrogeological conditions of the surrounding area were studied. A classification of methods for strengthening foundations and artificially improving the construction properties of the soil foundation is given; it is proven that strengthening methods depend on the design features of the building, types of foundations, operating loads, engineering-geological and hydrogeological conditions. In addition to the need to strengthen, as well as the capabilities and technical equipment of organizations performing this type of work, there are many other methods. Pile reinforcement methods are one of the most effective types of foundations. Research has proven that piles are not used to strengthen foundations, since the resulting dynamic impacts can lead to additional settlement of the building being restored. The study noted the basic requirements for reliable strengthening of the foundation and artificial improvement of the construction properties of the soil foundation, especially when water-saturated salty clay soils are formed at the base of the building.*

Keywords: *pile foundation, injection pile, silt-clay soil, controlled expansion, solution composition.*

***Corresponding author**

Bakhyt Aubakirova, e-mail: b.aubakirova@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-04>

Received 16 January 2024; Revised 26 February 2024; Accepted 13 March 2024

ӘОЖ 624
ҒТАМР 67.01.05
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

ҚҰРЫЛЫС САЛАЛАРЫНДАҒЫ ІРГЕТАСТАРДЫ ИНЪЕКЦИЯЛЫҚ КҮШЕЙТУ ӘДІСТЕРІ

Б.М. Аубакирова* 

Халықаралық білім беру корпорациясы, 050043, Алматы, Қазақстан

Андатпа. Мақалада ғимараттар мен құрылыстардың таспалы іргетастарын нығайту мәселесі қарастырылған. Іргетастарды нығайтудың және оның құрылыс қасиеттерін жасанды түрде жақсартудың негізгі себептеріне сәйкес, құрылыстың техникалық жағдайының нәтижелерін талдау және оның физикалық жағдайын зерттеу арқылы топырақ іргетасының көтергіштігінің және механикалық қасиеттері сипатталған. Іргетас құрылымдарының нақты өлшемдері, олардың жай-күйі және оларға әсер ететін жүктемелер анықталды, айналадағы аумақтың геологиялық және гидрогеологиялық жағдайлары зерттелді. Іргетастарды нығайту және топырақ іргетасының құрылыс қасиеттерін жасанды түрде жақсарту әдістерінің классификациясы келтірілген, ғимараттың жобалық ерекшеліктеріне байланысты нығайту әдістері қарастырылып, іргетастардың түрлеріне, пайдалану аясына және оған түсетін жүктемелері, іргетастардың инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық жағдайларға байланысты екендігі дәлелденген. Осы жұмыс түрін орындайтын ұйымдардың мүмкіндіктері мен техникалық жарақтандырылуымен қатар, күшейту қажеттілігінен басқа, көптеген басқа әдістер бар. Қаданы нығайту әдістері іргетастың ең тиімді түрлерінің бірі болып табылады. Зерттеулер қадалардың іргетастарды нығайту үшін пайдаланылмайтынын дәлелдеді, өйткені нәтижесінде пайда болатын динамикалық әсерлер қалпына келтірілетін ғимараттың қосымша отыруына әкелуі мүмкін. Зерттеу барысында іргетастың сенімді нығаюына және топырақ іргетасының құрылыс қасиеттерін жасанды түрде жақсартуға қойылатын негізгі талаптар атап өтілді, әсіресе ғимараттың табанында суға қаныққан лайлы сазды топырақтар пайда болған кезде.

Түйін сөздер: қадалы іргетас, инъекциялық қада, шаңды-сазды топырақ, бақыланатын кеңею, ерітінді құрамы.

*Автор-корреспондент

Бахыт Аубакирова, e-mail: b.aubakirova@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-04>

Алынды 16 қаңтар 2024; Қайта қаралды 26 ақпан 2024; Қабылданды 13 наурыз 2024

УДК 624
МРНТИ 67.01.05
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

МЕТОДЫ ИНЪЕКЦИОННОГО УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Б.М.Аубакирова* 

Международная образовательная корпорация, 050043, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос укрепления ленточных фундаментов зданий и сооружений. В соответствии с основными причинами укрепления фундамента и искусственного улучшения его строительных свойств, описаны несущие и механические свойства почвенного фундамента путем анализа результатов технического состояния сооружения и изучения его физического состояния. Определены точные размеры фундаментных сооружений, их состояние и действующие на них нагрузки, изучены геологические и гидрогеологические условия окружающей территории. Приведена классификация методов укрепления фундаментов и искусственного улучшения строительных свойств земляного фундамента, рассмотрены методы укрепления в зависимости от конструктивных особенностей здания, доказана зависимость от типов фундаментов, сферы эксплуатации и очаг нагрузок, инженерно-геологических и гидрогеологических условий фундаментов. Наряду с возможностями и техническим оснащением организаций, выполняющих этот вид работ, помимо необходимости усиления, существует множество других методов. Методы укрепления свай являются одними из самых эффективных типов фундаментов. Исследования доказали, что сваи не используются для укрепления фундаментов, поскольку возникающие в результате динамические эффекты могут привести к дополнительному сидению восстанавливаемого здания. В ходе исследования были отмечены основные требования к надежному укреплению фундамента и искусственному улучшению строительных свойств земляного фундамента, особенно при образовании в основании здания насыщенных водой илистых глинистых грунтов.

Ключевые слова: свайный фундамент, инъекционная свая, пылевато-глинистый грунт, контролируемое расширение, состав раствора.

*Автор-корреспондент

Бахыт Аубакирова, e-mail: b.aubakirova@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-04>

Поступило 16 января 2024; Пересмотрено 26 февраля 2024; Принято 13 марта 2024

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда әлеуметтік және инженерлік инфрақұрылым объектілерін орналастыру үшін ғимараттардың жер асты кеңістігін дамытуды реттейтін заманауи талаптарға сәйкес қайта құруды, қалпына келтіруді және модернизацияны қажет ететін көптеген ғимараттар мен құрылыстар бар.

Олардың барлығы, әдетте, қала құрылысының орталық бөлігінің тығыз жағдайында, күрделі инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық жағдайларда орналасқан, олардың негізінде шаңды-сазды топырақ жатыр. Осыған байланысты тығыз жағдайда және шектеулі қосымша деформацияларда жер асты кеңістігін одан әрі қауіпсіз дамыту үшін қайта қалпына келтірілген ғимараттардың жолақты іргетастарын топырақ негізін тығыздаумен нығайтудың тиімді және сенімді әдісін жасау зерттеудің өзекті тақырыбы болып табылады. Бұл жұмыста «гидравликалық сыну» режимінде ерітіндіні инъекциялау және соңында бақыланатын кеңейту арқылы манжет технологиясы бойынша бұрғылау инъекциялық қадаларын орнатудың жаңа әдісі ұсынылады, ол таспалы іргетас астындағы топырақ негізін сапалы және тиімді тығыздауға, оны қосымша жүктеме қолданылғанға дейін жұмысқа қосуға, мойынтірек қабілетін едәуір арттыруға, сондай-ақ ерітіндінің көп бөлігін сенімді локализациялауға бағытталған. Тығыз жағдайда жер асты кеңістігін одан әрі қауіпсіз дамыту үшін қайта қалпына келтірілген ғимараттардың жолақты іргетастарын топырақ негізін тығыздаумен нығайтудың тиімді және сенімді әдістерін табу қазіргі уақытта ең маңызды мәселелердің бірі ретінде қарастыруға болады (**Bronin, 2010; Dubinin et al., 2021**).

Ғимараттың сыртқы түрі мен құрылымдық ерекшеліктерін бұзбай, кез келген топырақ жағдайында немесе тығыз жағдайда жұмыс істеуге мүмкіндік беретін әдістер қарастырылады. Бұл әдістердің әрқайсысының өз қолдану саласы бар. Кейбір жағдайларда кемшіліктердің бірі – ерітіндінің шаңды-сазды топырақ массивінде болжанбайтын және бақыланбайтын түрде таралуы, нәтижесінде жоспарда негіздің біркелкі емес сығылу ықтималдығы және басқа да жағымсыз әсерлері (**Bugrov, 2012**).

Іргетастарды нығайту әдістерін дамытуға және топырақ негізінің құрылыс қасиеттерін жасанды жақсартуға арналған ғылыми-зерттеу еңбектері біршама бар. Осы еңбектерде ғимараттың құрылымдық ерекшеліктеріне, іргетастардың түрлеріне, қолданыстағы жүктемелерге, инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық жағдайларға, сондай-ақ күшейту қажеттілігін тудыратын себептерге байланысты күшейту әдістерінің көптеген жіктемелері келтірілген (**Ermolaev, 2014**).

Негізінде шаңды-сазды топырақтар жатқан ғимараттар мен құрылыстардың таспалы іргетастарын нығайту тәсілдерін талдау және нығайтудың жаңа тиімді әдісін әзірлеу. Таспалы іргетастарды технологиялық күшейту үшін статикалық жүктеу жағдайында шаңды-сазды топырақ негізімен манжет технологиясы бойынша дайындалған бұрғылау инъекциялық қадалардың өзара әрекеттесуін зерттеу (**Kritsky, 2015**).

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Қазіргі уақытта әлемдік және отандық тәжірибеде жол, тау-кен, азаматтық, гидротехникалық және құрылыстың басқа салалары үшін инъекциялық күшейтудің көптеген әдістері бар.

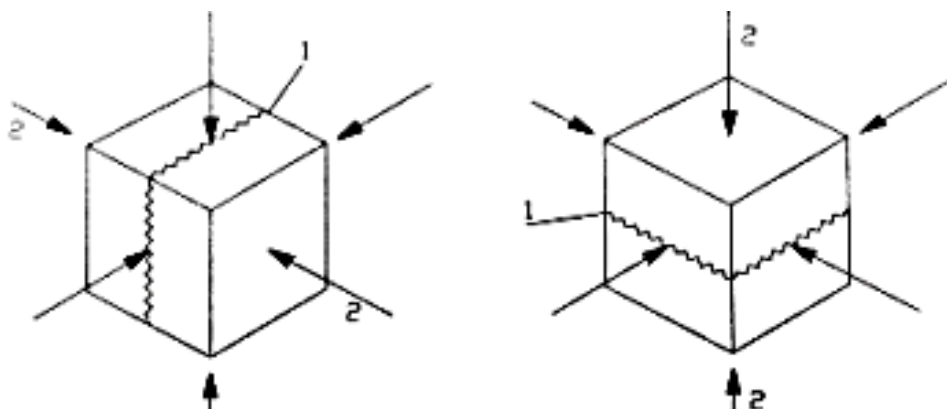
Топырақ негізін цементтеу тәсілі – топыраққа әртүрлі цементті ерітінділерді 0,6МПа қысымда инъекциялауды айтады. Бұл әдіс жарықшақтардың мөлшері 0,1 мм-ден кем емес жарылған жартасты және жартылай жартасты жыныстардың жарықтары мен қуыстарын, сондай-ақ сүзгілеу коэффициенттері тәулігіне 80-200 м ірі түйіршікті, қиыршық тасты және ірі түйіршікті құмды топырақты толтыру үшін қолданылады. Цементтеудің артықшылығы – қолданылатын экологиялық тұтқыр-цементтің кең таралуы және қолжетімділігі. Төмен қысымды инъекцияның кемшілігі (0,2-0,6 МПа) – оның қайта жаңартылатын ғимараттардың түбінде өте сирек кездесетін жоғары өткізгіш топырақтарға қолданылуы (**Ponomarenko, 2018**).

Сіндіру режимінде инъекциялау – ол 0,2 МПа дейінгі қысымда әртүрлі құрамдағы ерітінділерді инъекциялаудан тұрады. Мұндай қысыммен топырақтың табиғи құрылымы бұзылмайды, жарықтар, бос жерлер ерітіндімен толтырылады. Жабдық ретінде негізінен алдын ала бұрғыланған ұңғымаларға батырылатын диаметрі 2-3 мм тесіктері бар металл перфорацияланған құбырлар болып табылатын инъекциялар қолданылады. Осы инъекция режимін қолдану аясы сүзу коэффициенті 80 м/тәу дейін сусымалы топырақты бекітумен шектеледі (**Sakharov, 2015**).

Ағынды бекіту технологиясы топырақты бұзу және оны ерітіндімен бір уақытта араластыру үшін 40-100 МПа қысымды ерітіндінің жоғары қысымды ағынының энергиясын пайдалануға негізделген.

Қысым бір немесе екі саптамамен жабдықталған монитордың көмегімен жасалады, ол арқылы топыраққа ұңғыма осіне перпендикуляр бағытта ерітінді беріледі. Ерітіндімен бірге монитордың айналуы және оның ұңғыма бойымен қозғалуы жүреді. Нәтижесінде топырақтың ұсақ бөліктері шайылып ерітіндімен бетіне шығарылады, ал үлкендері қалады және толтырғыш ретінде әрекет етеді (**Samokhvalov, 2015**).

Қысымды (жоғары қысымды) инъекция – бұл тәсілде ерітінділерді инъекциялаудан тұрады, бірақ 0,6-дан 10,0 МПа-ға дейінгі қысымда. Онда әлсіз өткізгіш шаңды-сазды топырақтарда топырақтың гидравликалық сынулары (жарықтары) пайда болады. Ерітінді инъекциясы жоғарғы қысымды құбыршектерге жалғанған ерітінді сорғысын топыраққа енгізу арқылы инъекцияланады. Жер массасындағы жарықшақты гидравликалық сыну деп атаймыз. Ол арқылы ерітіндінің әртүрлі бағытта тігінен, көлденең немесе көлбеу таралуы жүреді (**1-сурет**).



1-сурет – Топырақ массивінде гидравликалық сынулардың бағыттары:
(1) сынудың жазықтығы; (2) ең кіші негізгі кернеу (**Samokhvalov, 2015**).

Әр түрлі компоненттерді бір уақытта қолдану арқылы анықталатын бекітудің үш түрі бар.

Біркомпоненттік (Jet1) – 40-60 МПа қысыммен цемент ерітіндісінің ағыны қолданылады, сазды топырақтарда бекіту аймағының радиусы 0,3-0,4 м аспайды, бекітілген құмды топырақтың беріктігі 10 МПа дейін, сазды 1-2 МПа.

Екікомпоненттік (Jet2) – цемент ерітіндісінің ағыны топыраққа ауадан қысқышпен беріледі, бекіту аймағының радиусы 2,5 м-ге дейін, беріктігі бір компонентті (Jet1) қарағанда төмен;

Үшкомпоненттік (Jet3) – ауа қысқышындағы су ағыны топырақты шаю үшін қолданылады, ал бекітетін цемент ерітіндісі едәуір аз қысымымен беріледі, бекіту аймағының радиусы 3 м-ден асады, беріктігі екікомпонентті (Jet2) және біркомпоненттімен (Jet1) салыстырғанда төмен.

Қайта құру жағдайында әдісті қолданудың кемшіліктері:

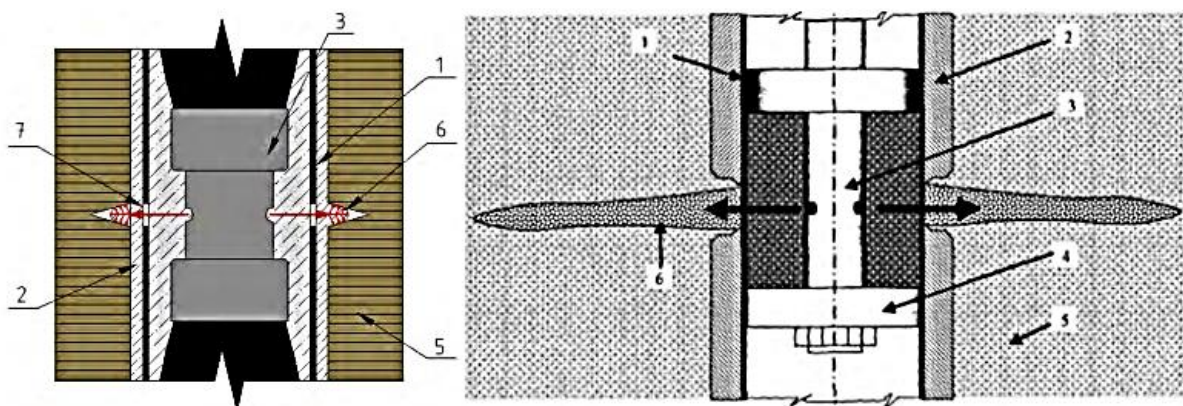
- тікбұрышты немесе дөңгелек құбырлар түріндегі профильді арматураны батырып қолдануды қажет ететін арматуралау қиындықтары;

- көп көлемдегі топырақтың бекітілуінің және ерітіндінің технологиялық шығындарының талап етілетіндігіне байланысты жоғары құны мен материал сыйымдылығы;
- жоғары қысыммен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздік техникасының ерекше жағдайларын қамтамасыз ету.

Бұл әдістің айтарлықтай кемшіліктерін де атап өткеніміз дұрыс болады:

- гидравликалық сынулардың бақыланбайтын және болжанбайтын сипатына байланысты ерітіндінің жер бетіне, жер асты коммуникацияларына, туннельдерге таралуы;
- бірдей инженерлік-геологиялық жағдайларда пайда болған гидравликалық сынулардың геометриялық параметрлерінің айтарлықтай айырмашылығы және нәтижесінде жоғарыда негіздің біркелкі емес сығылу ықтималдығы;
- орындалған жұмыстардың сапасын бақылаудың тікелей әдістерінің болмауы және жанама жұмыстардың жоғары құны (**Bogomolov, 2011**).

Манжетті (көлденең) инъекция технологиясы – ерітіндіні ұңғымаға орнатылған перфорацияланған металл құбыр («инъекция-тампон», «манжет бағанасы», «құбыр – инъекция») арқылы инъекциялаудан тұрады, оның саңылаулары сыртынан инъекция кезінде ерітіндінің құбырға кері түсуін болдырмайтын тексеру клапаны ретінде әрекет ететін резеңке манжеттермен жабылады. Бұл технологияның басты артықшылығы – топырақ массивінде биіктігі бойынша көлденең гидравликалық сынулардың ұйымдастырылуы нәтижесінде топырақ негізінің біркелкі және сапалы бекітуі болып табылады (**2-сурет**).



2-сурет – Топырақ массивінде гидравликалық сынулардың пайда болуы:

- (1) манжетті құбыр (инъекциялық құбыр); (2) обойма; (3) пакер; (4) тампон сақинасы; (5) топырақ; (6) гидравликалық сынудың қалыптасуы; (7) перфорация тесіктері (**Kritsky, 2015**).

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Ұсынылған әдісті қолдана отырып, ғимараттарды нығайтуды жобалау үшін қаданың соңында бақыланатын кеңеюді қалыптастыру кезінде де, статикалық жүктеме кезінде де жер массасының әртүрлі нүктелеріндегі кернеу-деформациялық жағдайын (КДЖ) өзгерісін болжау қажет, ол үшін $0,2 \text{ м}^3$ цилиндрлік науаларда және $1,2 \text{ м}^3$ тікбұрышты наuada бірқатар зертханалық тәжірибелер жүргізілді.

Зертханалық зерттеулердің міндеттері:

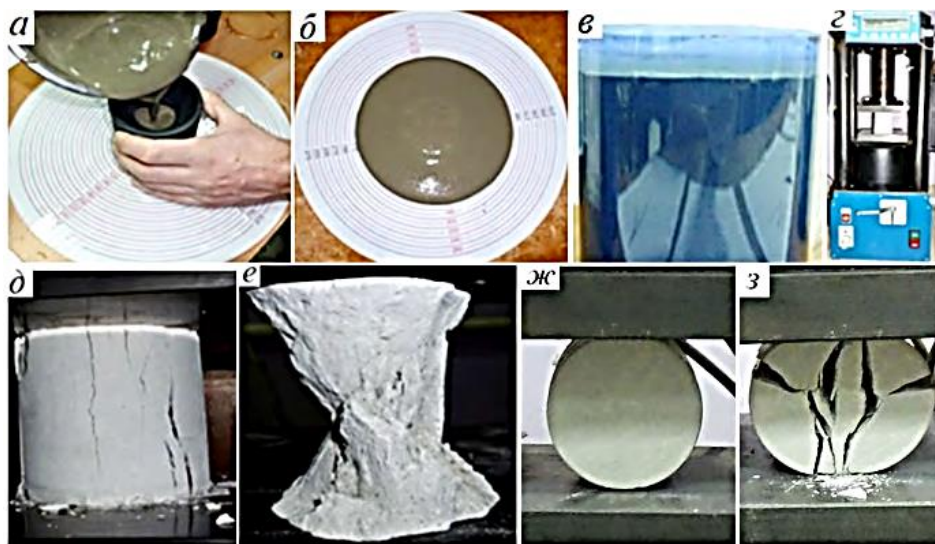
1. Ерітіндінің құрамын және оның негізгі технологиялық және беріктік сипаттамаларын анықтау;
2. Қалыптасуына әсер ететін негізгі факторларды анықтау
3. Сазды топырақ массивіндегі бақыланатын кеңейту;
4. Ерітіндіні инъекциялау кезінде тығыздалған бақыланатын кеңею аймағының көлденең және тік қозғалыстарын зерттеу;

5. Бақыланатын кеңею қалыптасқаннан кейін топырақ массивінің физикалық сипаттамаларының өзгеруін анықтау;

6. Тік статикалық жүктеме әсерінен бақыланатын кеңейтімі бар модельдік қаданың жұмысын зерттеу.

Айта кету керек, негіз топырақтарын бекітудің цементтеу және инъекциялық әдістерінің барлық түрлері үшін, тәжірибе көрсеткендей, топырақ негізінің физика-механикалық сипаттамаларына байланысты ерітіндінің құрамын дұрыс таңдау өте маңызды. Атап айтқанда, тозанды-сазды топырақтар (күмды саздар, саздақтар және саздар), олардың генезисі бойынша коллоидтық мөлшердегі жеке минералды бөлшектерден тұратын шөгінді топырақтарға жатады (бөлшектер дәндерінің мөлшері 0,10 мм-ден аз), икемділік саны $I_p > 1$ және сулы коллоидтық байланыста. Олар ең күрделі минералды-дисперсті түзілімдерді ұсынады, олардың беріктік қасиеттері жеке минералды дәндердің беріктігіне емес, минералды бөлшектер арасындағы құрылымдық байланыстарға байланысты, осыған байланысты ерітіндінің дұрыс құрамын таңдау топырақтың құрылымдық механикалық және сүзу көрсеткіштерінің өзгеруі болып табылады. Құрылыс нарығында ерітінділердің өте үлкен таңдауы бар: цемент, саз цемент, көбік және кеңейтілген цемент ерітінділері, жоғары дисперсті цемент негізіндегі ерітінділер және т.б., әртүрлі қоспалары бар.

Ерітіндінің құрамын **3-сурет** анықтау үшін бентонит пен сұйық әйнектің және В/С: 0,6-1,0 әртүрлі пайыздық қоспаларымен үш эксперимент жүргізілді.



3-сурет – Ерітіндінің құрамын анықтау:

(а) АзНИИ конусы; (б) таралуды анықтау; (в) қабаттануларды анықтау; (г) ПГМ-500 пресси; (д), (е) қысу беріктігін анықтау; (з), (ж) бөліну кезіндегі созылуды анықтау. (д) және (ж) бастапқы, ал (е) және (з) сынамаларды бұзудың соңғы сатысы (автордың материалы).

Зертханалық эксперименттер жүргізер алдында зерттеу деректері негізінде ерітінділерді дайындау үшін негізгі реагенттер таңдалды: М400 по маркалы цемент, ПБМБ маркалы бентонит, сұйық шыны (натрий силикаты).

М400 маркалы цемент-дөрөкі дисперсиямен ерекшеленетін жалпы мақсаттағы цемент, фракция өлшемінің көрсеткіші $D_{95}=70-80$ микрон, меншікті беті $2500 \text{ см}^2/\text{г}$;

ПБМБ маркалы бентонит – минералды бөлшектердің нәзіктігі мен коллоидтық қасиеттеріне байланысты ерітіндінің тұрақтылығы мен икемділігін арттырады. Ерітіндінің тұрақтылығы оны тұрақты күйге келтіру деп түсініледі. Сондай-ақ, бентонит құрамына кальцийленген сода кіреді (натрий көмірқышқыл газы) Na_2CO_3 - кальций иондарын байланыстыруға мүмкіндік береді, құрамында гипс, ангидрит, цемент бар;

- сұйық шыны (натрий силикаты) – жалпы химиялық формула $\text{Na}_2\text{O} * n\text{SiO}_2$ түрінде болады, мұндағы n – кремнеземнің молекулаларының саны. Натрий силикатының сулы ерітіндісі-тығыздығы $1300\text{-}1800 \text{ кг/м}^3$ болатын ашық сары түсті тұтқыр сұйықтық. Сұйық шыны қоспасы ерітіндіні орнату уақытын тездетуге және оның беріктігін арттыруға көмектеседі;

- су – цемент қатынасы (С/Ц) – ерітінділердің қозғалғыштығына қойылатын талаптарға сүйене отырып, $0,6\text{-}1,2$ құрайды, бұл судың көп мөлшеріне әкеледі және нәтижесінде алынған цемент тасының беріктігінің төмендеуіне әкеледі. Сонымен қатар, судың бөлінуі мен ерітіндінің қабаттануына әкеліп соғады, сондай-ақ үлкен қысымның әсерінен судың біршама қысылуы жүреді.

Бірінші кезеңде әртүрлі құрамдағы ерітінділердің таралуы анықталды (**1-кесте**).

1-кесте

Ерітінділердің таралуы (18-22 см) (автордың материалы)

№ құрамы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С/Ц	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Бетонит, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Натрий силикаты, %	-	-	-	1	1	1	3	3	3	5	5	5
Таралуы, см	20	27	30	18	25	28	11	19	24	7	14	17
№ құрамы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
С/Ц	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Бетонит, %	5	5	5	10	10	10	5	5	5	5	5	5
Натрий силикаты, %	-	-	-	-	-	-	1	1	1	3	3	3
Таралуы, см	14	18	26	11	17	23	10	16	22	9	14	20

Нормативтік құжаттарының талаптарына сәйкес таралу АзНИИ конусының көмегімен анықталды. Эксперименттердің бірінші кезеңінде қорытындысы бойынша таралу көрсеткіші бойынша талаптарға сәйкес келетін 8 үлгі бөлінді-18-ден 22 см-ге дейін. Бұдан әрі сәйкес 8 үлгінің әрқайсысын бөлу кезінде су бөлуді, қысу және созылу беріктігін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді, олардың нәтижелері келтірілген (**2, 3 және 4-кестелерде**).

2-кесте

Ерітінді үлгілерінің су бөлуі (**Berlinov, 2011**).

№ құрамы	1	4	8	12	14	18	21	24
С/Ц	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Бетонит, %	-	-	-	5	10	5	5	-
Натрий силикаты, %	-	1	3	-	-	1	3	5
Су бөлуі, %	11,1	3,0	7,8	6,3	3,0	1,5	0,4	0,7

3-кесте

Ерітінді үлгілерінің сығылуға беріктігі (**Chunyuk & Yudina, 2020; Kreis, V. A. 2020**)

№ құрамы	1	4	8	12	14	18	21	24
С/Ц	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Бетонит, %	-	-	-	5	10	5	5	-
Натрий силикаты, %	-	1	3	-	-	1	3	5
Беріктігі, МПа	6,5	7,4	6,8	2,6	1,2	1,6	6,6	5,4

4-кесте

Ерітінді үлгілерінің созылуға беріктігі (0,6-0,8 МПа) (**Chunyuk & Yudina, 2020**)

№ құрамы	1	4	8	12	14	18	21	24
С/Ц	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Бетонит, %	-	-	-	5	10	5	5	-
Натрий силикаты, %	-	1	3	-	-	1	3	5
Беріктігі, МПа	0,75	0,8	0,7	0,2	0,1	0,15	0,7	0,6

Бөліну кезінде қысу және созылу беріктігін анықтау үшін $D=70$ мм, $h=70$ мм цилиндрлік пішінді 8 үлгі жасалды. Сынақтар ПГМ-500МГ4 гидравликалық прессте жүргізілді. Бөлінген кездегі ерітіндінің сығылу беріктігі – 6-8 МПа-ға дейін, ал созылу беріктігі – 0,6-0,8 МПа болуы керек.

Барлық кестелерді біріктіре отырып, әрі қарай зертханалық зерттеулер үшін қажетті технологиялық және механикалық сипаттамаларға байланысты №4 және №21 ерітіндінің екі құрамы таңдалды:

№4 су-цемент с $C/C = 0,6$ (массасы бойынша) және 1% сұйық шыны (натрий силикаты) қосу;

№21 сазды-цементті $C/C = 1$ және 5% ПБМБ маркалы бентонит және 3% сұйық шыны (натрий силикаты) қосылады.

4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Топырақ массиві ретінде арнайы дайындалған топырақ пастасы пайдаланылды, берілген физикалық-механикалық сипаттамалары бар (тығыз икемді саздақ) анықталған, бұл сипаттамалар бірқатар эксперименттерде аздап өзгергені көрсетілген (**5-кесте**).

Топырақ пастасы қалыңдығы $h = 100$ мм қабаттармен төселіп, қолмен тығыздалған. Топырақтан 2 мм-ден үлкен барлық қоспалар алынып тасталды.

5-кесте

Топырақ пастасының физика-механикалық сипаттамалары (**Karol, 2020**).

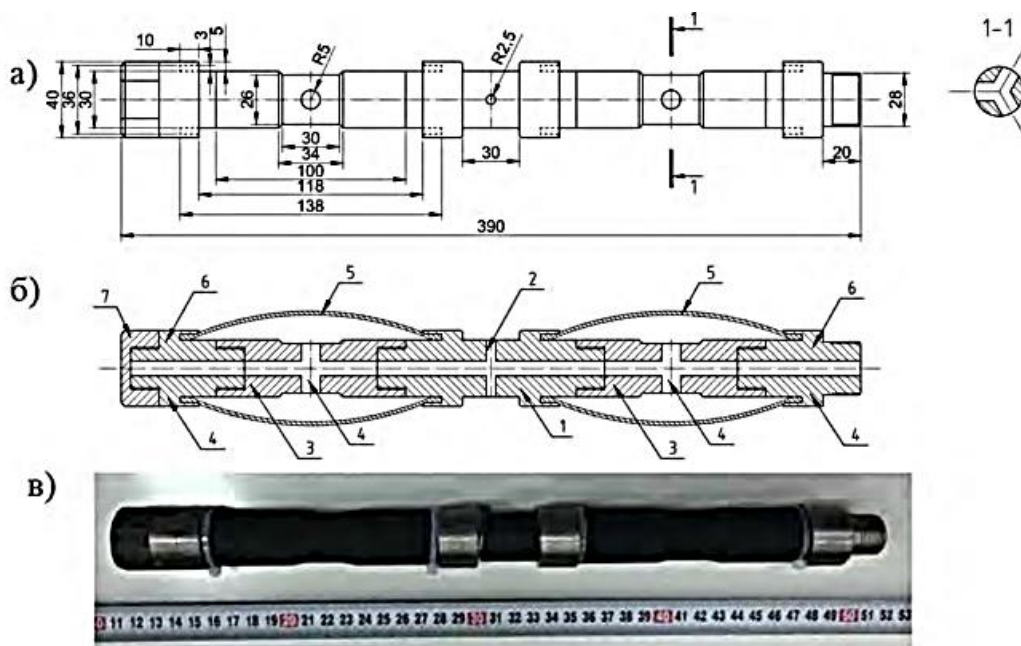
ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	W , д.ед.	s_R , д. ед.	e , д.ед.	I_p , д. ед.	I_L	φ , град	c , кПа	E , МПа
1,7-1,9	1,4-1,6	0,29-0,31	0,88- 0,92	0,8- 0,9	0,15-0,16	0,35-0,45	18-20	27-29	4,0-5,0

Топырақтың беті кептіруге жол бермеу үшін полиэтилен пленкамен герметикалық жабылған. Әр тәжірибеден кейін топырақ науадан (лоток) алынды. Цилиндрлік науаларды олардың түбінен 40 см мөлшерінде толтыру кезінде диаметрі 80 мм пластикалық құбырды орнату және бекіту жүргізілді, оның соңында топырақ массивіндегі бұрғыланған ұңғыманы модельдейтін бітегіш бар, ол кейіннен құбырмен ауыстырылды. инъекция. Ерітінді инъекциясы өнімділігі 8 л/мин дейінгі бұрандалы ерітінді сорғысының көмегімен және инъекция кезінде инъекцияның құбыраралық кеңістігін екі жағынан герметикалық түрде жабатын пакер арқылы (**4-сурет**) 0,1 МПа дейінгі жұмыс қысымымен жүзеге асырылды.

Пакердің дизайны кез келген көкжиек бойынша қысымды реттеу мүмкіндігімен әр перфорация аймағына инъекция жасауға (соның ішінде қайталауға) мүмкіндік береді.

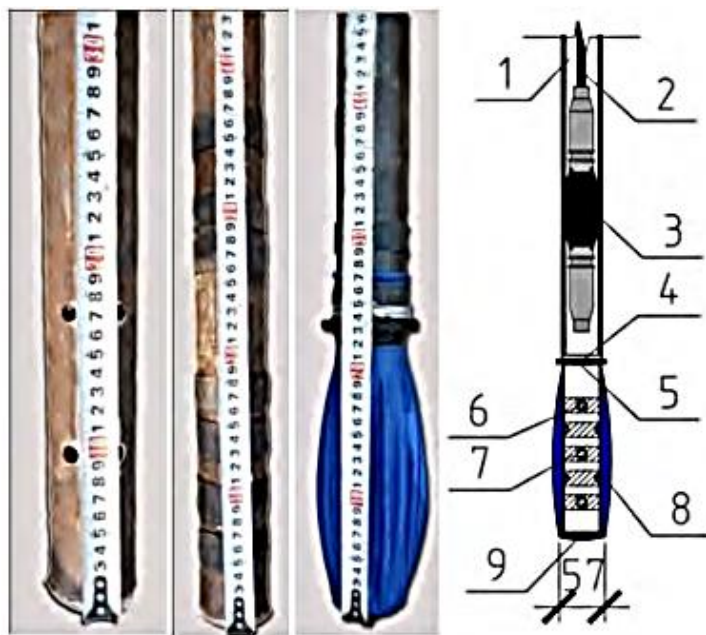
Ерітінді инъекциясының көлемі 0,1 МПа дейінгі қысымда 10 литр болды. Ерітіндіні мембрана-стаканға енгізгеннен кейін және бақыланатын кеңеюді қалыптастырғаннан кейін, топырақ пастасындағы кернеулерді релаксациялау және қайта бөлу үшін қажетті 20 тәулікке тең технологиялық үзіліс жасалды, сонымен қатар ерітінді берілген беріктігін жинады, содан кейін топырақ пен кеңейту-қадасын қайта қабат-қабат шығару жүзеге асырылды.

Мембрана-шынысы бар инъекциялық құбырдың дизайны ұзындығы 1,2 м, диаметрі 57 мм металл құбырдан тұрады **5-сурет**. Инъекцияның төменгі ұшында мембрана орналасқан жерде стакан дәнекерленген бітегіш және диаметрі 8 мм тесіктердің 4 қатары болды, олардың үстіне ені 25 мм, қалыңдығы 1 мм резеңке манжеттер орнатылды, олар тексеру клапанының рөлін атқарды (**Polyakova et al., 2022**).



4-сурет – Пакер: а – кимадағы пакердің дизайны, б – пакердің жалпы схемасы; в-пакердің фотосуреті; (1) орталық бөлім; (2) пакерден ерітіндінің шығуына арналған тесік; (3) бүйірлік бөлімдер; (4) пакер мембраналарын толтыруға арналған тесіктер; (5) резеңке мембраналар; (6) соңғы бөлімдер; (7) бітегіш.
(автордың материалы).

Мембрана-шыны қысқыштың көмегімен инъекцияның төменгі ұшынан 20 см қашықтықта бекітілді. Тікелей қысқыштың астына сыртқы диаметрі 80 мм болатын қатты тығыздағыш сақина орнатылды, бұл мембрана-шынының ерітінді инъекциясының қысымымен құбырлы кеңістікте қозғалуын болдырмайды.



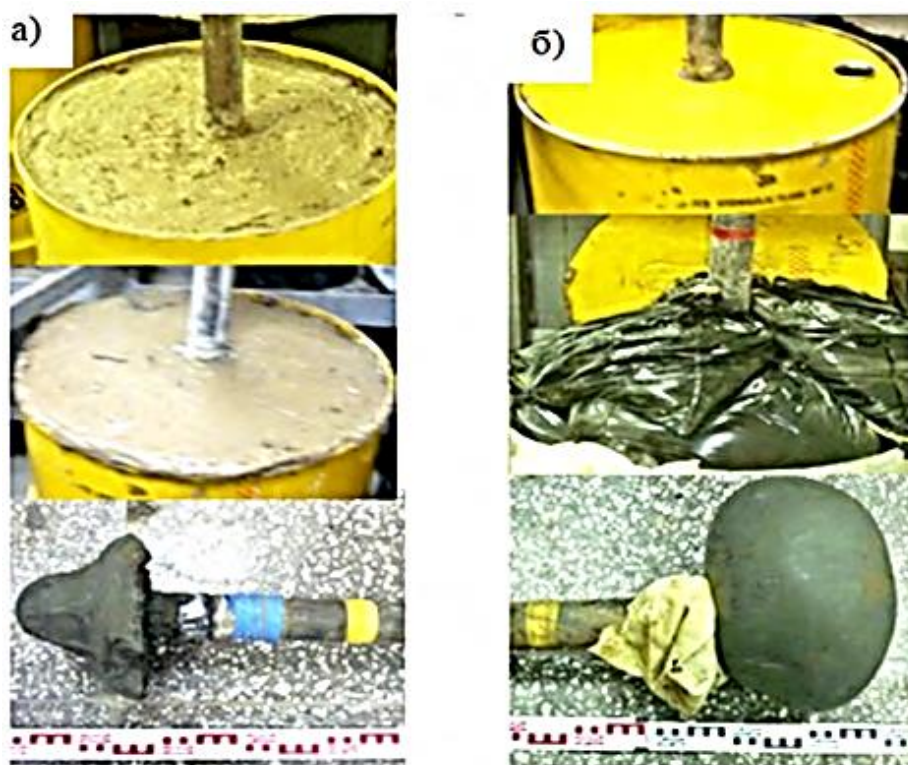
5-сурет – Мембрана-шынысы бар инъекциялық құбырдың дизайны: (1) инъекциялық құбыр, (2) резеңке құбыршегі, (3) пакер, (4) қысқыш, (5) тығыздағыш сақина, (6) перфорация тесігі (d=8 мм), (7) резеңке манжет; (8) мембрана-шыны, (9) бітегіш
(автордың материалы).

Бақыланатын кеңеюдің қалыптасуы мен геометриялық параметрлеріне әсер ететін факторларды қарастырса болады.

1. Бақыланатын кеңейтуді қалыптастыру кезінде топырақ массивінің деформациясының әртүрлі шарттары: бірқатар эксперименттер цилиндрлік науаларды жүктеместен өтті – топырақ массивінің еркін тік жылжу мүмкіндігі үшін және жүктемемен қойылған жағдайда ескерілді. Жүктің салмағы 200 кг болды, жүктеме 50 кг құм салынған алдын ала өлшенген қаптардың көмегімен жүзеге асырылды.

Науаға ерітіндіні тиеусіз инъекциялау кезінде жер массасының айтарлықтай көтерілуі және топырақ тесіктеріндегі судың бетіне шығуы байқалды. Топырақ алынғаннан кейін ерітіндінің негізгі бөлігі кеңеюдің жоғарғы бөлігінде локализацияланғаны анықталды (**6a-сурет**), бұл ретте кеңеюдің дұрыс түрі қалыптаспаған.

Екінші жағдайда жүктеменің жеткілікті массасы ерітіндінің қысыммен топырақты жоғары қарай сығуына жол бермеді, соның арқасында көлденең бағытта созылған диаметрі 220 мм эллипс тәрізді кеңею пайда болды (**6б-сурет**).



6-сурет – Топырақтың деформациясының әртүрлі шарттары:
а – жүксіз, б – жүкпен (автордың материалы).

2. Ерітіндінің әртүрлі құрамдары: бақыланатын кеңеюдің пайда болуына ерітіндінің құрамы да әсер етеді. Инъекцияға арналған бірқатар зертханалық тәжірибелер негізінде №4 және №21 ерітінділердің екі құрамы таңдалды (**7-сурет**).

Эксперименттердің нәтижелері инъекция қысымымен №4 құрамды қолданған кезде ерітіндінің қабаттануы және кеңеюдің жоғарғы жағында бос судың локализациясы болғанын көрсетеді (**7a-сурет**). Сонымен қатар, ерітіндінің тұтқырлығы мен икемділігінің төмендігіне байланысты цемент бөлшектерінің тұндырылуына, сондай-ақ оның қату уақытын тездететін сұйық әйнектің әсеріне байланысты Пакер бітеліп қалды (**7б-сурет**).



7-сурет – Стакан мембранасына ерітінділерді инъекциялау нәтижелері:
 а – № 4 құрам, б – №21 құрам, в – №4 құрам ерітіндісін инъекциялау кезінде қаптаманың бітелуі
 (автордың материалы).

№21 құрамын қолдану ерітіндінің қабаттануын болдырмайтын және оның тұрақтылығы мен икемділігін арттыратын бентонитті, сондай-ақ орнату уақытын жеделдетуге және оның беріктігін арттыруға ықпал ететін сұйық әйнекті қолдану арқылы болжамды геометриялық параметрлердің эллипс тәрізді кеңеюіне мүмкіндік берді (**7 в-сурет**). Сондай-ақ, инъекцияның төменгі ұшының астында ерітіндінің қажетті қалыңдығы 5-7 см түзілетінін атап өткен жөн.



8-сурет – Цилиндрлік науалардағы топырақ массивінде пайда болған кеңейтімдер
 (автордың материалы).

Зертханалық тәжірибелер барысында көлемі $0,2\text{ м}^3$ цилиндрлік науаларда топырақ массивінде 9 кеңейту қалыптасты (**8-сурет**).

Қосымша зерттеулер жүргізу үшін №21 «алюминий цемент» ерітіндісі түпкілікті таңдалды және оның негізгі сипаттамалары анықталды (**Pronozin & Lushnikov, 2018**):

- таралуы – 22 см;
- су бөлуі – 1,0 мл (0,4 %);
- тығыздығы – 1500-1600 кг/м³;
- қысуға беріктігі – 6,6 МПа;
- бөліну кезіндегі созылу беріктігі – 0,7 МПа.

5 ҚОРЫТЫНДЫ

Шаңды сазды топырақтар жатқан ғимараттар мен құрылыстардың таспалы іргетастарын нығайтудың жаңа тәсілі әзірленді, бұл бұрғылау қадаларының құрылғысын бақыланатын кеңеюмен біріктіруге мүмкіндік береді, ерітіндіні «фрекинг» режимінде инъекциялаудың манжеттік технологиясы (соның ішінде қайталама) топырақ массивінің кез келген көкжиегі бойынша және іргетас құрылымын бір технологиялық операцияда қалпына келтіру, бұл оның тиімділігін айтарлықтай арттырады.

Жүктеме кезінде кеңейтілетін қадалардың жұмыс кестесінде бастапқы сызықтық және сызықтық емес деформация аймақтары бар екендігі анықталды. Магистральдың жұмысын ескере отырып, қаданың жүк көтергіштігі кеңейту көлеміне дерлік сызықтық тәуелді екендігі белгілі болды. Кеңейту көлемінің 10 л-ге артуы қаданың жүк көтергіштігінің (кеңеюімен) орта есеппен 14-19%-ға артуына ықпал етеді. Сондай-ақ, жүктеменің бастапқы сатыларында кері деформациялардың белсенді өсуі байқалады, бұл негізде топырақ массиві жүктелген кезде пайда болған тығыздалған аймақ шегінде серпімді деформациялардың және кеңеюдің пайда болуында қалған қалдық кернеулердің болуымен түсіндіріледі. Түсіру кезінде қаданың серпімді шығуының мәні шөгудің толық мәнінің орта есеппен 25% құрайды. Гидравликалық сыну болған кезде қадалардың серпімді шығуының мөлшері 2-2,5 есе азаяды.

Бұрғылау-инъекциялық қаданың бөшкесін қалыптастыру кезінде тек «гидравликалық сыну» режимінде ерітіндінің қайталама инъекциясын қолдану керек екендігі анықталды, онда гидравликалық сінудың саны артады және оларды инъекциялық құбырдан 0,5 м қашықтықта (қалыңдығы 130 мм-ге дейін максималды ашумен) сваяның маңындағы топырақ массивінде оқшаулау жүреді, нәтижесінде қаданың жүк көтергіштігі орта есеппен 20%-ға артады. Сондай-ақ, орташа мәні 0,2 МПа болатын ұңғыманың қабырғаларына тұрақты әсер ететін қысым есебінен қадалар бөшкесінің диаметрінің орта есеппен 2 есе ұлғаюы байқалады, бұл гидравликалық жарылыстардың пайда болуымен бірге инъекциялық құбырдан орташа радиусы 0,2-0,4 м болатын тығыздалған аймақтың пайда болуына және осы аймақ шегінде физика-механикалық сипаттамалардың өзгеруіне әкеледі: тығыздық орта есеппен 17%-ға дейін артады, ылғалдылық 28%-ға дейін төмендейді, деформация модулі 35%-ға дейін артады – болашақта қаданың бөшкесінің параметрлерін есептеу кезінде ескеру қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. **Berlinov, M. V.** (2011). Foundations and foundation [Osnovaniya i fundamenti] (In Russ.).
2. **Bogomolov, V. A.** (2011). High-pressure injection of soils as a way to create geotechnogenic systems in construction [Vysokonapornaya in'ekciya gruntov kak sposob sozdaniya geotekhnogennyh sistem v stroitel'stve] (In Russ.).

3. **Bronin, V. N.** (2010). The experience of injecting soil fixation in the foundations of buildings and structures [Opyt in"ekcionnogo zakrepleniya gruntov v osnovanii zdanij i sooruzhenij], (In Russ.).
4. **Bugrov, A. K.** (2014). Effective methods of strengthening weak foundations and the construction of foundations on them [Effektivnye metody usileniya slabyh osnovanij i ustrojstvo fundamentov na nih] (In Russ.).
5. **Chunyuq, D. Y., & Yudina, I. M.** (2020). Foundations, retaining walls and pit fences [Fundamenty, podpornye steny i ograzhdeniya kotlovanov] (In Russ.).
6. **Dubinina, A., Imambayeva, R., Imambaev, N., Polyakova, I., & Sadyrov, R.** (2021). Rules for the Formation of an Information Model of Facilities at Different Stages of the Life Cycle. International Journal of GEOMATE, 25(109), 117-124.
7. **Ermolaev, V. A.** (2014). Strengthening of the foundation of buildings and structures by hydraulic fracturing using cuff technology [Uprochnenie osnovaniya zdanij i sooruzhenij metodom gidrorazryva s ispol'zovaniem manzhetnoj tekhnologii] <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/1248/0> (In Russ.).
8. **Karol, R. H.** (2020). Chemical grouting and soil stabilization. In American Society of Civil Engineers (Vol. 536).
9. **Kritsky, M. Y.** (2015). On the use of the pressure injection method for compaction of the soil base of deformable buildings [Ob ispol'zovanii metoda napornoj in"ekcii dlya uplotneniya gruntovogo osnovaniya deformiruemyh zdanij] (In Russ.).
10. **Kreis, V. A.** (2020). All about Foundations [Vsyo o fundamentah]. (In Russ.).
11. **Polyakova, I., Imambayeva, R., Aubakirova, B., Shogelova, N., Glyzno, Y., & Zhumagulova, A.** (2022). Determining Static Characteristics of Corrugated Shell Elements Made from Composite Materials. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(7), 120. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269399>
12. **Ponomarenko, Y. V.** (2018). Strengthening the foundations of the foundations of operated buildings and structures [Ukreplenie osnovanij fundamentov ekspluatiruemyh zdanij i sooruzhenij] (In Russ.).
13. **Pronozin, Y. V., & Lushnikov, V. V.** (2018). The device of drilling-injection piles with hydraulic fracturing and soil crimping [Ustrojstvo buroin"ekcionnyh svaj s gidrorazryvom i opressovkoj gruntov] (In Russ.).
14. **Samokhvalov, M. A.** (2015). Results of field studies of the operation of a drill-injection pile with controlled broadening [Rezultaty polevyh issledovanij raboty buroin"ekcionnoj svai s kontroliruемым ushireniem] (In Russ.).
15. **Sakharov, I. I.** (2017). Hydraulic fracturing method of fixing the foundations of operated buildings and structures [Gidrorazryvnoj metod zakrepleniya osnovanij ekspluatiruemyh zdanij i sooruzhenij] (In Russ.).