

ҚҰРЫЛЫС НЫСАНДАРЫН ДІРІЛ ӘСЕРЛЕРІНЕН ОҚШАУЛАУДЫҢ ӨЗЕКТІЛІГІ

Тұрсынқожа Н.О. техника ғылымдарының магистрі, nyrbolat-1997@mail.ru

Қызылорда ашық университеті, Қызылорда қаласы, Қазақстан Республикасы

Аңдатпа. Қазіргі уақытта көптеген қалаларда Метрополитен желілері, теміржол трассалары мен автожолдар маңында ғимараттар мен құрылыстардың қарқынды құрылысы жүргізілуде. Көлік қозғалысы кезінде пайда болатын тербелістер топырақ арқылы ғимараттардың іргетастарына әсер етеді. Осылайша, қалалар инфрақұрылымының дамуы, қалалық ортада жаңа физикалық фактордың пайда болуы арқылы діріл көзіне жақын орналасқан ғимараттарды дірілден қорғау проблемасы өзекті міндет болып табылады. Ғылыми-техникалық прогресті дамыту теміржол трассалары мен метрополитендердің жанында орналасқан құрылыстардағы динамикалық құбылыстарды зерттеуді қажет етеді. Осыған байланысты діріл деңгейін және ғимараттар мен құрылыстарды қорғау тәсілдерін бағалау әдістерін жетілдіру қажет.

Кілттік сөздер: ғимарат, құрылыс, діріл, тербеліс, негіз, іргетас, топырақ, сейсмика, барьер.

Аннотация. В настоящее время во многих городах активно ведется интенсивное строительство зданий и сооружений вблизи линий метрополитена, железнодорожных трасс и автомобильных дорог. Транспортное движение создает значительные вибрационные воздействия, которые через грунт передаются к зданиям и сооружениям. В связи с развитием городской инфраструктуры и появлением новых физических факторов в городской среде проблема защиты зданий, расположенных вблизи источников вибрации, становится особенно актуальной. Развитие научно-технического прогресса требует проведения экспериментальных исследований динамических колебаний, возникающих вблизи железнодорожных трасс и метрополитенов. В связи с этим необходимо совершенствовать методы оценки уровня вибрации и способы защиты зданий и сооружений.

Ключевые слова: здание, сооружение, вибрация, колебания, основание, грунт, сейсмика, барьер.

Кіріспе. Ғимаратқа әсер ететін зиянды және қауіпті факторлардың арасында күнделікті кездесетін факторлар бар. Оған діріл жатады. Заманауи машиналар мен жабдықтарды пайдалану діріл факторларының айтарлықтай деңгейімен бірге жүреді. Тұрғын және қоғамдық ғимараттардағы діріл көзі инженерлік және санитарлық жабдықтар, сондай-ақ өндірістік қондырғылар мен көлік (метрополитен, ауыр жүк көліктері, теміржол пойыздары, трамвайлар) болып табылады, олар жұмыс кезінде үлкен динамикалық жүктемелер тудырады, бұл дірілдің топырақта және ғимараттардың құрылыс құрылымдарында таралуына әкеледі.

Діріл көбінесе ғимараттардағы шуға себеп болады. Демек, біз жұмыс орындарында, өндірістік бөлмелерде, көлікте (автомобильдер, электр пойыздары, метро және т.б.) күнделікті өмірде дірілмен кездесеміз. Сондықтан оның ғимараттар мен құрылыс нысандарына тигізетін зиянды әсерінің ерекшеліктерін, оны қорғаудың әдістері мен құралдарын ұсыну қажет.

Қазіргі уақытта тығыз қалалық құрылыс жағдайында құрылыс нысандарында пайда болған динамикалық жүктемелердің негізгі көзі транспорт болып табылады. Транспорттардың діріл әсерлері қолданыстағы ғимараттардың құрылыс құрылымдары мен іргетастарының жағдайына теріс әсер етеді және топырақтың қасиеттерін төмендетеді. Сондықтан қазіргі құрылыс жағдайында ғимараттардың негіздеріне және олардың іргетастарына осындай әсерді бағалау, талдау қазіргі уақытта өзекті міндет болып табылады.

Көптеген ескі қалалардың құрылысында біз аса мән бере қоймайтын техногендік жағдайлардың мәселелері туындауда. Қаланың жаңа бас жоспары нәтижесінің бекітілмеуі қала билігі тарапынан бұл мәселеге басымдық берілмей отырғандығын білдіреді.

Тұрғын және қоғамдық ғимараттардағы діріл тірек және қоршау құрылымдарының жағдайына айтарлықтай әсер етеді.

Діріл әсерінен жұмыс істейтін объектілердің тозу деңгейі жоғары болады және ғимарат құрылымдарының қызмет ету мерзімін едәуір қысқартады. Мұндай жағдайларда құрылымдық түйіндер мен элементтердің күйін үнемі бақылау қажет.

Салынған ғимаратқа сыртқы және ішкі әртүрлі факторлар әсер етеді: ылғалдылық, температураның өзгеруі, жел, ғимарат ішіндегі адамдар мен жабдықтардың қызметі және т.б. Мұның бәрі тірек конструкцияларында микрожарықтардың пайда болуына әкелуі мүмкін (әсіресе материалдар сапасыз болса және технология бұзылған болса) және діріл бұл процесті айтарлықтай жылдамдатады.

Діріл ғимаратқа тікелей немесе ғимараттың топырақ негізіне әсер етеді. Дірілдің нәтижесінде іргетастың астында біркелкі емес топырақ аймақтары пайда болады. Нашар байланысқан және сумен қаныққан топырақтарда топырақтың сұйылтылуы және оның көтергіштігінің жоғалуы сияқты қауіпті жағдай туындайды.

Ғылыми-техникалық прогресті дамыту теміржол трассалары мен метрополитендердің жанында орналасқан құрылыстардағы динамикалық құбылыстарды зерттеуді қажет етеді. Осыған байланысты діріл деңгейін және ғимараттар мен құрылыстарды қорғау тәсілдерін бағалау әдістерін жетілдіру қажет.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Діріл көздеріне жақын орналасқан ғимаратты жобалау кезінде құрылыс алаңына діріл диагностикалық тексеру жүргізу қажет. Зерттеу нәтижелері бойынша алынған мәліметтер негізінде ғимараттың діріл оқшаулау шешімдері жасалады.

Ғимаратқа әсер етуші діріл көздеріне төмендегілер жатады:

1. Көлік құралдары: автомобильдердің, пойыздардың, ұшақтардың және т.б. көлік құралдарының қозғалысы.

2. Өнеркәсіптік техника: бульдозерлер, грейдерлер және тіпті коперс сияқты ауыр құрылыс машиналарын пайдалану. Олардың барлығы қарқынды тербелістер жасайды.

3. Қол құралдары: бұрғыларды, тегістеуіштерді және т.б. пайдалану кезінде қарқынды тербелістер пайда болуы мүмкін.

А.В.Дудченконың зерттеу жұмысында тербелістердің 3 негізгі көзі қарастырылады: көлік, Өндірістік жабдықтар, құрылыс жұмыстары және жер сілкінісі[1].

Көлік құралдары діріл тудырғандықтан топырақтың ығысу деформациясы 10^{-5} аспайды, соның негізінде топырақтың деформация сипаты іс жүзінде сызықты болып қалады. Бұл жағдайда әсер ету жиілігі мен амплитудасы келесі параметрлерге байланысты:

- көлік құралының жылдамдығы;
- көлік құралының салмағы;
- көлік құралының жылдамдығы мен жердегі Рэлей толқынының жылдамдығы арасындағы қатынас коэффициенті [2-3];
- топырақ жағдайлары.

О.А.Шутованың 2018 жылғы тәмамдалған еңбегінің қорытындысын айтар болсақ, жүргізілген тәжірибенің мәліметтері талданып, нәтижесінде іргетас құрылымының діріл үдеуінің мөлшеріне әсер ететін факторларға байланысты іргетас түрі, ғимарат пен діріл көздерінің арақашықтығы, көлік құралының ең көп жүктелген осі анықталды. Автокөліктің діріл әсерін алдын-ала бағалау үшін ғимараттың техникалық санатын ескере отырып, дірілді жеделдету мөлшерін шектеуді ұсынды [4].

Топырақтың қасиеттерін анықтау кезінде инженерлер әрқашан таңдалған топырақ қасиеттері қауіпсіз жобалау нәтижелерін беруі керек екенін есте ұстауы керек. Егер конструкция қарастырылатын топырақ қасиеттерінің өзгеруіне сезімтал болса, сезімталдыққа талдау жасау керек.

Junbo Jia еңбегінде негізінен динамикалық жүктеме амплитудасына, топырақ сипаттамаларына және нәтижесінде пайда болатын топырақ реакциясына байланысты

топырақтарды әдетте модельдердің үш класы бойынша модельдеуге болатындығын мәлімдеді: эквивалентті сызықтық модельдер, циклдік сызықтық емес модельдер және неғұрлым арнайы жетілдірілген конституциялық сызықтық емес модельдер [5].

Топырақтың динамикалық қасиеттерін Shiv Shankar Kumar, A. Murali Krishna, Arindam Deu зерттеген [6].

Динамикалық жүктемелерге ұшыраған топырақтың динамикалық реакциясы топырақтың динамикалық қасиеттерімен реттелетіні анықталды. Топырақтың динамикалық қасиеттерін анықтау үшін әртүрлі динамикалық жүктемелер үшін алынған жауаптарды қайтадан талдау қажет.

Зерттеу қорытындысында сынақ процедуралары мен материал сипаттамаларының әртүрлі топырақтардың циклдік беріктігі мен динамикалық қасиеттеріне әсері қарастырылды. [6].

З.Ф. Исмагилованың еңбегінде бұрыннан бар ғимараттардың маңында қадалы іргетастарды орнату кезінде топырақ арқылы ғимаратқа әсер ететін динамикалық жүктемелер анықталып, оларға талдау жасалған.

Зерттеу нәтижелері бойынша қадаларды орнату кезінде қолданыстағы іргетастар үшін қауіпсіз қашықтықтар белгіленді және олар тербеліс амплитудасының шамасына, қолданыстағы ғимарат құрылымдарының тербеліс жылдамдығына және іргетастағы топырақ тербелісінің шекті үдеуіне, сондай-ақ қолданыстағы іргетастың түріне байланысты анықталады. Іргетас нұсқаларын техникалық-экономикалық салыстыру тығыз қалалық құрылыс жағдайында қадаларды орнату осы алаң үшін таңдалған басқа іргетас нұсқаларына қарағанда арзан деген қорытынды жасалды. Үш эксперименттік нысанда экономикалық тиімділік 3,045 миллион рубльді құрады [7].

2018 жылы жер сілкінісі мен мұхит толқындарының жүктемелеріне ұшыраған топырақтардың айырмашылығы зерттелген. Сейсмикалық толқындардың таралуы іргетасқа жақын аймаққа ғана емес, бүкіл топырақ-іргетас жүйесіне де әсер етеді. Ал мұхит толқындарының жүктелуі кезінде мұхит толқындарының жүктелуі мен құрылымнан берілетін инерцияның жүктелуі негізінен іргетасқа жақын топырақ аймақтарына ғана әсер етеді [8].

Нәтижелер және оларды талқылау. А.В.Дудченко өз еңбегінде сейсмикалық толқындар мен дірілдердің әсерін азайтатын сейсмикалық барьерлерді зерттеді. Барьерлер өзара әрекеттесу кезінде жер үсті сейсмикалық толқындарының энергиясын шашырату және шағылыстыру, сондай-ақ қалдық және ығысу деформацияларының жоғары деңгейлерінде осы барьерлер аймағында пластикалық аймақтардың пайда болуы арқылы қорғалатын аймақта дірілді азайту құралы ретінде пайдаланылуы мүмкін [1].

Барьерлердің оңтайлы геометриялық параметрлері және оның материалының механикалық параметрлері анықталады. Барьер материалының көлеміне немесе қорғалатын аймақтағы дірілдің рұқсат етілген шектеулері ескерілуі қажет. Нәтижесінде сейсмикалық барьерлер қорғалатын аймақтағы дірілдің максималды төмендеуін қамтамасыз етеді [1].

Қорытындысы бойынша зерттеу негізінде тік сейсмикалық барьерлердің Рэлей беткі толқындарымен өзара әрекеттесуіне талдау жасалды және оның тиімділігі осы типтегі толқындармен тасымалданатын қорғалатын аймақтағы тербелістерді төмендету тұрғысынан бағаланды [1].

2018 жылы дірілді өлшеу нәтижелерін таңдау және тұрғын үйдің іргетасы деңгейінде орнында өлшенген теміржол тербелістерін талдау жұмыстары жүргізілді [9].

Содан кейін бұл діріл жазбалары пойыздың әрбір жылдамдығына қатысты тербелістердің зияндылығын бағалау үшін пайдаланылды. Ғимараттың дірілге зияндылығын бағалау поляк стандартына сәйкес құрылым арқылы дірілді қабылдау көрсеткішімен жүргізілді. Зерттеудің екінші бөлімі "Диана" бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып ғимараттардың динамикалық модельдерін құруға және олардың теміржол тербелістеріне реакциясын талдауға қатысты. Пойыздың 250 км/сағ дейінгі кез келген жылдамдығында стандартта көрсетілген шектерден аспады. Соған қарамастан, пойыз өткелдерінен туындаған

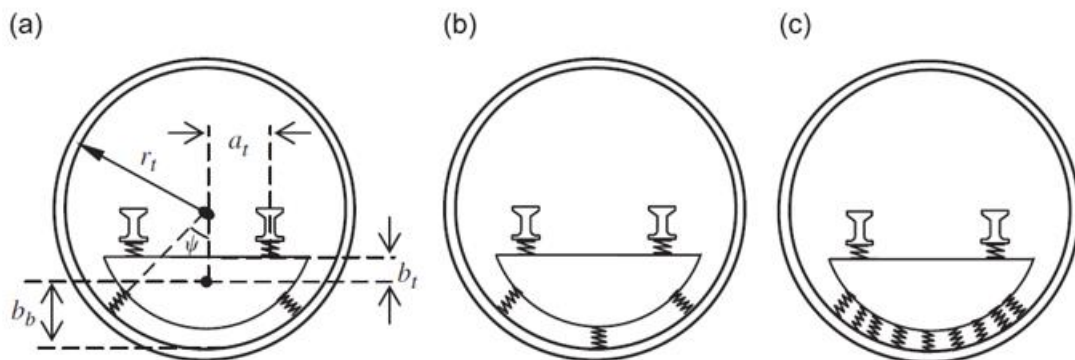
тербелістердің таралуы және олардың ғимараттардың құрылымдық реакциясына әсері күрделі құбылыс болып табылады. Орнында өлшеусіз индукцияланған тербелістердің ғимараттарға әсерін бағалау қиын.

Зерттеу қорытындысында виброоқшаулау жолының тиісті жобасын жасауды, нақты физикалық құбылыстарды бейнелейтін заманауи жетілдірілген модельдер жасауды ұсынды [9].

Қадалы іргетас топырақ негізі құрылымына терең еніп жататын, ғимарат пен негіз арасын байланыстыратын құрылыс конструкциясы. Сондықтан қадалы іргетастар топырақта пайда болған қандай да бір тербелістер мен дірілдердің таралуын төмендетуге қызмет жасайды.

Ғимарат негізіндегі дірілді азайтудың көптеген әдістері бар. Олар әдетте үш санатқа бөлінеді, яғни, діріл көздерін оқшаулау, діріл жолын ұзу және қабылдағышты оқшаулау арқылы діріл әсерлерін төмендетуге болады [10].

M.F.M. Hussein, H.E.M. Hunt 2007 жылы жарияланған еңбектерінің нәтижесінде жерасты теміржол туннеліндегі жолдың толық моделінің тұжырымдамасын жасады. Модель туннель қабырғасын және оның айналасындағы топырақты құрайтын PiP үлгісімен плиталық мойынтіректер арқылы біріктірілген қалқымалы тақта жолынан тұрады (1-сурет) [9].



1-сурет – Туннель қабырғасына бекітілген қалқымалы тақта жолдары:(а) екі тірек сызығы, (б) үш тірек сызығы және (с) біркелкі қабат. Рельсті төсемдермен плиталардың мойынтіректері туннель бойымен үздіксіз жүреді

2005 жылы C.G.Lai және басқа да бірлескен ғалымдар Рим қаласындағы жерасты туннелінен пайда болған ғимараттардағы дірілді болжау әдістемесін әзірлеген. Техника сандық модельдеу мен өрісті өлшеудің жиынтығына негізделген [11].

Jesús Fernández Ruiz және бірлескен ғалымдар туннельдің бастапқы құрылысының жер асты теміржол желісін пайдалану кезінде пайда болатын болашақ жер дірілінің деңгейіне әсерін зерттеген. Мұны зерттеу үшін туннель құрылысын модельдеуге арналған модельден және пойыздардан тербелістердің пайда болуы мен таралуын модельдеуге арналған серпімді 2,5 D діріл моделінен тұратын екі сатылы тәсіл қолданылады. Нәтижелер туннель құрылысының әсерін болашақ жоспарланған постқұрылыс теміржол желілерінен жердегі діріл деңгейін бағалау кезінде ескеру қажет екенін көрсетеді [12].

Қалалық теміржол транзиті жүйесінің көптеген артықшылықтары бар, оның ішінде жоғары көлік сыйымдылығы, кептеліс пен ластануды жеңілдету мүмкіндігі, жылдамдығы мен тиімділігі, сенімділігі, сондай-ақ жайлылық пен қауіпсіздік. Қалалық теміржол транзиті қарқынды дамып келеді және әлеуметтік-экономикалық ландшафтқа үлес қосуда шешуші рөл атқарады. Қалалық жерлердің тапшылығы мәселесін шешу және метрополитеннің жұмысына қаржылық қолдау көрсету үшін метро желілерінің үстінде трассадан тыс ғимараттардың саны артып келеді.

Дегенмен, пойыздардың қозғалысы рельстердің үстінде орналасқан ғимараттарда тұратын немесе жұмыс істейтін адамдар үшін айтарлықтай тербелістерге әкелуі мүмкін, бұл

жайсыздыққа және адам денсаулығына ықтимал жағымсыз әсерлерге әкелуі мүмкін [13,14]. Сондықтан пойыздың әсерінен болатын тербелістердің осы ғимараттарға әсерін зерттеу және бағалау қажетті оқшаулау шараларын жүзеге асыру үшін өте маңызды.

Теміржол желілері қызықты модальді тасымалдауды білдіреді және олар кептеліс пен ластануды айтарлықтай жеңілдетеді. Дегенмен, темір жолдар кейбір кемшіліктерге, әсіресе шу мен дірілге байланысты мәселелерге ұшырайды. Көлік құралында пайда болатын тербелістерді азайту, жолаушылардың жайлылығын жақсарту үшін көп күш жұмсалды, бірақ жердегі діріл мәселесін де шешу қажет [15]. Жоғарылап келе жатқан жағдайларда тербелістердің ғимараттардағы және ғимарат ішіндегі адамдардағы құрылымдық зақымға әсерін бұдан былай елемеге болмайды [16].

D.Stiebel және басқа да ғалымдардың 2010 жылы жазылған еңбектерінде көрсетілгендей [17], елдер желісі бойынша діріл проблемаларын шешу үшін үлкен қаржылық қолдау қажет (мысалы, швейцарияның ұлттық теміржолы үшін дірілдің шамадан тыс деңгейін төмендету үшін 1200 миллион еуро қажет болды). Теміржол тербелістерінің алдында тұрған басты мәселе-теміржол инфрақұрылымының бүкіл әлемде дамуының жалғасуы [18]. Сондықтан көптеген экологиялық мәселелер тиімді, соның ішінде қалалық жерлерде топырақтағы діріл және дірілдің нақты деңгейлерін болжауға және адамның дірілді қабылдауын зерттеуге көп күш салу қажет [19].

Georges Kouroussis және басқа да ғалымдар Брюссель мен Афиныдағы геотехникалық контексте топырақтағы тербелістердің әсерін сандық бағалау мақсатында бірнеше эксперименттік талдауларды сипаттады. Нәтижесінде нүктелік берілістің қозғалғыштығы тербелістің ықтимал көздері немесе күрделі жол ретінде жергілікті рельстік ақауларды ескере отырып, жеңіл жүрдек транзиттік жүйенің жұмысына қатысты дірілді басқару мәселелерін бағалаудың пайдалы құралы болып қала беретіні дәлелденді [20].

Jiahao Hu және басқа да ғалымдар бірігіп шекті элементтердің әзірленген моделін растау үшін жолға іргелес жатқан ғимараттарда және трассада діріл өлшеуді жүргізді. Кейіннен модель әртүрлі пайдалану жағдайларында көлік құралының әсерінен болатын діріл реакцияларын болжау үшін пайдаланылды, осылайша құрылыстың әртүрлі кезеңдеріндегі дірілдің өзгеруін түсіндірді және топырақ құрылымының өзара әрекеттесуінен туындаған іргетастың және құрылыстың тиісті әсерлерін талқылады [21].

Бұл зерттеудің қорытындысында қадалы іргетастың құрылысы топырақтың дірілін айтарлықтай дәрежеде тиімді түрде азайта алатынын, 50-80 Гц диапазонында діріл көзіне жақын жерлермен салыстырғанда алыс өрістегі топырақ құрылымын берудің жоғары коэффициенттері ғимараттардың жоғары жиілікті тербелістерді әлсірететінін көрсететінін тұжырымдады [21].

Маңызды инфрақұрылымдар көбінесе жер сілкінісінің әсерін азайту үшін сейсмикалық оқшаулау жүйелерімен толықтырылады. Алайда, ендірілген құрылымдар үшін тиімді сейсмикалық оқшаулау жүйесі жоқ. Осы маңызды қажеттілікті қанағаттандыру үшін зерттеудің мақсаты мерзімді метаматериалдарды пайдаланатын сейсмикалық оқшаулау барьерлерінің жаңа түрін жасау болып табылады.

Толқындық барьерлер қажетсіз тербелістерді азайту үшін жер беті арқылы берілетін дірілді оқшаулаудың типтік шарасы болып табылады. Олар сандық және эксперименттік түрде зерттелген. Толқындық барьерлер толқындардың таралу жолындағы үзілісті енгізу арқылы қорғалған құрылымға жер бетінде берілетін дірілді азайту үшін жасалған. Сейсмикалық толқындардың толқын энергиясын ғимараттар тобы алып жатқан қорғалатын аймаққа жіберуіне жол бермеу үшін жер астына толқындық барьерлер жиі орнатылады. Теміржол, өнеркәсіптік қызмет, көлік қозғалысы және жарылыс сияқты адамның іс-әрекеті толқындық барьерлерге арналған дірілдің типтік көздері болып табылады. Толқындық кедергілер әр түрлі формада болуы мүмкін, мысалы, ашық немесе толтырылған траншея түріндегі толқындық барьерлер [22] және қадалар қатарлары [23]. Толқындық барьерлердің типтік түрі ашық траншея немесе толтырылған траншеялық толқындық барьерлер болып келеді. Зерттеулер көрсеткендей, ашық траншеялар толтырылған траншеяларға қарағанда

тиімдірек. Дегенмен, топырақтың тұрақсыздығы ашық траншеяларды күтіп ұстауды қиындатады, сондықтан бұл зерттеуде әртүрлі толтырылған материалдар зерттеледі.

Толқындық кедергілер құрылымдарды жер үсті толқындарынан қорғау үшін қолданылатын ең тиімді әдістер тізімінде. Соңғы қырық жылдың ішінде көптеген зерттеушілер, соның ішінде ресейлік ғалымдар 2008-2009 жылдары жер үсті толқындарының энергиясының топырақта таралуына жол бермейтін кедергілердің тиімділігі туралы ауқымды зерттеулер жүргізді [24-27].

V.V.Orekhov, H.Negahdar өз зерттеулерінде топырақтың сызықтық емес реакциясын сандық модельдеуді қарастырған. Зерттеудің мақсаты ашық және толтырылған траншеялардың қорғаныс көрсеткіштерін зерттеу және траншеялардың пішіні, олардың діріл көздері мен құрылымдарға қатысты орналасуының кедергілерді оқшаулау тиімділігіне әсерін зерттеу болып табылады [28].

Қорытындысында кедергілердің барлық түрлері үшін жүктеменің үш нүктесінде топырақ ығысуының әлсіреу қисығы жер бетіндегі көлденең бағыттағы күтілетін тенденцияларға сәйкес ыдырайтыны анық, сондықтан кедергі мен құрылымды байланыстыратын уақытша сызық бойымен және құрылымның іргетасы бойымен бұл қатынас артады, бірақ құрылым болған кезде кедергілер ығысу тұрғысынан толқын энергиясын басуда жақсы нәтиже көрсетеді деген тұжырым жасады. Зерттеу нәтижесінде тереңдіктің әр түрлі мәндеріне ие кедергілер құрылымның қатысуымен импульстік жүктемелер кезінде беттік толқындардың энергиясын төмендетуде тиімділіктің әр түрлі мәндерін көрсететіні байқалды [28].

Қорытынды. Дамыған ірі қалалардың ғимараттары мен құрылыс нысандарына әсер ететін діріл мен діріл көздері алаңдатушылық тудыруда. Транспорттардан пайда болған әрбір діріл топырақ арқылы ғимараттың конструкциялары байланысқан түйіндердегі өзгерістерге себеп болады. Адамзат мән бере қоймайтын бұл құбылыстың нәтижесінде уақыт өте келе ғимарат қабырғаларында жарықтар пайда бола бастайды. Ал бұл жарықтар ғимараттың жарамдылық мерзімін қысқартады және соңы апатқа әкеліп соғуы әбден мүмкін.

Ғимарат жобаланар кезде де, салынып қойғаннан кейін де әсер ететін қауіпті факторлардың бірі осы діріл. Ғалымдардың зерттеулеріне сүйене отырып, жоғарыда айтып өткендей дірілді төмендетудің тиімді әдістерін пайдалану арқылы және дірілден оқшаулайтын материалдарды қолдану арқылы қауіптілік деңгейін азайтуға болады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Дудченко Александр Владимирович; Анализ и оптимизация параметров вертикальных сейсмических барьеров при учете диссипации энергии // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук.
2. Lefeuve-Mesgouez G., Peplow A. T., Le Houédec D. Surface vibration due to a sequence of high speed moving harmonic rectangular loads // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2002. – Т. 22. – №. 6. – С. 459-473.
3. Paolucci R., Spinelli D. Ground motion induced by train passage // Journal of engineering mechanics. – 2006. – Т. 132. – №. 2. – С. 201-210.
4. Шутова Ольга Александровна; Анализ вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов жилых зданий // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
5. Dynamic and Cyclic Properties of Soils; Junbo Jia; In book: Soil Dynamics and Foundation Modeling (pp.75-108); Chapter January 2018; DOI: 10.1007/978-3-319-40358-8_2; <https://www.researchgate.net/publication/321343583>
6. Parameters Influencing Dynamic Soil Properties: A Review Treatise; Shiv Shankar Kumar, A. Murali Krishna, Arindam Dey; International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology; Article January 2014; <https://www.researchgate.net/publication/281373452>
7. Исмагилова Зульфия Фаритовна; Исследование осадки фундаментов в глинистых грунтах при динамической нагрузке; Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2006. – 5 с.

8. Junbo Jia; Springer International Publishing AG 2018; Soil Dynamics and Foundation Modeling; January 2018; https://doi.org/10.1007/978-3-319-40358-8_2
9. Barbara Kożuch¹, Filip Pachla¹ and Tadeusz Tatar¹; Vibrations induced by the passage of trains at various speeds and their effect on the structural response of buildings – an experimental and numerical analysis; MATEC Web of Conferences 211, 13007 (2018); <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821113007>
10. A numerical model for calculating vibration from a railway tunnel embedded in a full-space; M.F.M. Hussein, H.E.M. Hunt; Journal of Sound and Vibration 305 (2007) 401–431; <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.03.068>
11. C.G. Lai, A. Calliero, E. Faccioli, V. Morelli, P. Romani, Prediction of railway-induced ground vibrations in tunnels, Journal of Vibration and Acoustics, Transactions of the ASME 127 (5) (2005) 503–514.
12. Jesús Fernández Ruiz^a, Paulo Jorge Soares^b, Pedro Alves Costa^{b,d}, David P. Connolly^c; The effect of tunnel construction on future underground railway vibrations; Received 8 April 2019; Received in revised form 6 June 2019; Accepted 2 July 2019; <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105756>
13. Kowalska-Koczwara, A. Influence of Location of Measurement Point on Evaluation of Human Perception of Vibration. J. Meas. Eng. 2019, 7, 147–154. [CrossRef]
14. Kowalska-Koczwara, A. Impact of Selected Sources of Transport Vibrations on the Perception of Vibrations by People in Buildings. Vibroengineering Procedia 2019, 27, 88–92. [CrossRef]
15. D.P. Connolly, G. Kouroussis, O. Laghrouche, C. Ho, M.C. Forde, Benchmarking railway vibrations _ track, vehicle, ground and building effects, Constr Build. Mater. 92 (2015) 64–81
16. G. Kouroussis, C. Conti, O. Verlinden, Building vibrations induced by human activities: a benchmark of existing standards, Mech. Ind. 15 (2014) 345–353
17. D. Stiebel, R. Muller, E. Bongini, A. Ekbal, G. Coquel, A.A. Alguacil, Definition of reference cases typical for hot-spots in Europe with existing vibration problems. Technical report, Rivas Project SCP0-GA- 2010 -265754, Report to the EC (deliverable D1. 5), 2012
18. UIC High Speed Department, High speed lines in the world. Technical report, International Union of Railways, 2013
19. D.P. Connolly, G. Marecki, G. Kouroussis, I. Thalassinakis, P.K. Woodward, The growth of railway ground vibration problems _ a review, Sci, Total Environ. 568 (2016) 1276–1282
20. Georges Kouroussis¹, Harris P. Mouzakis² and Konstantinos E. Vogiatzis³; Mechanics & Industry 18, 803 (2017); © AFM, EDP Sciences 2017; <https://doi.org/10.1051/meca/2017043>
21. Jiahao Hu¹, Chao Zou¹, Ying Chen², Lingshan He³, Jie Wu⁴, Ziyu Tao¹, Changsheng Liao⁵ and Zhiwei Liu; Investigation of Vibration Characteristics during Various Building Construction Stages under Train Operations. Appl. Sci. 2024, 14, 2283. <https://doi.org/10.3390/app14062283>
22. T. M. Al-Hussaini and S. Ahmad, "Simple design methods for vibration isolation by wave barriers," *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, 1991.
23. S. Liao and D. A. Sangrey, "Use of piles as isolation barriers," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 104, 1978.
24. Мусаев В.К., Куранцов В.А. О разработке методики расчета сооружений неглубокого заложения при внутренних взрывных волновых воздействиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – Вып. 1. – С. 75-76.
25. Управление безопасностью строительного объекта при эксплуатации / В.К. Мусаев, А.А. Попов, В.Т. Ситник, А.Л. Федоров // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы XVI Междунар. конф. – М. : РГТУ, 2008. – С. 236-240.
26. Мусаев, В.К. Управление безопасностью сооружений неглубокого заложения при внешних взрывных воздействиях // Безопасность и экология технологических процессов и производств : науч.-практ. конф. Донской государственный аграрный университет. – 2009. – С. 116-120.
27. Мусаев, В.К. О системном подходе в проектировании и конструировании технических средств защиты окружающей среды // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 103-104.
28. V.V. Orekhov, H. Negahdar; Efficiency of trench barriers used to protect structures from dynamic loads and study of stress-strain state of soil using strain-hardening model of soil behaviour; Основания и фундаменты, подземные сооружения; ISSN 1997-0935 // Vestnik MGSU. – 2013. – № 4.