



DOI 10.51885/1561-4212_2025_3_361
FTAXP 67.13.69

ҚАТУ ТЕРЕҢДІГІНІҢ АВТОМОБИЛЬ ЖОЛЫНЫҢ ҚАБАТТАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНА ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ НА СОСТАВ СЛОЕВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

INFLUENCE OF FREEZING DEPTH ON THE COMPOSITION OF ROAD LAYERS

Ж.А. Шахмов ¹, Г.Т.Тлеуленова ^{1*}, Қ.Н. Хафиз ¹, А.Н. Хафизов ¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*Жауапты автор Тлеуленова Гульшат Толеувна, e-mail: gulshattleulnova7@gmail.com

Түйінді сөздер:

жол жамылғысы, жол
жөндеу, автомобиль
жолының қабаттарының
құрамы, топырақтың
қатуы.

ТҮЙІНДЕМЕ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі автомобиль жолының қабаттарының құрамы мен топырақтың қату тереңдігі арасындағы айқын тәуелділіктің болуымен негізделеді. Бұл тәуелділік жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан маңызды мәнге ие. Аталған ғылыми зерттеудің мақсаты – автомобиль жолының төсемі астындағы топырақтың қату тереңдігінің оның құрылымдық қабаттарының құрамына әсер ету сипаты тұрғысынан осындай тәуелділікті теориялық және практикалық тұрғыда анықтау. Зерттеудегі жетекші әдістемелік ұстаным – жол құрылысы жүретін аймақтардағы топырақ қату тереңдігінің жол қабаттарының құрамына әсер ету мәселелерін жүйелі түрде талдау мен нақты өңірлердегі топырақтың қату ерекшеліктеріне аналитикалық зерттеу жүргізуді ұштастыру. Бұл ерекшеліктер көлік қозғалысы кезінде елеулі мәселелердің туындауына себеп болуы мүмкін.

Ключевые слова:

дорожная одежда,
дорожный ремонт, состав
слоёв автомобильной
дороги, промерзание
грунта.

АННОТАЦИЯ

Актуальность заявленной тематики научного исследования обуславливается наличием выраженной зависимости между глубиной промерзания грунта и составом слоёв автомобильной дороги, который имеет существенное значение с точки зрения соблюдения безопасности дорожного движения. Целью данного научного исследования является теоретическое и практическое определение подобной зависимости, в контексте характера влияния глубины промерзания грунта под полотном автомобильной дороги на конечный состав её слоёв. Ведущим подходом в данной научно-исследовательской работе выступает сочетание системного анализа проблем влияния глубины промерзания грунта в местах строительства автомобильной дороги на состав её слоёв, с аналитическим исследованием особенностей промерзания грунта в определённых регионах, способных стать причиной возникновения существенных проблем при движении автомобильного транспорта.



Keywords:

road clothing, road repairs, composition of the layers of the roadway, freezing of the soil.

ABSTRACT

The relevance of the study is conditioned by the presence of a pronounced relationship between the depth of soil freezing and the composition of the road layers, which is essential from the standpoint of road safety compliance. The purpose of this study lies in the theoretical and practical identification of such a correlation in terms of the influence of the soil freezing depth under the roadbed on the final composition of its layers. The leading approach in this study is a combination of a system analysis of the problems of the soil freezing depth influence in places where a highway is being built on the composition of its layers, with an analytical study of the features of soil freezing in certain regions that can cause significant problems when moving motor transport.

КІРІСПЕ

Соңғы жылдары қозғалыстың заманауи талаптарына сәйкес келмейтін техникалық сипаттамалары бар автомобиль жолдарын реконструкциялау және күрделі жөндеу жұмыстарына ерекше назар аударылуда. XX ғасырда салынған жолдардың едәуір бөлігі көлік құралдарының осьтік жүктемесі 60 кН-нан аспайтын жағдайға есептеліп жобаланған болатын. Алайда климаттық жағдайлары қатал өңірлерде төмен температураның әсерінен пайда болатын бүртіктену (топырақтың көтерілуі) құбылысы салдарынан жол жамылғыларының қарқынды бұзылуы жиі кездесуде. Бұл мәселе жол төсемдерінің беріктігі мен ұзақ мерзімділігіне теріс әсер етіп, оларды қазіргі көлік ағынына бейімдеуді қажет етеді (Li et al., 2021). Көлік жүрісі қарқынды жолдарда деформациялық үдерістердің кеңінен таралуы мен динамикасының артуы қазіргі таңда өзекті мәселе ретінде қарастырылуда. Бұл құбылыс жол конструкцияларының, әсіресе сазды топырақтардан тұратын негіздердің, қозғалыстағы дөңгелек жүктемелердің динамикалық әсерін сенімді қабылдау қабілетінің жеткіліксіздігін айғақтайды. Жол төсеніштері мен олардың негіздеріндегі серпімділік сипаттамаларының төмендігі салдарынан әртүрлі функционалдық мақсаттағы автомобиль жолдарының жамылғыларында орнықты деформациялар туындайды. Сонымен қатар, маусымдық температуралық ауытқулар әсерінен, әсіресе топырақ негіздері тоңданатын аймақтарда, көктем-күз мезгілдерінде және жоғары жылдамдықтағы көлік құралдарының тербелмелі динамикалық жүктемесі жағдайында жол конструкцияларының жұмыс істеу қабілеті күрт төмендейді. Мұндай жағдайлар жол жамылғыларын уақытынан бұрын бұзып, олардың сенімділігі мен пайдалану ұзақтығына теріс әсер етеді. Осыған байланысты, жол құрылымдарын конструктивтік тұрғыда күшейту қажеттілігі туындайды. Бұл ретте тиімді техникалық шешімдерді таңдау барысында материалдық және еңбек ресурстарын оңтайлы пайдалану, яғни шығындарды барынша азайту – маңызды аспект ретінде қарастырылуы тиіс (Chen et al., 2021).

Автомобиль жолдарының жамылғысында деформациялық үдерістер олардың бүкіл пайдалану мерзімі бойында байқалады. Жол төсеміне әсер ететін сыртқы факторлардың біркелкі болмауы, сондай-ақ құрылыс жұмыстары жүргізілген учаскелерде топырақтың маусымдық тоңдануы — жол жамылғысында әртүрлі ақаулар мен зақымданулардың пайда болуына әкелетін негізгі себептердің бірі болып табылады. Бұл зақымдар уақыт өте келе жол жамылғысының бүлінген бөліктерін қалпына келтіруге айтарлықтай материалдық және уақыттық ресурстарды талап етеді. Сонымен қатар, жол төсемінің қызмет ету талаптарының бұзылуы да елеулі әсер етеді. Атап айтқанда, автомобиль жолдарын салу кезінде нақты климаттық жағдайларда қолдануға жол берілмейтін құрылыс материалдарының пайдаланылуы жол жамылғысының мерзімінен бұрын бүлінуіне себеп болады. (Zhang et al., 2018). Аталған факторлар факторлар жиынтығы



автомобиль жолдарының төсемі салынатын учаскелердегі топырақтың маусымдық тоңдануының жол қабатының құрамы мен құрылымына әсерін және соның салдарынан жол жамылғысының зақымдану ықтималдығын жан-жақты зерттеудің өзектілігін айқындайды. Бұл, өз кезегінде, кейінгі кезеңде жол жамылғысын жөндеу қажеттілігін туындатады.

Құрылымдық тұрақтылығы төмен топырақтар сыртқы әсерлерге аса сезімтал болып табылады және мұндай әсерлер олардың зақымдануына себеп болуы мүмкін. Әлсіз топырақтардың тұрақтану үдерісі ұзақ уақытты талап етеді. Сонымен қатар, топырақтан бөлінетін ылғалдың тепе-теңдігін сақтау — автомобиль жолының қабаттарының кейінгі кезеңде тұрақты күйде болуы тұрғысынан маңызды факторлардың бірі болып саналады. (Sangiorgi et al, 2018). Көптеген ғылыми зерттеулер метеорологиялық жауын-шашындардың әсерін, сондай-ақ олардың топырақтың қату тереңдігімен үйлесімін автомобиль жолдарының қабаттарының жай-күйіне ұзақ мерзімді пайдалану кезеңінде тигізетін ықпалын анықтауға бағытталған. Әсіресе, су тасқындары, табиғи апаттар мен жауын-шашынның көп мөлшерде түсуі кезіндегі жол қабаттарының жай-күйін зерттеуге ерекше назар аударылуы тиіс. Себебі, топырақтың қатуынан бөлек, бұл факторлардың барлығы жол жамылғысына кері әсерін тигізіп, автомобиль жолдарын мәжбүрлі түрде жөндеу қажеттілігіне алып келуі мүмкін.

Автомобиль жолдары орналасқан учаскелерде топырақтардың шамадан тыс ылғалдануына жол беруге болмайды. Мұндай жағдайлардың алдын алу мақсатында арнайы инженерлік-техникалық шаралар кешенін жүргізу қажеттілігі туындайды. Топырақтың ылғалдануы мен оның маусымдық тоңдануының үйлесуі жол қабаттары арасындағы байланыс күштерінің әлсіреуіне алып келеді. Бұл өз кезегінде жол жамылғысының маусымдық бұзылуына және оның пайдалану жарамдылығын жоғалтуына себеп болуы мүмкін (Haze, Hunger & Hesitation 2020). Топырақтың қазіргі жай-күйіне практикалық талдау жүргізу, оның маусымдық тоңдануымен қатар жоғарыда аталған беріктігінің әлсіреу себептерімен байланыста деформациялардың даму мүмкіндігін болжау тұрғысынан, автомобиль жолдарының қабаттарын жобалаушылар үшін де, жол жөндеу және құрылыс қызметі өкілдері үшін де маңызды ғылыми-практикалық қызығушылық тудырады. Себебі бұл мамандар өз қызметі барысында маусымдық табиғи құбылыстар салдарынан бүлінген жол төсемі учаскелерін қайта қалпына келтіру бойынша жөндеу жұмыстарын жүйелі түрде орындауға мәжбүр болады. Осы тұрғыда топырақтың қату тереңдігінің автомобиль жолының қабаттарының жай-күйіне әсер ету дәрежесін анықтау жол жамылғысының беріктігі мен оның ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз ететін барлық факторларды кешенді түрде ескерумен жүзеге асырылуы тиіс.

Зерттеу жұмыстары барысында автомобиль жолдары құрылысындағы топырақтың қату тереңдігінің оның қабаттарының құрамына әсерін бағалау мәселелерін жүйелі талдау әдістері мен белгілі бір аймақтарда топырақтың тоңдану ерекшеліктерін аналитикалық тұрғыда зерттеу әдістерінің үйлесімі қолданылды. Мұндай әдістердің үйлесімі автомобиль көлігінің қозғалысына кедергі келтіруі мүмкін маңызды проблемалардың алдын алу үшін аймақтық ерекшеліктерді ескеруге мүмкіндік береді. Таңдалған әдістемелік тәсіл зерттеу тақырыбы бойынша проблемаларды сапалы түрде талдауға және ғылыми жұмыстың тұтас мазмұндық құрылымын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде объективті нәтижелер алуға және олар негізінде ғылыми тұжырымдар жасауға жағдай жасайды. Жалпы алғанда, зерттеу әдістемесі теориялық және практикалық зерттеулерді үйлестіре отырып, алынған нәтижелер негізінде статистикалық деректерді ұсыну арқылы зерттеліп отырған ғылыми мәселенің шынайы және ғылыми тұрғыдан дәйекті бейнесін қалыптастыруға бағытталған. Зерттеу жұмысының теориялық негізі ретінде автомобиль



жолдарының қабаттарының құрамына қату тереңдігінің әсерін бағалауға қатысты отандық және шетелдік зерттеушілердің еңбектері алынды. Зерттеудің әдіснамалық негізі зерттеу барысында қарастырылған мәселелерге толық сәйкес келетін және оларды жан-жақты әрі сапалы түрде шешуге бағытталған тәсілдер жүйесінен тұрады. Бұл әдістемелік тәсілдер жиынтығы зерттеу нысанын кешенді түрде талдауға және ғылыми тұрғыда негізделген нәтижелер мен қорытындылар алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысы келесі кезеңдер бойынша жүргізілді:

1. Зерттеудің алғашқы кезеңінде автомобиль жолының қабаттарының құрамына топырақтың қату тереңдігінің әсеріне қатысты отандық және шетелдік авторлардың ғылыми еңбектеріне жүйелі теориялық талдау жүргізілді. Қарастырылып отырған мәселелерге жүйелі талдау жасау қазіргі заманғы зерттеушілердің ұстанымдарын айқындауға және зерттеу тақырыбының мазмұнын ашуда маңызы бар негізгі аспектілерді одан әрі талдауға қажетті тұтас ғылыми база қалыптастыруға мүмкіндік береді.

2. Зерттеудің екінші кезеңінде белгілі бір өңірлердегі топырақтың тоңдану ерекшеліктеріне аналитикалық зерттеу жүргізілді. Бұл өңірлердегі тоңдану құбылыстары автомобиль көлігінің қозғалысына айтарлықтай кедергі келтіретін маңызды факторлардың бірі болуы мүмкін. Аталған талдау ғылыми-зерттеу жұмысының алдын ала нәтижелерін айқындауға және оларды осы мәселе бойынша теориялық әрі практикалық тұрғыда зерттеу жүргізген авторлардың ғылыми тұжырымдарымен салыстыруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде зерттеу тақырыбы аясында қарастырылған барлық мәселелерді кешенді түрде зерделеуге жағдай жасайды.

3. Ғылыми-зерттеу жұмысының соңғы кезеңінде зерттеу барысында алынған нәтижелер негізінде түпкілікті қорытындылар қалыптастырылды. Жалпы алғанда, осы ғылыми зерттеудің қорытындылары ұсынылған тақырып шеңберінде жүргізілген теориялық және практикалық ізденістердің нәтижелерін жинақтай отырып, зерттеу мәселесін жан-жақты талдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері мен тұжырымдары автомобиль жолдарын жөндеу жүргізілетін аймақтардағы экологиялық жағдайды жақсарту тұрғысынан алғанда да елеулі практикалық маңызға ие.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӨДІСТЕРІ

Топырағы тоңданатын аймақтарда инженерлік құрылыстарды салу және автомобиль жолдарын төсеу топырақтың қату тереңдігін зерттеу және оны жол төсемінің негізінде азайтуға бағытталған арнайы шараларды жүзеге асыруды қажет етеді. Мұндай шаралар автомобиль жолының қабаттарын нығайтуға және дөңгелекті көлік құралдарының қозғалысы әсерінен жол төсемінің тозуға төзімділігін қамтамасыз етуге қажетті жағдайлар жасауға бағытталады. Егер автомобиль жолы төселетін учаскелерде топырақтың қату тереңдігі айтарлықтай болса, жол қабаттарының бұзылуын болдырмау мақсатында гранулданған көбік-шыны-керамиканы пайдалана отырып, жылу оқшаулағыш қабат төсеу ұсынылады. Зерттеуде пайдаланылған материалдың сыртқы құрылымдық ерекшеліктері 1-суретте бейнеленген.

Көбікті шыныкерамика топырақты маусымдық тоңазудан қорғау құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік беретін бірқатар қасиеттерге ие. Бұл материал негізінде жасалатын жылу оқшаулағыш қабат автомобиль жолының төсемі орналасқан жерлерде топырақтың тоңазуын сенімді түрде болдырмай, жол қабаттарының бұзылу ықтималдығын азайтады.



1-сурет. Гранулданған шыныкерамиканың сыртқы келбеті

Ескертпе: авторлар құрастырған (Шахмов Ж.А. и Хафиз Қ.Н.)

1-кестеде Қазақстанның әртүрлі аймақтарындағы (Солтүстік Қазақстан, Оңтүстік Қазақстан, Батыс Қазақстан, Шығыс Қазақстан) ірі қалалар бойынша топырақтың қату тереңдігі мен аяздық ісіну тереңдігіне қатысты деректер келтірілген.

1-кесте. Қазақстанның ірі қалаларындағы топырақтың қату тереңдігі мен аяздық ісіну тереңдігі.

Қала атауы	Топырақтың қату тереңдігі, м (нормативтік құжаттарға сәйкес)	Топырақтың нормативтік қату тереңдігі, м (формула бойынша есептелген)	Топырақтың аяздық көтерілу тереңдігі, м
Солтүстік Қазақстан			
Астана	2,22	2,73	2,21
Павлодар	2,44	2,75	2,29
Оңтүстік Қазақстан			
Алматы	1,01	1,36	1,17
Шымкент	0,69	0,43	0,28
Батыс Қазақстан			
Атырау	1,32	1,71	1,47
Орал	1,82	2,31	1,89
Шығыс Қазақстан			
Семей	2,28	2,43	2,16
Өскемен	2,32	2,64	2,23

Ескерту: кесте мәліметтері ҚР нормативтік құжаты – «Жол конструкцияларының су-жылу режимінің есептік мәндерін анықтау жөніндегі ұсынымдар» (Қазақстан Республикасының Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі Автомобиль жолдары комитеті төрағасының 2018 жылғы 21 желтоқсандағы №124 бұйрығы) негізінде автор тарапынан құрастырылған.



1-кестеде ұсынылған топырақтың қату тереңдігіне қатысты мәліметтер Қазақстан Республикасының ресми нормативтік құжаты – «Автомобиль жолдарының климаттық аймақтарына байланысты жол жамылғылары мен жер төсемесінің су-жылу режимінің сипаттамалық көрсеткіштерінің есептік мәндері бойынша ұсынымдар» (ҚР ИИДМ Автомобиль жолдары комитеті төрағасының 2018 жылғы 21 желтоқсандағы № 124 бұйрығы) негізінде алынған. 1-кестеде көрсетілген топырақтың қату тереңдігі автомобиль жолының құрылымына сәйкес жағдайларда анықталған, мұнда қар жамылғысы жол төсемесінде жоқ деп есептелген, бұл жолды пайдалану кезінде жүргізілетін техникалық қызмет көрсету шараларына байланысты.

Топырақтың нормативтік қату тереңдігі бойынша мәліметтер есептеу жүргізу арқылы алынған.

Топырақтың нормативтік қату тереңдігін (d_{fn}) келесі формула бойынша анықтау қажет (1):

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t} \quad (1)$$

мұндағы: d_{fn} – топырақтың нормативтік қату тереңдігі, м;

d_0 – ірі сынықты топырақтар үшін шамасы 0,34 м-ге тең деп қабылданады;

M_t – өлшемсіз коэффициент, осы аймақтағы қыс мезгіліндегі бір айдағы төмен температуралардың абсолюттік мәндерінің қосындысына сандық жағынан тең.

Астана: коэффициент $M_t = 64,4$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{64,4} = 0,34 \cdot 8,025 = 2,73 \text{ м}$$

Павлодар: коэффициент $M_t = 65,7$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{65,7} = 0,34 \cdot 8,105 = 2,75 \text{ м}$$

Алматы: коэффициент $M_t = 16,1$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{16,1} = 0,34 \cdot 4,012 = 1,36 \text{ м}$$

Шымкент: коэффициент $M_t = 1,6$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{1,6} = 0,34 \cdot 1,265 = 0,43 \text{ м}$$

Атырау: коэффициент $M_t = 25,4$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{25,4} = 0,34 \cdot 5,04 = 1,71 \text{ м}$$

Орал: коэффициент $M_t = 46,1$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{46,1} = 0,34 \cdot 6,79 = 2,31 \text{ м}$$

Семей: коэффициент $M_t = 51,1$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{51,1} = 0,34 \cdot 7,15 = 2,43 \text{ м}$$

Өскемен: коэффициент $M_t = 60,2$

$$d_{fn} = 0,34 \sqrt{60,2} = 0,34 \cdot 7,76 = 2,64 \text{ м.}$$

1-кестеде келтірілген топырақтың қатты тоңдану тереңдігі бойынша деректер есептеу әдісімен алынған.

Топырақтың аяздық ісіну тереңдігі (h) келесі формула бойынша анықталады, м (2):

$$h = \frac{K \cdot \sqrt{T}}{\lambda} \quad (2)$$



мұндағы: h – аяздық ісіну тереңдігі (м);

K – коэффициент, 1,3 көрсеткішке тең ірі сынықты топырақтар үшін (жылуөткізгіштік жағдайының коэффициенті);

T – қысқы кезеңнің орташа температурасы;

λ – топырақтың жылу өткізгіштік коэффициенті. 2,2 көрсеткішке тең ылғалды ірі сынықты топырақ үшін.

Астана: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{14}}{2,2} = \frac{4,862}{2,2} = 2,21\text{ м}$$

Павлодар: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{15}}{2,2} = \frac{5,035}{2,2} = 2,29\text{ м}$$

Алматы: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 3,93\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{3,93}}{2,2} = \frac{2,576}{2,2} = 1,17\text{ м}$$

Шымкент: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 0,23\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{0,23}}{2,2} = \frac{0,623}{2,2} = 0,28\text{ м}$$

Атырау: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 6,23\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{6,23}}{2,2} = \frac{3,243}{2,2} = 1,47\text{ м}$$

Орал: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 10,26\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{14}}{2,2} = \frac{4,16}{2,2} = 1,89\text{ м}$$

Семей: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{13,4}}{2,2} = \frac{4,758}{2,2} = 2,16\text{ м}$$

Өскемен: қысқы кезеңнің орташа температурасы $T = 14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt{14,3}}{2,2} = \frac{4,915}{2,2} = 2,23\text{ м}$$

2-суретте Қазақстанның әртүрлі өңірлеріндегі (Солтүстік Қазақстан, Оңтүстік Қазақстан, Батыс Қазақстан, Шығыс Қазақстан) ірі қалалар бойынша топырақтың қату тереңдігі мен тоңдану ісіну тереңдігінің графикалық бейнесі көрсетілген. Мәліметтер қисық сызық түрінде ұсынылған.

Ұсынылған графикте Қазақстанның әртүрлі ірі қалалары үшін топырақтың қату тереңдігі мен тоңдану ісіну тереңдігінің мәндері көрсетілген. Көк түсті сызық топырақтың қату тереңдігін нормативтік құжаттар негізінде бейнелейді, ал тоқсары түсті сызық – формула бойынша есептелген нормативтік қату тереңдігін сипаттайды. Сұр түсті сызық топырақтың тоңдану ісіну тереңдігін көрсетеді.



2-сурет. Қазақстанның әртүрлі ірі қалаларындағы топырақтың қату тереңдігі мен тоңдану ісіну тереңдігі

Ескерту: мәліметтер Қазақстанның әртүрлі өңірлеріндегі ірі қалалар бойынша топырақтың қатуы мен тоңдану ісінуі туралы деректер негізінде авторлар тарапынан құрастырылған.

Графикті талдау нәтижесінде қату тереңдігінің өңірдің географиялық орналасуына байланысты айтарлықтай айырмашылықтары бар екені анықталды. Ең жоғары мәндер Павлодар, Өскемен және Семей сияқты солтүстік және шығыс қалаларда байқалады, мұнда топырақтың қату тереңдігі 2,5–3,0 метрге дейін жетеді. Ал Алматы мен Шымкент сияқты оңтүстік қалаларда бұл көрсеткіш едәуір төмен – 0,5–1,0 метр шамасында, бұл жағдай аталмыш өңірлердегі климаттың жұмсақтығымен түсіндіріледі. Қату тереңдігінің екі нұсқасын салыстыру нәтижесінде формула бойынша есептелген мәндер (тоқсары сызық) көбінесе нормативтік құжаттардан алынған мәндерден (көк сызық) жоғары екені байқалады. Айқын түрде көрініп тұрған айырмашылық Павлодар және Атырау қалаларында тіркелген, бұл жағдай топырақтың жылу балансының ерекшеліктерімен және есептеу әдістемесінің өзгешеліктерімен түсіндірілуі мүмкін.

Топырақтың физикалық-механикалық қасиеттері әртүрлі мұздану-еру режимдерінде зертханалық жағдайда сынақтан өткізілді. Сынақ барысында топырақ үлгілері бірнеше цикл бойынша қату (–10...–15 °C) және еру (+18...+20 °C) температуралық режиміне ұшыратылды. Бұл режимдер топырақтың табиғи жағдайда бастан кешетін маусымдық өзгерістерін имитациялау мақсатында таңдалды. Әрбір қату-еру циклі шамамен 48 сағатқа созылып, үлгілердің физикалық-механикалық қасиеттерінің динамикасы бақыланды. Нәтижесінде топырақ құрылымындағы өзгерістер, ылғалдылық деңгейінің ауытқуы, сондай-ақ тығыздық пен беріктік көрсеткіштерінің төмендеуі тіркелді. Әр цикл аяқталған соң топырақтың беріктік көрсеткіші, деформация модулі және суға қанығу деңгейі анықталды.

Зерттеу нәтижелері бойынша, бірінші қату-еру циклынан кейін топырақтың беріктік көрсеткіші бастапқы мәнімен салыстырғанда шамамен 8-12 % төмендегені байқалды. Деформация модулі орта есеппен 10-15 % кеміді. Екінші және үшінші циклдардан кейін бұл өзгерістердің қарқыны күшейіп, тиісінше беріктік шамасы 20-25 %, ал деформация модулі 25-30 % төмендеді. Сонымен қатар, төмен температура жағдайында топырақтың суға қанығу деңгейі біртіндеп артқаны анықталды, бұл мұз түзілу процесінің белсенділігін көрсетеді.

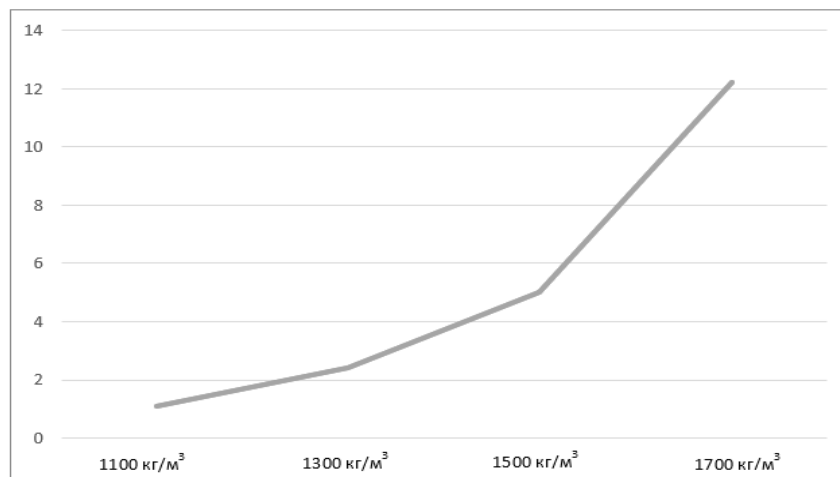


Жалпы алғанда, мұздану-еру режимдерінің қайталануы топырақ құрылымының тұрақтылығын әлсіретіп, оның физика-механикалық қасиеттерін едәуір нашарлататыны дәлелденді. Бұл құбылыс автомобиль жолдарының тоң аймақтарындағы пайдалану сенімділігіне тікелей әсер ететіндігі анықталды.

Топырақтың маусымдық қату тереңдігі автомобиль жолының қабаттарының жалпы күйіне айтарлықтай әсер етеді. Топырақтың қату тереңдігі жоғары аймақтарда жол конструкциясының астындағы көтерілулер рұқсат етілген шектен аспауы тиіс. Бұл талапты қамтамасыз ету мақсатында тоңданудан қорғайтын қабаттар төселеді. Олар кондициялық құмнан, құм-қиыршықтас қоспасынан, шағалдан, беріктендірілген топырақтардан және басқа да тоңдануға төзімді материалдардан тұрады. Автомобиль жолдарының төмен үйінділер мен ойпаң жерлер арқылы өтетін учаскелерінде, жер асты суларының деңгейі жоғары болған жағдайда, тоңданудан қорғайтын қабаттың қалыңдығы 1 метрге дейін және одан да көп болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда жол жамылғысының тоңданудан қорғайтын қабатын жасау үшін қажетті кондициялық құм мен материалдардың жеткілікті мөлшерін қамтамасыз ету қиынға соғады. Осыған байланысты, пеношыны керамикасынан жасалған жылуоқшаулағыш қабатты қолдану тоңданудан қорғайтын қабаттың қалыңдығын айтарлықтай азайтуға немесе оны мүлдем қолданбауға мүмкіндік береді.

Дренаждық құм қабаты жол жамылғысы қабаттарынан және оның астындағы топырақтардан суды әкетуге мүмкіндік береді. Оның қалыңдығы нақты жол учаскесіндегі қолайсыз геологиялық-гидрологиялық жағдайларда, сондай-ақ күрделі санаттағы жолдарды салу кезінде едәуір мәнге жетуі мүмкін. Сүзу коэффициенті тәулігіне кемінде 2 метр болатын құмның жеткілікті көлемін құрылысқа жеткізу көп жағдайда күрделі міндет болып табылады. Жол жамылғысы қабаттарының астындағы топырақтың қатуын болдырмайтын пеношыны керамикасынан жасалған жылуоқшаулағыш қабатты қолдану дренаждық қабаттың қалыңдығын (20-25 см-ге дейін) азайтуға мүмкіндік береді. Өйткені бұл жағдайда дренаждық қабатқа судың түсуінің негізгі көзі жойылады. Топырақ қатпаған жағдайда оның тоңдану салдарынан ісінуі және көктемгі еріген кезде шөгуі, соның нәтижесінде дренаж қабатына су ағуы орын алмайды.

3-суретте топырақтың қату тереңдігіне байланысты автомобиль жолы қабаттарының жай-күйінің графикалық тәуелділігі көрсетілген. Мәліметтер қисық сызық түрінде ұсынылған.



3-сурет. Қазақстан Республикасы топырақтың қату тереңдігіне байланысты автомобиль жолы қабаттарының тығыздығының тәуелділігі

Ескерту: мәліметтер Қазақстанның түрлі өңірлеріндегі ірі қалалардағы топырақтың қатуы мен тоңдану ісінуі бойынша деректер негізінде авторлармен құрастырылған



3-суретте ұсынылған деректерден көрініп тұрғандай, Қазақстан Республикасы аумағындағы автомобиль жолдарында топырақтың қатуы кезінде жол жамылғысы қабаттарының тығыздығының жүйелі түрде артуы байқалады. Алайда бұл құбылыс уақытша сипатқа ие, себебі топырақ қатқан күйден шыққаннан кейін оның тығыздық көрсеткіштері бастапқы мәндеріне қайта оралады. Сонымен қатар, жол төсенішін салу барысында топырақтың қату тереңдігі артқан сайын жол қабаттарының тығыздалу көрсеткіштерінің күрт жоғарылайтыны атап өту керек. Мұндай жағдай Қазақстан Республикасы үшін тән құбылыс, себебі ел аумағында топырақ эрозиясы кең таралған мәселелердің бірі болып табылады. Бүгінгі таңда еліміздің топырақ жамылғысының төрттен бір бөлігіне жуығы жел эрозиясына ұшыраған, бұл өз кезегінде топырақтың қату тереңдігі кезінде автомобиль жолы қабаттарының тығыздалу параметрлерінің едәуір артуына жанама себеп болып табылады. Автомобиль жолының төсемі орналасқан учаскелерде топырақтың қатуы кезінде тығыздық көрсеткіштері айтарлықтай артады, себебі эрозияға ұшыраған үстіңгі қабаттарға қарағанда, төменгі қабаттар тығыз болады.

Топырақ маусымдық түрде қататын аймақтарда автомобиль жолы учаскелерінде тоңданудан қорғайтын қабаттарды орнату қажет. Жылуоқшаулағыш материалдардан, соның ішінде пенопласт немесе пеношыны керамикасынан тұратын жұқа қабаттар, жол жамылғысының қалыңдығы мен құрылымдық параметрлерін сақтай отырып, тиімді шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Бұл ретте автомобиль жолы қабаттарының құрамы айтарлықтай өзгерістерге ұшырамайды. Осындай материалдардың ішінде гранулданған пеношыны керамикасы ерекше назар аудартады. Ол жоғары жылу оқшаулау коэффициентіне ($\lambda \approx 0,09-0,12$ Вт/м·К), жеңіл салмақтылығына, өрт қауіпсіздігіне және химиялық тұрақтылығына байланысты жол құрылымында кеңінен қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, оның ұзақ мерзімділігі климаттық жағдайға тәуелді: тұрақты аймақтарда қызмет ету мерзімі 30-50 жылға жетсе, ылғалды ортада жылу оқшаулау қасиеті уақыт өте келе төмендеуі ықтимал. Экономикалық тұрғыдан алғанда да материалдың тиімділігі әртүрлі климаттық аймақтарда әрқалай бағаланады – суық климатта жылу шығынын азайту арқылы үнемділік жоғары болса, ылғалды аймақтарда қосымша гидрооқшаулау шығынын талап етеді.

Автомобиль жолының қатқан учаскелерімен көлік қозғалысы кезінде жол жамылғысы қабаттарының құрамында айтарлықтай өзгерістер орын алады. Мұндай жағдайда жол төсеміне түсетін жоғары жүктемелер кезінде қату аймақтарында жол конструкциясының бұзылу ықтималдығы едәуір артады. Сонымен қатар, жел эрозиясының әсерінен топырақтың үстіңгі қабатының бұзылуы жағдайды одан әрі қиындата түседі. Аталған жағдай автомобиль жолының жамылғы қабаттарында құрылымдық өзгерістердің туындауына себеп болады. Бұл өзгерістер келесі негізгі үрдістермен сипатталады:

- жекелеген учаскелерде үгітілу ықтималдығы жоғары болатын беткі қорғаныс қабатының тозу қарқынының артуы;
- жол жамылғысының үстіңгі қабаттарында жарықтардың пайда болуы;
- топырақ жамылғысының эрозиясы орын алатын аймақтарда үстіңгі қабаттардың қарқынды тозуы;
- төменгі конструктивтік қабаттардың шөгуді.

Бұл өзгерістердің қарқындылығы жол төсемі орналасқан учаскелердегі топырақтың маусымдық қату тереңдігі артқан сайын күшейе түседі. Жалпы алғанда, Қазақстан аумағындағы автомобиль жолы конструкцияларының деформациясы (жол жабындысы тегістігінің төмендеуі және үйінділердің тығыздығының азаюы) – маусымдық қату құбылысы тән барлық жол-климаттық аймақтар үшін тән мәселелердің бірі болып табылады. Төмен температураның әсерінен туындайтын тоңдану ісінуі салдарынан көлік



инфрақұрылымы элементтерінің бұзылуы жөндеу жұмыстарын жүргізуді күрделендіреді және жолдарды ұстауға кететін шығындардың артуына алып келеді. Осыған байланысты, жол төсенішінің тоңдану ісінуі әсерінен бұзылуын болдырмау қазіргі Қазақстан Республикасының аумағының 90 %-ы үшін өзекті мәселе болып табылады.

Қазақстан аумағындағы автомобиль жолы қабаттары үшін айрықша қауіп туындататын факторлардың бірі – көктайғақ пен мұздану құбылыстары. Олар көлік қозғалысына кедергі келтірумен қатар, жол төсенішінің конструктивтік қабаттарының техникалық жағдайына кері әсер етеді. (Muthu & Santhanam, 2018). Мұздану құбылыстары кең таралған аймақтар – мәңгі тоңды топырақтар таралған аумақтар болғанымен, олар маусымдық қату тереңдігі жоғары өңірлер үшін де тән. Мұздану алаңдарының көлемі ондаған-жүздеген шаршы метрден бастап, жүздеген шаршы километрге дейін және одан да көп аумақты қамтуы мүмкін. Жол төсенішінде жылу оқшаулағыш материалдар қабаттарын орналастыру арқылы мұзданудың таралуына қарсы күрес жүргізу екі негізгі мәселені шешуге мүмкіндік береді: мұз қабаты ерігеннен кейін туындайтын салдарлардан қорғау және топырақтағы судың қатуын болдырмау. 2-кестеде топырақтың 3 метр тереңдікке дейін қатуы жағдайында жол төсеніші учаскесінің техникалық күйін бағалауға бағытталған эксперименттік зерттеу нәтижелерінің негізгі параметрлері келтірілген.

2-кесте. Қазақстан Республикасы автомобиль жолдары жағдайында топырақтың 3 метрге дейін қатуы кезінде жол төсенішін зерттеудің параметрлері

Сынақ жүргізу уақыты, сағат	Температура кезіндегі сығу беріктігінің шегі, °C, МПа				сүмен қанығу, % көлем бойынша	ісінуі, % көлем бойынша	ұзақ мерзімді сүмен қанығу, % көлем бойынша	суға төзімділік коэффициенті K _в	көлемдік салмақ, г/см ³
	құрғақ күйінде			сүмен қаныққан күйінде					
	20 °C R ₂₀	50 °C R ₅₀	0 °C R ₀	20 °C R ₂₀ ^B					
0	3,4	1,4	12,0	4,9	1,8	0,83	3,5	0,80	3,56
180	3,4	1,4	11,5	5,5	2,35	0,76	2,8	0,65	3,46
360	3,5	1,3	11,5	6,7	1,5	0,58	3,4	0,77	2,28
540	4,2	1,35	11,5	4,5	1,4	0,54	4,0	2,0	3,86
720	4,4	1,4	11,5	4,4	1,0	0,60	3,4	1,0	3,1

Ескерту: автор тарапынан Қазақстан Республикасындағы автомобиль жолдарында топырақтың 3 метрге дейінгі тереңдікке қату процесіне жүргізілген эксперименттік параметрлер негізінде құрастырылған

2-кестеде келтірілген деректер қатқан жол жамылғысы учаскесінің айтарлықтай дәрежеде сүмен қанығуын, сондай-ақ қату процесі кезінде жол қабаттарының суға төзімділік коэффициенті мен көлемдік салмағының артқанын көрсетеді. Бұл көрсеткіштер жол жамылғысы қабаттарының қасиеттері топырақтың қату жағдайында елеулі өзгерістерге ұшырайтынын көрнекі түрде дәлелдейді және топырақтың қату тереңдігі мен жол құрылымының қабаттық сипаттамалары арасында тікелей байланыс бар екенін көрсетеді. (Kala 2016). Топырақтың қату ұзақтығы да маңызды фактор болып табылады, себебі бұл параметр жол жамылғысы қабаттарының қасиеттерінің өзгеруімен және олардың құрамымен тікелей байланысты.

Осы тұрғыдан алғанда, асфальтбетон жабындысының қасиеттерін талдау аса өзекті. Асфальтбетонның маркасы оның қаттылығы мен аязға төзімділігін айқындайды: тығыз,



жоғары модульді қоспалар қату-еру кезінде аз деформацияланады және төменгі қабаттарға біркелкі жүктеме береді, ал төмен маркалы жабындар микроқатпарлы жарықтар мен қабатаралық сырғанауларға бейім болады. Құрылымдық тығыздық жоғары болған жағдайда қабатаралық су өткізгіштік азайып, қату процесінде ылғалдың жиналу қаупі төмендейді. Сонымен қатар, асфальтбетонның төменгі қабаттармен адгезиялық байланысы жақсы болғанда, аяздық көтерілу кезінде конструкция бірге жұмыс істеп, жарықтар азаяды.

Жабынның суға қанығу деңгейі де шешуші рөл атқарады: жоғары қанығу аяздық көтерілу қаупін арттырады, ал тығыз құрылымды, битум мөлшері жеткілікті жабындарда бұл құбылыс әлдеқайда аз байқалады. Асфальтбетонның аязға төзімділігі F-маркасымен (F200, F300) белгіленіп, қабаттың қату-еру циклдарына төтеп беру қабілетін сипаттайды. Жоғары аязға төзімділік қабаттың аяздық көтерілу кезінде жарылып кетуін немесе ойылып кетуін болдырмай, қызмет мерзімін ұзартады.

Нәтижесінде асфальтбетон жабындысы мен төменгі қабаттардың бірлескен жұмысы жол төсемінің сенімділігін қамтамасыз етеді. Егер жабынның суға төзімділігі жоғары, адгезиясы мықты және аязға төзімділігі жеткілікті болса, онда қату ұзақтығы мен қату тереңдігі өзгерген жағдайда да қабаттар бірге қозғалып, кернеулер біркелкі таралады. Ал керісінше, төмен сапалы жабындар мен суға қаныққан құрылымдар қату кезінде локальды көтерілулер мен жарықтардың пайда болуына алып келеді. Бұл жағдай жол жамылғысының мерзімінен бұрын бұзылуына және жөндеу жұмыстарының жиілеуіне себеп болады.

Көлік инфрақұрылымы нысандарында терең қату салдарынан туындайтын бүліну процестерінің даму қарқындылығы көпқабатты құрылымдар мен топырақ негізін құрайтын топырақтардың қату/еріту циклдарының төзімділігіне тікелей байланысты. Терең қату жағдайында топырақ-су-ауа жүйесінің құрылымында елеулі өзгерістер орын алады (Lin et al, 2020). Топырақ құрылымындағы ылғалдың қатуы – жол жамылғысы қабаттарындағы топырақтың аяздық ісінуінің негізгі себебі болып табылады. Осыған байланысты, маусымдық қату аймақтарында жылу оқшаулағыш қабаттарды орналастыру автомобиль қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан аса маңызды. Бұл мәселені уақтылы және сапалы түрде практикалық шешу жол жамылғысының қабаттарының қасиеттері мен құрамына, сондай-ақ жол учаскелерін қауіпсіз пайдалануға тікелей әсер етеді. Сонымен қатар, қату процесі кезінде ылғалдың жоғалуын бақылау жол жамылғысының аязға және маусымдық бұзылуларға төзімділігін анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. (Uterov et al, 2022).

Қазақстан Республикасының автомобиль жолдарына қатысты қарастыратын болсақ, ел аумағындағы топырақтар (солтүстік аймақтарды қоспағанда) негізінен тұзға қаныққан, минералды элементтерге тапшы және құрамында ауыр металдармен ластану деңгейі жоғары. Мұндай жағдайда топырақтың қату тереңдігі автомобиль жолының қабаттарының күйіне тікелей әсер етеді, себебі топырақ жамылғысында кездесетін ластаушы заттар маусымдық тоң тереңдігінде орналасқан жол жамылғысының сапасына қосымша кері әсер етуі мүмкін. Осыған байланысты елімізде топырақ ресурстарын ұтымды пайдалану жөніндегі іс-шаралар кешенін әзірлеу және енгізу, сондай-ақ автомобиль жолдарын салу кезінде топырақтардың күйін жақсарту мәселелері өзекті болып табылады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Автомобиль жолының төсеніші орналасқан аумақтағы жолының топырақтың температуралық режимі жылу энергиясының түсуі мен сыртқа шығуына байланысты қалыптасады және ол топырақ құрамындағы минералды элементтерге, бедер ерекшеліктеріне, өсімдіктер жамылғысының болуына, күн сәулесінің түсу деңгейі мен



ұзақтығына, сондай-ақ топырақтың ылғалдылығы мен кеуектілігіне байланысты, себебі бұл қасиеттер топырақтың жылуфизикалық сипаттамаларын анықтайды. Бұдан бөлек, өзге де бірқатар факторлар әсер етеді. Топырақтың жылынуының басты көзі — оның беткі қабаты сіңіретін күн сәулесінің энергиясы. Жоғарғы қабаттарға түскен жылу біртіндеп төменгі қабаттарға таралады. Суық мезгілінде бұл жылу ылғалдың булануына және қоршаған ауаны жылытуға жұмсалады (Тиратурян, Ляпин и Углова 2023). Аталған факторлардың өзара байланысы автомобиль жолының қабаттар құрамына жыл мезгілдеріне байланысты әсер ету тұрғысынан маңызды рөл атқарады. Топырақтың беткі қабаттарындағы тәуліктік және жылдық температуралық өзгерістер жылуөткізгіштік әсерінен төменгі қабаттарға беріледі. Бұл ретте температураның тереңдікке байланысты өзгеру кезеңі, әдетте, тұрақты сипатта болады: топырақтың бетінде және дерлік барлық тереңдіктерде температураның өзгеруінің периодтылығы 24 сағатты (тәуліктік жүріс) және 12 айды (жылдық жүріс) құрайды.

Автомобиль жолдарының жолдарының жамылғысы пайдалану кезеңі бойында сыртқы әсерлер мен маусымдық температура ауытқулары салдарынан құрылымдық деформацияларға ұшырайды. Жол қабаттарының күйі топырақтағы температуралық өзгерістермен — қыс мезгіліндегі тоңдану және жазғы уақытта топырақтың қызуына — тікелей байланысты (Zhussupbekov et al., 2013). Топырақтың тоңдану тереңдігі автомобиль жолы қабаттарының техникалық жай-күйіне тікелей ықпал етеді, өйткені ол жол жамылғысының құрылымдық деформациясына және оның жекелеген қабаттар тұтастығының бұзылуына алып келуі мүмкін (Вишневский & Стетюха 2018).

Сонымен қатар, маусымдық тоңдану тереңдігін төмендету және топырақтың аяздық ісіну үдерістерін азайтуға мүмкіндік беретін әртүрлі жылуоқшаулағыш материалдар аяздан қорғау қабаттарын орнатуда кеңінен қолданылуда. Көлік инфрақұрылымын жақсарту жол құрылысын жобалау нормаларын жетілдіруді және жол жамылғысының негізіне қосымша аяздан қорғайтын қабаттарды орнату үшін жаңа материалдарды енгізуді талап етеді. Бұл өз кезегінде жол конструкцияларының ұзақ мерзімділігін және апатсыз пайдалануын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Chen et al., 2020). Осындай материалдардың бірі ретінде кремнийлі шикізат негізінде алынатын түйіршіктелген көбікті шыныкерамиканы (ТКШК) атауға болады. Бұл материал көлік құрылысында қолдануға қажетті қасиеттер жиынтығына ие. Көлік инфрақұрылымын салу барысында жергілікті материалдарды қолдану – жол жамылғысының сапасын жоғары деңгейде ұстап тұрудың және экономикалық дамудың тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды факторы болып табылады. Топырақтың тоңдық көтерілімдері – бұл жер ылғалының (шамамен 9 %) мұзға айналу нәтижесінде көлемінің ұлғаюынан туындайтын құбылыс. Бұл құбылыс топырақтағы ылғалдың тоңдануға дейінгі және тоң шекарасына қарай терең қабаттардан көтерілуі нәтижесінде пайда болады. Мұндай жағдайда судың сұйық күйден қатты күйге (мұзға) ауысуы байқалады. Тоңдық көтерілімдер – бұл суық мезгілде жол жамылғысы мен жер төсеніші ісініп, тегістігін жоғалтуымен көрінетін деформациялар. Ал еріген кезеңде көлік қозғалысы нәтижесінде бұл қабаттарда артық ылғалдың әсерінен жол төсеніші беріктігінің төмендеуі салдарынан жарықтар мен шөгу аймақтары пайда болады. (Al-Majidi et al 2018).

Мұздық көтерілу құбылысы бірнеше факторлардың әсерінен жүреді. Алғашқы фактор ретінде, бұл – төмен температура жағдайында ылғалдың қарқынды түрде жиналуы, нәтижесінде жол жамылғысының үстіңгі қабаттарында ылғалдылықтың жоғары деңгейі байқалады. (Zhussupbekov et al., 2012). Келесі фактор ретінде, жол жамылғысы астындағы топырақтың тоңдану тереңдігі кемінде бір метрді құрауы тиіс. Сонымен қатар, топырақ құрамында ұсақ шаңды құмдар мен сазды құм немесе басқа да тоңдануға бейім топырақтар болуы қажет. Қазақстан аумағының көп бөлігі топырақтардың маусымдық



тоңдану құбылысымен ерекшеленеді. Геологиялық-гидрологиялық жағдайлары қолайсыз кейбір автомобиль жолдарының учаскелерінде топырақтың тоңдану процестерімен байланысты әртүрлі деформациялар байқалады. Елдің көптеген аймақтарында көктемгі және күзгі мезгілдерге ауа райының тұрақсыздығы, температураның күрт өзгеруі мүмкін. Ауа температурасының күрт төмендеуі мен қайта жылынуы кезең-кезеңімен алмасып отырады (тәуліктік немесе мерзімді температура айырмашылығы) (Yang et. al., 2017). Аталған құбылыс тоңдану мен еру үдерістерінің көп мәрте қайталанатын цикл түрінде жүретінін аңғартады. Қысқа уақыт аралығында топырақ мерзімді түрде тоңған және еріген күйде бола алады, бұл өз кезегінде жол жамылғысы астындағы үйінді топырақта қайталама тоңдану нәтижесінде пайда болатын топырақтың көтерілуі мен құрылымдық босау үдерістерінің орын алуына себеп болады (Awwad et. al., 2019). Бұл факторлардың барлығы жол жамылғысының беріктігі мен ұзақ мерзімділігіне теріс әсер етіп, автомобиль жолының қабаттары сапасының нашарлауына және кейбір учаскелердің мерзімінен бұрын жарамсыз күйге түсуіне себеп болады. Автомобиль магистральдарында топырақтың көтерілу қаупі бар топырақты учаскелердің болуы жол жамылғысының көлік-пайдалану сипаттамаларының төмендеуіне әкеледі, бұл өз кезегінде жол апатының артуына және автомобиль қатынасының жалпы қауіпсіздік деңгейінің төмендеуіне себеп болады (Zamanabadi et. al., 2019). Осыған ұқсас жағдайларды уақытылы анықтап, оларды тиімді әрі сапалы түрде оңтайландыру – маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Жол жамылғысының қабаттарын жобалау мен салу барысында топырақтың тоңдану тереңдігін есепке алу – міндетті шарттардың бірі болып табылады. (Lee et. al., 2020). Топырақтың тоңдану тереңдігі дұрыс есептелмеген жағдайда, автомобиль жолының қабаттарының мерзімінен бұрын бүлінуі және жиі жөндеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігі сияқты жол жамылғысын пайдалану барысында түрлі мәселелер туындауы мүмкін. Жол қабаттарын салу кезінде қолданылатын материалдар салалық сапа стандарттарына сай болуы тиіс және төмен температураның әсеріне жоғары төзімділікке ие болуы қажет.

ҚОРЫТЫНДЫ

Автомобиль жолдары орналасқан учаскелердегі топырақтың терең тоңдануы, жалпы алғанда, жол қабаттарының күйіне кері әсер етеді. Топырақтың тоңдануы салдарынан жол қабаттарындағы ылғалдың кеңеюі байқалады, бұл өз кезегінде жол жамылғысының бұзылуына алып келеді. Осы процестер нәтижесінде автомобиль жолының қабаттық құрамында елеулі өзгерістер орын алады, бұл өз кезегінде жол жамылғысының жекелеген учаскелерінің жарамсыз күйге түсуіне және жол жөндеу жұмыстарын жүргізу қажеттігіне алып келуі мүмкін. Топырақтың маусымдық тоңдану үдерістерінің жол жамылғысының құрылымына әсерін азайту үшін жыл сайын жолдарды жөндеуге қомақты қаржы шығындары талап етіледі. Бүгінгі күні қолданыстағы жол қозғалысы қауіпсіздігіне қойылатын нормативтік талаптар жол шаруашылығы қызметтерін жол жамылғысының сапасының белгілі бір деңгейін қамтамасыз етуге міндеттейді. Мұндай талаптарды сақтау жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан да, сондай-ақ автомобиль жолының жамылғысын практикалық пайдалану мерзімін ұзарту мақсатында да маңызды мәнге ие.

Автомобиль жолының топырағы маусымдық тоңдану нәтижесінде пайда болатын топырақтың көтерілуі процесі жол құрылысында және жөндеу жұмыстарында құм негізіндегі материалдарды қолдану арқылы тиімді түрде азайтылуы мүмкін. Аталған құрылыс әдістемесін топырақтың тоңдану тереңдігі бірнеше метрге дейін немесе одан да жоғары деңгейге жететін аймақтарда орналасқан автомобиль жолдарна қолдану орынды әрі тиімді болып табылады. Сонымен қатар, автомобиль жолының жамылғы



қабаттарының астындағы топырақта тоңдану тереңдігі қар жамылғысымен қорғалған табиғи аумақтарға қарағанда едәуір терең болатынын да назрға алу керек. Себебі қар қабаты жылу оқшаулағыш қызметін атқарады. Бұл жайт, әсіресе ашық жол учаскелерінде және маусымдық жауын-шашын түсетін аймақтарда жөндеу жұмыстарын жүргізу кезінде міндетті түрде назарға алынуы тиіс. Қалай болғанда да, жол жамылғысы орналасқан жерлердегі маусымдық тоңдану үдерісі жолдың пайдалану шарттарының бұзылуына және оның мерзімінен бұрын істен шығуына әкелетін негізгі себептердің бірі болып табылады.

Осылайша, автомобиль жолын жобалау кезінде және оны салудың барлық кезеңдерінде құрылыс жүргізілетін аймақтың климаттық жағдайларын ескеру қажет. Бұл – болашақта топырақтың терең тоңдануына байланысты туындайтын жолды пайдалану мәселелерінің алдын алу үшін маңызды. Мұндай тәсіл автомобиль жолының қабаттарының бүтіндігін сақтап, жол жамылғысының қауіпсіздігі мен сенімді пайдаланылуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Зерттеу авторлардың өз қаражаты есебінен қаржыландырылады.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Бұл жұмысты дайындау барысында авторлар генеративті жасанды интеллект құралдарын қолданбады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Li, Y., et al. (2021). Harmless treatment of municipal solid waste incinerator fly ash through shaft furnace. *Waste Management*, 124, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.039>
- Chen, Q., et al. (2021). Effect of chloride attack on the bonded concrete system repaired by UHPC. *Construction and Building Materials*, 272, – Article number 121971. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121971>
- Zhang, S., et al. (2018). Influence on gaseous pollutants emissions and fly ash characteristics from co-combustion of municipal solid waste and coal by a drop tube furnace. *Waste Management*, 81, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.048>
- Sangiorgi C. et al. (2018). Stone mastic asphalt (SMA) with crumb rubber according to a new dry-hybrid technology: A laboratory and trial field evaluation. *Construction and Building Materials*, 182, 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.128>
- Haze, Hunger & Hesitation (2020). Disaster aid after the 1783 Laki eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 406. – Article number 107080. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107080>
- Muthu, M. & Santhanam, M. (2018). Effect of reduced graphene oxide, alumina and silica nanoparticles on the deterioration characteristics of Portland cement paste exposed to acidic environment. *Cement and Concrete Composites*, 91, 118-137. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.005>
- Kala R. (2016). *On-Road Intelligent Vehicles* 1st Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, Paperback ISBN: 9780128037294 eBook ISBN: 9780128037560 <https://shop.elsevier.com/books/on-road-intelligent-vehicles/kala/978-0-12-803729-4>
- Lin J. et al (2020). Dispersion of graphene oxide–silica nanohybrids in alkaline environment for improving ordinary Portland cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 106. Article number 103488. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103488>



- Utepov, Y. et al (2022). Investigating the Influence of Initial Water pH on Concrete Strength Gain Using a Sensors and Sclerometric Test Combination. 7(12), <https://doi.org/10.3390/infrastructures7120159>
- Тиратурян А.Н., Ляпин А.А. и Углова Е.В. (2023). Совершенствование неразрушающего метода определения механических характеристик элементов многослойных конструкций на примере дорожных одежд. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, 1, 56–65. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2023.1.06> // Tiraturyan A.N., Lyapin A.A., i Uglova E.V. (2023). Sovershenstvovanie nerazrushayushchego metoda opredeleniya mekhanicheskikh kharakteristik elementov mnogosloynnykh konstruktsiy na primere dorozhnykh odezhd [Improvement of the non-destructive method for determining the mechanical characteristics of multilayer structure elements using road pavements as an example]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 1, 56–65. (In Russ.)
- Zhussupbekov, A.Zh., Utepov, Ye.B., Shakhmov, Zh.A. & Ling, H.I. (2013). Model testing of piles in a centrifuge for prediction of their in-situ performance. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 50, 92–96 DOI:10.1007/s11204-013-9217-9
- Вишневикий А.В. и Стетюха В.А. (2018). Деформации дорожного полотна на структурно-неустойчивых грунтах. Вестник Забайкальского государственного университета, 10, 4–11. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2018-24-10-4-11> // Vishnevskiy A.V., i Stetyukha V.A. (2018). Deformatsii dorozhnogo polotna na strukturno-neustoichivyykh gruntakh [Deformations of road pavement on structurally unstable soils]. Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta, 10, 4–11. (In Russ.)
- Chen L., Liao Y., Ma X. & Niu Y. (2020). Effect of co-combusted sludge in waste incinerator on heavy metals chemical speciation and environmental risk of horizontal flue ash. Waste Management, 102, 645-654. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.027>
- Al-Majidi M.H. et al (2018). A novel corrosion resistant repair technique for existing reinforced concrete (RC) elements using polyvinyl alcohol fibre reinforced geopolymer concrete (PVAFRGC). Construction and Building Materials, 164, 603-619. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.213>
- Zhussupbekov, A., Shakhmov, Zh., Shin, E.C. & Krasnikov, S. (2012). Challenges for transportation geotechnics in extreme climates of Kazakhstan and Korea. 2nd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG), 655 – 660. DOI:10.1201/b12754-99
- Yang G.C.C., Chuang T-S. & Huang C-W. (2017). Achieving zero waste of municipal incinerator fly ash by melting in electric arc furnaces while steelmaking. Waste Management, 62, 160-168. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.021>
- Awwad, T., Shakhmov, Zh.A., Lukpanov, R.E. & Yenkebayev, S.B. (2019). Experimental Study on the Behavior of Pile and Soil at the Frost Condition. International Congress and Exhibition" Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology", 69–76. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-01902-0_7
- Zamanabadi S.N., Zareei S.A., Shoaie P. & Ameri F. (2019). Ambient-cured alkali-activated slag paste incorporating micro-silica as repair material: Effects of alkali activator solution on physical and mechanical properties. Construction and Building Materials, 229, Article number 116911. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116911>
- Lee B., Lee S., Kim B. & Choi H. (2020). Advanced characterization of IGCC slag by automated SEM-EDS analysis. Waste Management, 116, 140-146. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.001>



Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Шахмұров Жанболат Ануарбекович – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Шахмұров Жанболат Ануарбекович – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Shakhmurov Zhanbolat – PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: zhanbolat8624@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1680-5287>



Тлеуленова Гүлшат Төлеуна – PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Тлеуленова Гүлшат Төлеуна – PhD, и.о. доцент, Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Tleulenkova Gulshat – PhD, acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: gulshattleulenkova7@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2806-1588>



Хафиз Қайрат Нұрлыбекұлы – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Хафиз Қайрат Нұрлыбекұлы – докторант, Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Khafiz Kairat – Doctoral's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: kairat_9207@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7552-9277>



Хафизов Азамат Нұрлыбекулы – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Хафизов Азамат Нұрлыбекулы – магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана қ., Казахстан

Khafizov Azamat – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: azamat_khafizov01@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3415-0804>