**Практичне заняття №4**

**Тема: «ВПЛИВ АВТОМОБІЛІВ ТА ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ НА ДОРОГУ Й УМОВИ РУХУ»**

***4.1. Характеристика підсистеми «автомобіль — дорога»***

Під час руху автомобіля по дорозі виникають нормальні до поверхні дороги повздовжні та поперечні сили взаємодії між колесами і покриттям.

Нормальна сила Р, з якою автомобіль, що рухається, діє на дорожній одяг, становить

$P=G∙\cos(α)$,

де G — вага автомобіля, α — поздовжній ухил дороги.

Тангенціальна поздовжня сила ***Tn*** , що викликає рух автомобіля (інша назва — тягова сила), визначається як результуюча дії чотирьох сил:

$P\_{f}=f∙G$ — сили опору кочення на рівній ділянці;

$P\_{i}=G∙i$ — сили опору під час руху на підйом;

$P\_{v}=k∙F∙V^{2}/13$ — сили опору повітря;

$P\_{j}=j∙G$ — сили інерції,

де $f$ — коефіцієнт опору кочення; $i$ — поздовжній ухил у частках одиниці; *k* — коефіцієнт опору повітря (коефіцієнт обтічності); *F* — площа лобової проекції автомобіля, м2 ; *V* — швидкість автомобіля, км/год.

Сила опору кочення залежить від характеристик шин, виду і стану дорожнього одягу та швидкості руху.

Коефіцієнт тертя опору кочення f змінюється від 0,01 (для цементобетонного сухого покриття) до 0,05 (мокре брудне гравійне покриття). Після збільшення швидкості руху коефіцієнт f зростає приблизно на 0,002 на кожні 10 км/год приросту швидкості.

Коефіцієнт опору повітря k (0,030...0,060) і площа лобової проекції для всіх автомобілів наводяться у спеціальних довідниках.

Максимальне тягове зусилля ***Tmax*** обмежується силою зчеплення колеса з покриттям:

***Tmax = G φ***,

де φ — коефіцієнт зчеплення.

Вирізняють два види коефіцієнта зчеплення:

• коефіцієнт поздовжнього зчеплення φ1, що відповідає початку пробуксовування колеса під час його кочення в площині руху;

• коефіцієнт поперечного зчеплення φ2 за умови бокового заносу, коли колесо одночасно крутиться і ковзає вбік.

Коефіцієнт зчеплення залежить від виду покриття, його стану, типу шин, малюнка протектора, температури, швидкості. Коефіцієнт зчеплення зменшується на 0,02...0,04 на кожні 10 км/год збільшення швидкості. У нормативних документах зазвичай наводиться коефіцієнт зчеплення для швидкості 60 км/год.

Коефіцієнт поперечного зчеплення φ2 обчислюють за формулою

$φ\_{2}=\left(0,5…0,85\right)∙φ$.

Суттєвий вплив на умови руху мають деформації покриття. На нерівну поверхню покриття автомобілі створюють додаткову дію, викликану ударами коліс під час проходження ям і підвищенням тиску в пневматиках коліс через коливання кузова. Це, у свою чергу, призводить до додаткових деформацій дорожнього одягу (тріщини, вибоїни, колії, осідання).

Збільшення напружень у дорожній конструкції, які викликані рухом автомобіля по нерівній поверхні, оцінюється динамічним коефіцієнтом kд:

$k\_{д}={σ\_{д}}/{σ\_{ст}}$,

де σст — напруження в дорожньому одязі за статичної дії навантаження ; σд — те саме за динамічної дії.

Для покриттів, що містять органічне в’яжуче, величина kд не перевершує 1,25, для щебеневих покриттів kд = 1,2...1,7, для бруківки kд = 1,3...2,5. Максимальне значення коефіцієнта динамічності відповідає швидкості 20 км/год

Погіршення стану покриття викликає погіршення й умов для реалізації коефіцієнта зчеплення — зростає довжина гальмівного шляху, знижується бокова стійкість, автомобіль погано слухається керма. Крім того, коливання автомобіля, викликані деформованим покриттям, зменшує комфортність їзди. Людина відчуває коливання, якщо їхня енергія перевищує 0,5 см2 /с3 . Важливою характеристикою впливу коливань кузова на умови руху є відношення частоти вертикальних коливань *v* до довжини хвилі λ. Коли *v* / λ = 0,05, рух стає нестійким, а коли *v* / λ = 0,2 — дуже небезпечним.

***4.2. Вплив природних факторів на стан дороги та умови руху автомобіля***

Природні умови, в яких прокладають трасу автомобільної дороги, впливають на вибір її напрямку, визначення технічних нормативів, обсягів робіт та вартості спорудження дороги.

До природних факторів, що впливають на стан дороги й умови руху, належать рельєф місцевості, ґрунтово-геологічні, гідрогеологічні та кліматичні умови [2].

Рельєф місцевості визначає тип земляного полотна (насипи, виїмки, косогірність) і вид водовідвідних споруд. Він впливає на характер стоку води, міри зволоження місцевості, вартості спорудження земляного полотна та способи виконання земляних робіт.

Ґрунтово-геологічні умови характеризуються геологічною будовою ґрунтової товщі, видом і фізико-механічними властивостями ґрунтів та впливають на стійкість насипів і виїмок на крутих ухилах. Якщо дані умови вважаються несприятливими, трасу переносять в інше місце чи проектують заходи, що підвищують стійкість земляного полотна (підпірні стінки, укісні дренажі, тунелі та ін.) За геологічними даними визначають наявність будівельних матеріалів.

Гідрогеологічні умови впливають на призначення висоти насипу, типу укріплення земляного полотна, а також на розміри водовідвідних споруд. Дані умови, що визначають характер поверхневого стоку води в районі дороги, яку проектують, залежать від рельєфу місцевості, клімату та рослинного шару. Так, на рівнинній місцевості та на місцевості з увігнутими формами рельєфу стікання води ускладнене. На пересіченій та гірській місцевостях вода стікає швидше, великі швидкості течії сприяють зростанню кількості ярів, розмиву канав і резервів. Кількість води, що стікає, і міра розмивності ґрунтів залежать від інтенсивності та тривалості атмосферних опадів, типу ґрунтів та виду рослинності на водозбірному басейні.

Гідрогеологічні умови впливають на вибір відміток земляного полотна стосовно до рівня ґрунтових вод. За ними судять про можливі зсуви, обвали, пучини тощо.

Кліматичні умови характеризують рівень опадів, вологість повітря, добові й річні зміни температури, напрямок вітрів, товщину снігового покриву, глибину промерзання ґрунту та ін. Від кліматичних умов (кількості опадів за місяцями, товщини снігового покриву, напрямку та швидкості вітру, кількості хуртовин, температури повітря і землі, кількості днів з ожеледдю й т. ін.) залежать міра зволоження земляного полотна, заносимість снігом чи піском, а також способи укріплення укосів від розмивання чи вивітрювання. Виходячи з кліматичних, топографічних і геологічних умов вибирають форму земляного полотна, міру ущільнення ґрунтів, вирішують питання про необхідність використання морозостійких шарів ґрунту.

Перелічені умови створюють певний водно-тепловий режим земляного полотна.

***Водно-тепловий режим (ВТР)*** — це закономірності зміни протягом року вологості й температури в придорожньому шарі повітря, у шарах дорожнього одягу і ґрунті земляного полотна.

Від водно-теплового стану земляного полотна і дорожніх одягів залежать їхні міцність і морозостійкість, а в кінцевому результаті рівність і термін служби дороги. Характеристики ВТР за сезонами наведені на рис. 4.1, а зміна експлуатаційних якостей дорожнього одягу — на рис. 4.2.

1. Осінь (вересень – листопад). Відбувається накопичення вологи в земляному полотні і нижніх шарах дорожнього одягу. Вологість ґрунтів досягає до 0,7 від границі текучості. Ґрунт розущільнюється. Модуль пружності дорожнього одягу зменшується.

2. Зима (грудень – лютий): промерзання земляного полотна, що супроводжується припливом вологи від рівня підземних вод до фронту промерзання. Фронт промерзання опускається до глибини 0,5... 1,0 м (для умов України). За високих рівнів ґрунтових вод і за наявності у ґрунті пилуватих і глинистих частинок зростає пучиністість ґрунтів. Через неоднорідність складу, щільності і вологості ґрунтів відбувається неоднорідне випинання, що ускладнює, а часто й зовсім унеможливлює рух транспорту, руйнує дорожній одяг. Пучиністість зростає за малої швидкості промерзання ґрунту і може досягти 50…60 см і більше. Загальний модуль пружності дорожнього одягу підвищується внаслідок промерзання верхнього шару земляного полотна і нижніх шарів основи.

3. Весна (березень — квітень, початок травня). Відтаювання земляного полотна. Ґрунт відтаює в першу чергу під дорожнім одягом, особливо якщо узбіччя присипані снігом. Ґрунт найбільше перезволожений. Вологість досягає границі текучості. Коефіцієнт ущільнення знижується до 0,85. Міцність дорожнього одягу мінімальна. У місцях зимових пучин руйнується дорожній одяг, утворюються осідання і проломи, матеріали дорожнього одягу перемішуються з ґрунтом.

4. Літо (травень — серпень). Просихання земляного полотна. Ґрунт перебуває в найбільш щільному й міцному стані.



Рис. 4.1. Закономірності сезонних змін водно-теплового режиму: I–IV — періоди; 1 — стан дорожнього одягу до промерзання; 2 — у кінці промерзання; 3 — пучиноутворення; Tx — холодний період; Tp — розрахунковий період; Lвід — деформація відтавання; Lост — остаточна деформація



Рис. 4.2. Схема сезонної зміни коефіцієнта експлуатаційних якостей дорожнього одягу: 1 — максимальне значення; 2 — мінімальне значення

***4.2.1. Фізична суть і закономірності формування водно-теплового режиму автомобільних доріг***

Земляне полотно і дорожній одяг у процесі експлуатації періодично зволожуються і просихають, охолоджуються і нагріваються, промерзають і відтають, тобто зазнають процесів, пов’язаних з тепло-масообмінними явищами. Сукупність цих процесів визначає ВТР дороги. Небезпечна дія водно-теплових факторів на дорогу виявляється у формуванні процесів зволоження і перезволоження ґрунтів полотна і шарів одягу, наслідком яких є зниження щільності і міцності ґрунтів, виникнення просідання одягу і випинання, втрата суцільності одягів унаслідок тріщиноутворення. У результаті знижуються міцність дорожньої конструкції, рівність проїзної частини, довговічність дорожніх одягів, зчеплення коліс із проїзною частиною. Найбільш небезпечними для доріг є вологонакопичення, промерзання і відтавання земляного полотна, інтенсивне нагрівання й інтенсивне охолодження шарів дорожнього одягу.

***Під водно-тепловим режимом дороги*** розуміють закономірності зміни вологості і температури в будь-якій точці полотна і дорожнього одягу в річному періоді.

ВТР доріг має річний цикл, який починається у жовтні й закінчується у вересні.

Процес формування ВТР доріг пов’язаний з закономірностями мігрування у ґрунті різних видів вологи. Розглянемо особливості головних із цих видів.

***Вільна волога*** — вода, до якої ми звикли. Цей вид вологи мігрує під дією сил гравітації, тобто переміщується завжди зверху вниз; основний вид міграції — просочування, фільтрація. У звичайних умовах за температури 0 ºС вільна волога переходить у кристалічну форму, а за плюсових температур частково (на поверхні розподілу) набуває пароподібної форми.

***Пароподібна волога***, на відміну від вільної, практично не підкоряється дії сил гравітації. Вона мігрує під дією сил, пов’язаних з різницею парціального тиску, у порядку вирівнювання цього тиску. Оскільки в більш теплих місцях у повітрі частинок пари більше, то там вищий і парціальний тиск, і пара, отже, завжди переміщується з більш теплих місць у більш холодні. Цю закономірність треба обов’язково враховувати в практиці експлуатації доріг, оскільки якраз вона зумовлює виникнення в холодний період року паропотоків від рівня ґрунтових вод до поверхні дороги, а в період потепління — дифузію пари з атмосфери в дорожню конструкцію як більш холодне місце. Цей масообмінний процес, зумовлений різницею температурних полів, тягне за собою значну кількість вологи, яка внаслідок конденсування пари зволожує ґрунти.

***Зв’язана волога*** (з метою спрощення ми її більш детально не диференціюватимемо) теж не підкоряється дії сил земного тяжіння. Міграція цього виду води зумовлюється різницею енергетичних рівнів ґрунтових масивів. Через молекулярну природу виникнення цей вид вологи має свої специфічні особливості. По-перше, міграція зв’язаної вологи являє собою специфічне масоперенесення енергії — вона мігрує по векторах, у напрямку яких можна зменшити рівень вільної енергії масиву. По-друге, плівкова волога внаслідок своєї природи замерзає не за 0 ºС, а за –2…–4 ºС. Тобто міграція зв’язаної вологи, на відміну від вільної, на припиняється практично до –4 ºС. Як побачимо далі, ця властивість даного виду вологи призводить до вкрай негативних наслідків у експлуатації доріг.

***Кристалічна форма води*** є результатом фазового переходу вільної води в кристалічну. Цей перехід відбувається за 0 ºС; особливістю його є те, що обсяг кристалічної форми води становить близько 1,09 від вільної. Вода в кристалічній формі не мігрує. Зворотний фазовий процес відбувається за температури більше ніж 0 ºС внаслідок теплообміну між середовищем і кристалічною формою води.

Отже, різні види води мають різні закономірності міграції, і розв’язати задачу тепломасообміну дорожньої конструкції, ураховуючи стохастичність температурних процесів, украй складно. Тому зазначимо, що точних розв’язків на теперішній час не існує, а задачі даного типу розв’язуються тільки чисельним методом для окремих об’єктів.

Для виконання практичних завдань експлуатації доріг інженерна думка запропонувала умовно поділити розв’язання цієї задачі на два етапи:

1) припускаючи, що в окремих територіальних зонах хід температурних полів можна взяти за стаціонарний, поділити територію країни на окремі температурні райони з адекватними ґрунтовогідрологічними умовами;

2) вивчати як дискретний процес зміни вологи ґрунтів у межах кожного району, базуючись на початковому процесі вологонакопичення і на фактичному для району процесі змін температурних полів (з урахуванням властивостей ґрунтів).

Цей підхід, безперечно, менш точний, але дає можливість вирішувати значну кількість завдань з експлуатації доріг.

Перший етап цього підходу являє собою відомий процес ґрунтово-температурного районування територій. Він для умов України вже практично завершений.

Процес початкового накопичення вологи визначається потужністю і тривалістю дії джерел зволоження. На практиці вирізняють чотири основні групи джерел зволоження (рис. 4.3):

1) зволоження дорожньої конструкції атмосферними водами. Джерелами зволоження тут можуть бути: несуцільність дорожнього одягу (втрата суцільності внаслідок тріщинуватості чи взагалі водопроникна структура одягу), дефекти зони сполучення проїзної частини з узбіччям, просочування в зоні узбіч і ухилів і т. ін.;

2) незабезпеченість поверхневого стоку. Земляне полотно зволожується в результаті насичення ґрунту водою і капілярного підняття. Треба пам’ятати, що внаслідок відносно довгого — більше від тижня — стояння вод у бічних водовідвідних системах у земляному полотні через горизонтальну міграцію води формується тимчасова крива дисперсії f, через яку невисоке земляне полотно може зволожуватись аж до підошви одягу;

3) зволоження конструкції за рахунок капілярного підняття. Ця група джерел зволоження значуща тоді, коли рівень капілярного підняття заходить у межі глибини активної зони. За глибину активної зони в дорожній практиці беруть відстань від поверхні одягу до горизонтальної площини в тілі полотна, на рівні якої вертикальна складова напружень від тимчасових навантажень по осі їх дії становить 0,1 вертикальних напружень від власної маси конструкції;

4) зволоження пароподібною і плівковою водою. Ця група джерел найбільш підступна. З одного боку, процес зволоження у цьому разі візуально не контролюється і через це на практиці важко діагностується. З другого боку, ця група зволоження призводить, як правило, до спонтанного руйнування дорожньої конструкції.



Рис. 4.3. Основні джерела зволоження дорожнього одягу і земляного полотна: 1 — атмосферні опади; 2 — вода в канавах; 3 — підземна вода; 4 — пароподібна волога

Залежно від умов зволоження ділянки місцевості, по яких проходить дорога, поділяються на три типи:

1 тип — ***сухі ділянки***. Дорога зволожується атмосферними водами і пароподібною вологою. Поверхневий стік від дороги повністю забезпечений, ґрунтові води залягають глибоко (РҐВ > > Za 1,6 1,9 м), де Za — глибина активної зони.

2 тип — ***вогкі ділянки***. Дорога зволожується водою з бічних канав; бічний водовідвід не працює, вода довгий час (кілька тижнів) застоюється біля полотна; ґрунтові води залягають глибоко.

3 тип — ***мокрі ділянки***. Ґрунтові води залягають близько; найбільш небезпечні ділянки у плані гарантування стійкості і міцності дорожньої конструкції. ВТР доріг закономірно змінюється в річному періоді. На траєкторіях його змін у різних природнокліматичних умовах можна виділити чотири характерних періоди роботи дорожнього одягу і земляного полотна.

У ***першому періоді*** (осінь, до початку промерзання земляного полотна) відбуваються процеси охолодження одягу і земляного полотна, інтенсивного зволоження атмосферними опадами, дифузія водяної пари до основи одягу. Вологість ґрунту полотна зростає, щільність і модуль пружності знижуються.

***Другий період*** (холодний) характеризується дальшим охолодженням дорожньої конструкції і утворенням мерзлого ґрунту. Градієнти z w i z p z t , і z w i z p z t , (t — температура, p— тиск у водних плівках, w — вологість ґрунту) у шарі ґрунту, який промерзає, зростають, вологонакопичення збільшується внаслідок припливу вологи знизу. На кінець холодного періоду відзначаються найбільша сезонна вологість ґрунту і найменша його щільність.

***Третій період*** — відтавання ґрунту. Шари одягу і земляного полотна інтенсивно прогріваються. У процесі нерівномірного відтавання виникають фазові перетворення вологи й інтенсивний її перерозподіл у талому і мерзлому ґрунті. Через практичну водонепроникність мерзлого ґрунту над ним може виникати шар сильно перезволоженого ґрунту з практично нульовою несучою здатністю. У цей період найбільш імовірним є виникнення просідань, проломів та інших деформацій дорожнього одягу.

***Четвертий період*** — це зниження вологості ґрунту полотна за рахунок його просихання, період нормалізації щільності і міцніс- 31 них показників ґрунту. Після завершення цих процесів настає найбільш сприятливий період роботи дорожньої конструкції.

Оскільки ВТР доріг значно впливає на особливості їх служби, їхній експлуатаційний стан та можливості виконання ними завдань забезпечення ефективної роботи рухомого складу, то однією з першорядних цілей дорожника-спеціаліста є опанування методів регулювання ВТР. Змінюючи або його умови, або сам вид ВТР, спеціаліст може досягти значних успіхів у поліпшенні роботи інженерних і транспортних споруд.

Усі методи регулювання ВТР доріг поділяються на дві групи:

а) методи, спрямовані на поліпшення умов наявного виду воднотеплового режиму доріг;

б) методи, що дають змогу перевести наявний водно-тепловий режим у більш сприятливий.

Далі розглянемо найбільш поширені методи регулювання ВТР доріг.

1. ***Метод підвищення брівки земляного полотна***. Підвищення брівки земляного полотна над горизонтом ґрунтових вод (ГҐВ) здійснюється для поліпшення ВТР, підвищення міцності ґрунту в активній зоні і може здійснюватись на стадії капітального ремонту. На ділянках доріг з несприятливими гідрогеологічними умовами восени РҐВ підіймається. Вологість ґрунту в активній зоні збільшується пропорційно часу. Тобто брівка земляного полотна має бути піднята.

2. ***Метод пониження рівня грунтових вод (РҐВ).*** У деяких випадках підвищення брівки земляного полотна неможливе або нераціональне (виїмки, ділянки міських доріг та ін.). Тоді одним з можливих варіантів поліпшення ВТР є пониження РҐВ. Метод придатний як для поліпшення умов наявного виду ВТР, так і для переведення його в більш сприятливий (наприклад, з капілярного в дифузноплівковий). Пониження ґрунтових вод досягається за допомогою влаштування підкюветного дренажу, у тому числі кротового.

3. ***Улаштування морозозахисннх (теплоізоляційних) шарів***. Призначення морозозахисиих шарів полягає у зменшенні глибини промерзання земляного полотна, у запобіганні виникненню в полотні мерзлого ґрунту, у забезпеченні в основі дорожнього одягу наперед заданої температури, у ліквідації небезпечного морозного випинання. Найчастіше морозозахисні шари влаштовують як противипинальні. Морозозахисний шар повинен мати малий коефіцієнт теплопровідності — менше від 0,5...0,4 ккал/м·год·град. Матеріалами для цих шарів є шлак, керамзит, пінопласти та ін.

4. ***Улаштування гідроізоляційних шарів***. Для сучасних дорожніх одягів небезпечне зволоження знизу. Тому гідроізоляційні шари треба влаштовувати для запобігання дифузії водяної пари, оскільки швидкість термодифузії пари в кілька разів більша, ніж швидкість міграції вільної води.

5. ***Улаштування капіляропереривальних шарів***. Метод використовується тоді, коли треба не допустити проникнення капілярного підняття за межу глибини активної зони. Розрахунку підлягають глибина активної зони Za і товщина капіляропереривального шару залежно від особливостей його матеріалу.

6. ***Улаштування дренувальних шарів***. Вони призначені для осушення верхньої зони земляного полотна переважно у весняний період, коли земляне полотно у процесі відтавання після зимового промерзання починає виділяти воду. Залежно від того, скільки води виділяється земляним полотном (л/м2 за добу), дренувальний шар улаштовують за однією з двох схем:

– за схемою акумуляції води в тілі шару;

– за схемою поперечного відведення води з дорожньої конструкції.

За першої схеми розраховують товщину шару виходячи з умови, щоб водонасичена частина шару не перевищувала двох третин його загальної товщини.

За другої схеми розраховують:

а) товщину дренувального шару за умови забезпечення необхідної інтенсивності фільтрації полотном води, що виділяється, основним показником при цьому є коефіцієнт фільтрації матеріалу шару;

б) робочий переріз поздовжніх дрен та параметри прорізів на них з умови забезпечення необхідної витрати води, що надходить. Беруть до уваги ухил укладання дрен. Методи розрахунків відомі з курсу проектування доріг.

7. ***Зменшення конденсаційної здатності дорожньої конструкції***. Це досягається за допомогою використання специфічної концепції створення і методу конструювання дорожнього одягу. Суть їх полягає в зменшенні питомої поверхні дорожньої конструкції, здатної конденсувати пароподібну вологу й додатково зволожувати конденсатом граничний шар земляного полотна.

***Питання для самоконтролю***

1. Які сили можуть виникати при взаємодії автомобіля з дорожнім покриттям під час його руху?
2. Як впливають природні фактори на стан дороги та умови руху автомобіля?
3. Дайте визначення водно – теплового режиму
4. Закономірність формування водно – теплового режиму автомобільних доріг.
5. Назвіть заходи регулювання водно – теплового регулювання автомобільних доріг.

***ЛІТЕРАТУРА***

1. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учеб. для вузов / А. П. Васильев, В. М. Сиденко ; под ред. А. П. Васильева. — М. : Транспорт, 1990. — 304 с.

2. Кизима С. С. Експлуатація автомобільних доріг / С. С. Кизима. — К. : МОНУ/НТУ, 2009. — 272 с.

3. ДБН В.2.3–4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Проектування та будівництво. — К. : Мінрегіонбуд України, 2007.

4. ДБН Д.2.2–27–99. Автомобільні дороги : зб. 27. — К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000.

5. ДБН Д.2.2–31–99. Аеродроми : зб. 31. — К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000.

6. Эксплуатация аэродромов : справочник / [Л. И. Горецкий, М. А. Печерский, Л. Н. Комчихина и др.]. — М. : Транспорт, 1990. — 287 с.

7. Класифікатор робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування ВБН Г.1-218-530:2006.

8. Проектирование и строительство автомобильных дорог : справочник / [В. И. Заворицкий, В. П. Старовойда, А. А. Белятинский и др.]. — К. : Техніка, 1996. — 383 с.

9. Проектування автомобільних доріг / О. А. Білятинський, В. Й. Заворицький, В. П. Старовойда, Я. В. Хом’як. — К. : Вища шк., 1997. — 518 с.

10. Проектування автомобільних доріг / О. А. Білятинський, В. Й. Заворицький, В. П. Старовойда, Я. В. Хом’як. — К. : Вища шк., 1998. — 416 с.

11. Усов Б. І. Експлуатація автомобільних шляхів : навч. посіб. / Б. І. Усов, І. Г. Романський. — Л. : Львівська політехніка, 1998. — 95 с.

12. Шишков А. Ф. Аэропорт: теория и практика зимнего содержания аэродромов / А. Ф. Шишков, В. В. Запорожец, О. Н. Билякович. — К. : Друкарня Діапринт, 2006. — 196 с.