

Славінська О.С., д-р техн. наук, Савенко С.С.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНИХ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАЛЯГАННЯ

Анотація. Наведено аналіз процесів вологонакопичення протягом річного циклу в дорожніх конструкціях та викладено основні принципи розрахунку параметрів дренажних мереж на ділянках з поздовжнім похилом більше поперечного. Особлива увага приділяється процесам літнього вологонакопичення у робочій зоні земляного полотна .

Ключові слова: автомобільна дорога, дренаж, питомий надлишок вологи, вологонакопичення, фільтраційний потік, витрата води.

Аннотация. Приведен анализ процессов влагонакопление в течение годового цикла в дорожных конструкциях и изложены основные принципы расчета параметров дренажных конструкций на участках с продольным уклоном более поперечного. Особое внимание уделяется процессам летнего влагонакопления дорожной конструкцией.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дренаж, удельный избыток влаги, влагонакопления, фильтрационный поток, расход воды.

Abstract. The analysis of the processes of moisture accumulation during the annual cycle in the road construction and the basic principles for calculating the parameters of drainage structures in areas with a longitudinal cross-over angle. Particular attention is paid to the process of accumulation of moisture summer road constr*ction.

Keywords: road, drainage, specific excess moisture, moisture accumulation, seepage flow, water flow.

Вступ

Існуюча мережа автомобільних доріг загального користування за протяжністю, щільністю та конфігурацією на сьогоднішній день в цілому відповідає національним потребам і здатна забезпечити на найближчі роки умови для економічного та соціального розвитку України за умови підтримання відповідного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.

Але недостатня експлуатаційна якість автомобільних доріг зумовлює зниження швидкостей транспортних засобів, підвищення витрат паливо-мастильних матеріалів та збільшення частки транспортної складової у собівартості продукції. У тому, що собівартість перевезень у 1,5 рази, а витрати пального на 30 % перевищують аналогічні показники у розвинутих зарубіжних країнах, є значна частка і дорожньої складової. Все це разом з недостатнім розвитком інфраструктури не приваблює іноземних перевізників, і тому транзитні перевезення дорогами України майже не збільшуються.

Особливої уваги потребує опорна мережа магістральних і регіональних доріг. Хоча їх протяжність складає менше 9 % від загальної, ними здійснюється до 80 % вантажообігу.

Таким чином, основна проблема полягає в тому, що транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг і споруд на них не забезпечує швидкого, комфортного, економічного і безпечного перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом.

Основна частина

На ділянках автомобільних доріг з поздовжнім похилом більшим за поперечний вільна вода рухається у дренажному шарі. Вода захоплює із собою найбільш дрібні частинки, які на відстані $1/3-1/5 L$ (де L - довжина ділянки на ухилі) від вододілу, а також у місцях вігнутих вертикальних кривих і в місцях переходу з виїмок в насип скупчуються; відбувається закупорка в дренажних шарах, а також у основах з крупно-пористих матеріалів (щебеню, гравія, металургійного шлаку). В процесі фільтрації вода виступає на поверхню проїзної частини. У таких місцях щорічно спостерігаються

руйнування дорожніх покриттів, відповідно виникає потреба у влаштуванні дренажних конструкцій в межах робочої зони земляного полотна.

Основним критерієм для розрахунку параметрів дренажів мілкого залягання є розрахункова кількість вологи, яка надходить в дорожню конструкцію протягом року, а саме, критичне значення вологи, що може поглинатися земляним полотном з різних джерел зволоження. Це питання у своїх роботах розглядали такі відомі вчені як: М.В.Корсунський [2], Н.А.Пузаков [2,5], О.Я.Тулаєв [2,5,8,9], В.І.Рувінський [2,6,7], В.М.Сіденко [3–5], В.О.Фомін [3], І.А.Золотарь [5], К.І.Страхов[9], Г.Р.Седерген[10], В.А.Ионат [11].

Враховуючи актуальність проблеми, рядом авторів було запропоновано розрахунок процесів вологонакопичення протягом року за декількома методиками:

Визначення пропускної здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу представлена у роботі [1]. Автори методики приділяють основну увагу до визначення загальної величини надходження вологи в основу проїзної частини.

В рекомендаціях по осушенню земляного полотна та основ дорожніх одягів [2] автори концентрують особливу увагу на визначенні імовірної вологості ґрунту W_{\max} . Під імовірною максимальною вологістю ґрунту W_{\max} мається на увазі максимальна величина середньої вологості ґрунту в межах активної зони земляного полотна, що спостерігається в найбільш несприятливий період року (час, протягом якого ґрунт активної зони найбільш зволожений) хоча б один раз за термін між капітальними ремонтами дорожнього одягу. Цей розрахунок заснований на результатах багаторічних натурних спостережень за ходом промерзання експлуатованих ділянок доріг.

У роботах [3–5] запропонований метод прогнозу осіннього і зимового вологонакопичення в земляному полотні, що враховує широкий комплекс природно-кліматичних характеристик. Даний метод використовує найбільш точні статистичні дані, оскільки значення температури повітря, глибини

промерзання, вологості ґрунту за рахунок зимового вологонакопичення зібрані за значний проміжок часу та представлені у вигляді номограм та графіків, які необхідні для визначення максимальної середньої осінньої та зимової вологості ґрунту земляного полотна, яка розраховується виходячи з наступного рівняння:

$$\frac{W_{\text{ср}}^{\text{ос}} - W_0}{W_{\text{нв}} - W_0} = \left(1 + \frac{H_{\text{в}}}{H_{\text{а}}}\right) \times \operatorname{erfc} \left[\left(1 + \frac{H_{\text{а}}}{H_{\text{в}}}\right) \frac{1}{2\sqrt{F_{\text{он}}}} \right] + \left(1 - \frac{H_{\text{в}}}{H_{\text{а}}}\right) \operatorname{erfc} \left[\left(1 - \frac{H_{\text{а}}}{H_{\text{в}}}\right) \frac{1}{2\sqrt{F_{\text{он}}}} \right] + \frac{2\sqrt{F_{\text{он}}}}{\sqrt{\pi}} \times \frac{H_{\text{в}}}{H_{\text{а}}} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{4F_{\text{он}}} \left(1 - \frac{H_{\text{а}}}{H_{\text{в}}}\right)^2 \right] - \exp \left[-\frac{1}{4F_{\text{он}}} \left(1 + \frac{H_{\text{а}}}{H_{\text{в}}}\right)^2 \right] \right\} \quad (1)$$

де $W_{\text{ср}}^{\text{ос}}$ – середня осіння вологість;

$W_{\text{нв}}$ – вологість, яка відповідає повній вологоємності;

W_0 – оптимальна вологість;

$H_{\text{а}}$ – глибина активної зони земляного полотна;

$H_{\text{в}}$ – відстань від верху земляного полотна до рівня ґрунтових або поверхневих вод, встановлювана в період вишукувань.

$F_{\text{он}}$ – критерій осіннього вологонакопичення, який враховує вологопровідність ґрунту, тривалість періоду вологонакопичення та відстань від верху земляного полотна до рівня ґрунтових або поверхневих вод.

Далі необхідно визначити середню вологість ґрунту земляного полотна до кінця зими:

$$W_{\text{ср}}^{\text{зим}} = W_{\text{н}} + (W_{\text{ос}}^{\text{ос}} - W_{\text{н}}) \frac{\exp(-A^2)}{\sqrt{\pi A} \operatorname{erfc}(A)}, \quad (2)$$

де $W_{\text{н}}$ – вологість рідкої фази ґрунту в зоні льодовиділення (при температурі – 0,5 до -1,0 С);

$$A = \frac{a\sqrt{\tau_{\text{вл}}}}{2H_{\text{в}}\sqrt{F_{\text{он}}}} = \frac{a}{2\sqrt{k_1}} \quad (3)$$

де a – характеристика швидкості промерзання дорожньої конструкції, визначається теплотехнічним розрахунком.

$\tau_{\text{вл}}$ – тривалість періоду вологонакопичення, що обчислюється на основі метеорологічних характеристик районів;

Метод розрахунку літнього вологонакопичення представлений в роботах Рувінського В.І., має досить суттєві відмінності від раніше згаданих [6,7].

Використовуючи даний розрахунок, визначаємо сумарну кількість води, яка поглинається земляним полотном під проїзною частиною $H_{\text{вп(пр.ч)}}$ та сумарну кількість води, яка поглинається земляним полотном на узбіччях за певний розрахунковий період $H_{\text{вп(узб)}}$.

Сумарна кількість води, яка поглинається земляним полотном під проїзною частиною за розрахунковий період (мм), визначається за наступною формулою:

$$H_{\text{вп(0)}} = a_0 m_d \ln(1 + b_0 i_d) 10^{0,4 \ln t_{\text{вп(0)}}} \quad (4)$$

m_d – кількість дождів з повторюваністю 1 раз на срок служби покриття;

i_d – середню інтенсивність дощу (в мм/хв);

a_0 – коефіцієнт, який враховує тип і стан покриття;

$a_0 = 0,01$; (При виникненні тріщин в асфальтобетонному покритті рекомендується приймати значення коефіцієнта $a_0=0,013$.);

b_0 – коефіцієнт, який характеризує заповнення водою мікротріщин, $b_0=120$ (в період літа); $b_0=100$ (в період весни); $b_0=80$ (восени).

$t_{\text{вп(0)}}$ – тривалість поглинання, хв.;

$$t_{\text{вп(0)}} = (i_d T_d - H_{\text{см(0)}}) / (i_d m_d), \quad (5)$$

де T_d – сумарна тривалість опадів тої ж повторюваності, хв.;

$H_{\text{см}}$ – сумарне значення змочування покриття, мм.

Сумарна кількість води яку вбирає грунт земляного полотна на узбіччях за розрахунковий період (в мм) розраховується наступним чином:

$$H_{\text{вп(об)}} = A_{\text{укр}} i_{\text{вп}} \left[T_d - \left(\frac{H_{\text{см(0)}}}{T_d} + \frac{H_{\text{см}} - H_{\text{см(0)}}}{i_{\text{пв}}} \right) \right] \quad (6)$$

де $A_{\text{укр}}$ – коефіцієнт, що враховує тип укріплення узбіччя.

Авторами було проведено дослідження на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66 - ПК 959 з увігнутих поздовжнім

профілем. Отримані результати засвідчили, що методика запропонована Рувінським В.І., дозволяє враховувати всі показники, які пов'язані з процесами накопичення та враховує майже всі параметри функціональних елементів дорожньої конструкції. Це дає можливість з точністю та без особливих ускладнень визначити потрібні значення для конкретного району, для якого ведеться розрахунок. Також, за допомогою отриманих даних можливо спрогнозувати деформації, оцінити міцність дорожніх конструкцій та визначити модулі пружності для деформації ґрунту земляного полотна на основі розрахункової вологості. Використовуючи значення отримані за методиками запропонованими Рувінським В.І.[6,7] та Сіденком В.М.[3–5] визначаємо розрахунковий питомий надлишок води :

$$q_p = qK_nK_z \quad (7)$$

де q_p – розрахунковий питомий надлишок води, $\text{м}^3/\text{м}^2$ на добу;

q – питомий надлишок води, $\text{м}^3/\text{м}^2$ на добу;

K_z – коефіцієнт гідрологічного запасу;

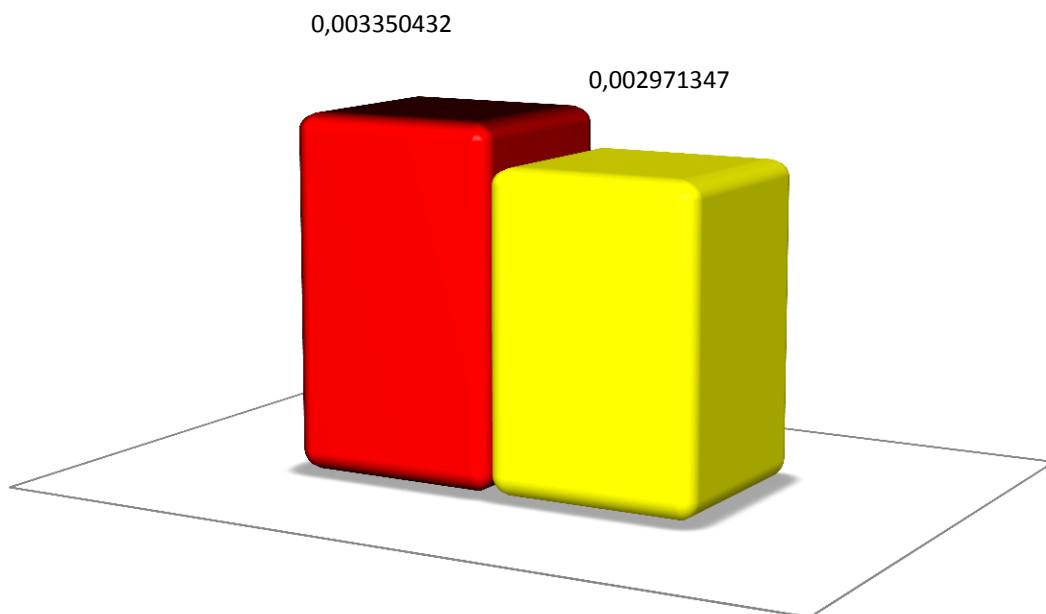
K_n – коефіцієнт пік.

Проведемо порівняння отриманих даних (рис.1).

Розрахувавши питомий надлишок вологи для визначення відстані між поперечними дренажними прорізами залишається невідомим значення загальної витрати води.

Для розрахунку витрати води необхідно вирішити складну гідромеханічну задачу, пов'язану з рухом струминок води вздовж і перпендикулярно осі дороги. Дійсний напрямок струминок фільтруючої води в дренуючих шарах не відомо. Виходячи з загальнотеоретичних положень, рух струминок в зоні водонасиченого піску відповідає схемі представлений на рисунку 2 [8,9]. При двосхилиму поперечному профілі струминки направлені під деяким кутом до осі дороги. Витрата води в дренуючих шарах залежить не тільки від якості пісків, але і від глибини фільтраційного потоку. При усталеному русі в дренуючому шарі між прорізами завжди спостерігається

депресійна крива з глибиною h фільтраційного потоку, що знаходиться на відстані l_2 від вище розташованої прорізи (рисунок 2а). У дні коли фільтраційний потік істотно підвищується, набуваючи ступінчастий вигляд з максимальною його глибиною h_{max} в місцях «горбів». Але чим менше глибина h , тим вище еквівалентна міцність дренуючого шару і тим більше міцність дорожніх одягів. Звичайно, в пікові дні глибина h_{max} не повинна перевищувати граничної межі, що залежить від товщини h_0 дренуючого шару і якості піску, щоб попередити виникнення деформацій на покритті [8,9]. При наявності поздовжнього похилу витрата дренуючого шару підвищується завдяки збільшенню гідравлічного градієнта.



Питомий надлишок вологи за методикою Сіденка В.М. [3-5]

$$q_3=0,00297 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

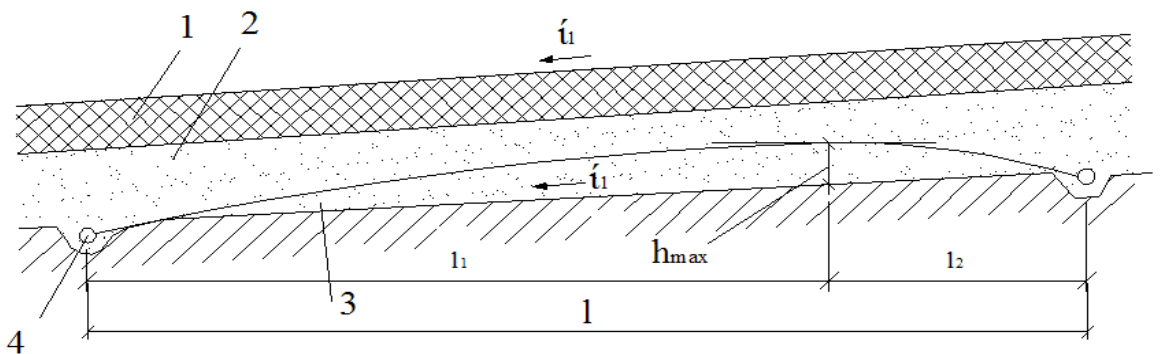
Питомий надлишок вологи за методикою Рувінського В.І. [6,7]

$$q_1=0,0035 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

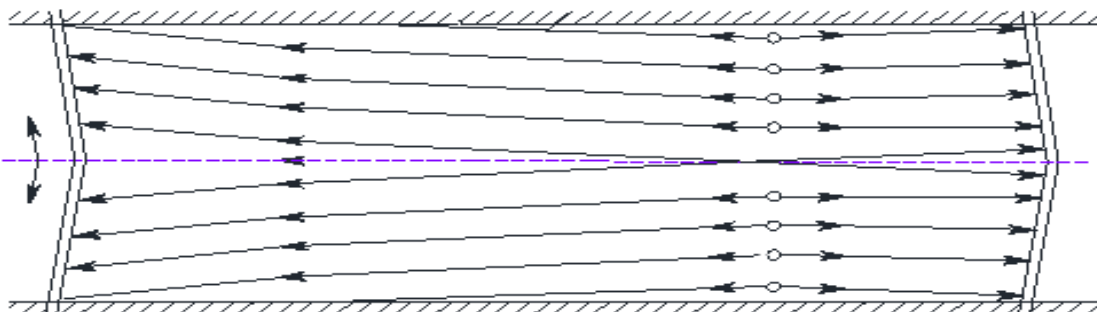
Рисунок 1 –Діаграма порівняння питомого надлишку вологи

Отже, робота прорізів буде повніше відобразитися методом поглинання, що позначиться на збільшенні шару вільної фільтруючої води h_{max} , від якого і залежить відстань між прорізами.

Допускаючи при розрахунках рівномірний надлишок води по площі дренуючого шару, вода з ділянки l_1 поступає в нижню проріз, а з ділянки l_2 – у верхню (рисунок 2а). З підвищенням поздовжнього похилу i довжина ділянки l_1 буде збільшуватися за рахунок зменшення ділянки l_2 .



а)



б)

а) поздовжній розріз при наявності прорізів;

б) план фільтруються струминок води при прорізах;

1 - покриття та основа; 2 - дренуючий шар; 3 - струминки води; 4 - дренажна труба; (i_1 - поздовжній ухил; i_2 -поперечний ухил).

Рисунок 2 - Схема руху струминок води в дренуючому шарі на увігнутих ділянках [8,9].

Загальна витрата Q на ділянці $l = l_1 + l_2$ визначається за формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (8)$$

де, Q_1 – витрата води на зливній частині ділянки довжиною l_1 ;

Q_2 – витрата води на підпирній частині ділянки довжиною l_2 .

Тоді розрахункова відстань між поперечними прорізами мілкого закладення при усталеному русі:

$$l = l_1 + l_2 = h_{max} \left(\frac{1}{\gamma + i_1/2} + \frac{1}{\gamma - i_1/2} \right) = \frac{2h_{max}\gamma}{\gamma^2 - (i_1/2)^2} \quad (9)$$

де h_{max} – максимальна глибина фільтраційного потоку;

i_1 – поздовжній похил;

γ – безрозмірна величина.

$$\gamma = \sqrt{2q_p K_\phi} \quad (10)$$

де q_p – розрахунковий питомий надлишок вологи;

K_ϕ – коефіцієнт фільтрації.

Визначивши відстань між дренажними прорізами можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано посезонну зміну сумарної кількості вологи, що поступає в дренажний прошарок з врахуванням надходження інфільтрату.

2. Проведено розрахунок параметрів поперечного дренажу мілкого залягання для ділянки автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський.

3. На основі розрахунку вологонакопичення в поперечному дренажі визначено, що питомий надлишок вологи влітку ($q_l = 0,0035 \text{ м}^3/\text{м}^2$);

перевищує надлишок вологи взимку ($q_s = 0,00297 \text{ м}^3/\text{м}^2\%$;) на 12 %.

4. Визначено параметри поперечного дренажу мілкого залягання на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66-ПК 959. З'ясовано, що розрахункова відстань між дренажними прорізами в 5 разів менша ніж стандартна.

5. Пропускна здатність запропонованої конструкції поперечних дренажів з прорізами на ділянці автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський ПК 926+66 - ПК 959 не відповідає сезонним змінам вологонакопичення в основі

дорожнього одягу. Для забезпечення достатньої пропускної здатності дренажних конструкцій необхідно зменшити відстань між прорізами до 10 метрів.

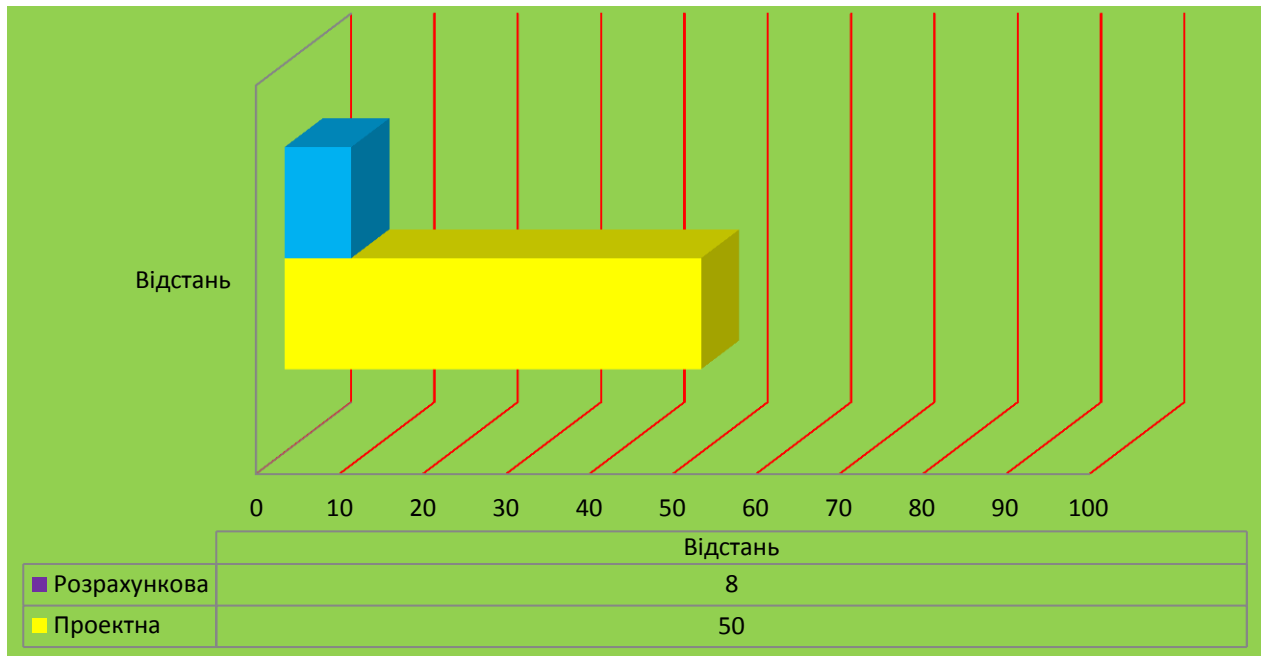


Рисунок – 3 Діаграма порівняння відстані між дренажними прорізами

Висновок

Провівши такий ряд розрахунків можемо констатувати той факт, що при влаштуванні поперечних дренажних прорізів мілкового залягання на ділянках з поздовжнім похилом більшим за поперечний, де вільна вода рухається у дренажному шарі не допустимо використовувати стандартні методи розташування вищезазначених конструкцій. Враховуючи те, що не буде забезпечене ефективне функціонування дренажних систем внаслідок їх неправильного розташування, що і призведе до руйнування дорожньої конструкції в цілому. Але також необхідно не забувати про економічну складову даної конструкції, яка суттєво збільшить кошторис будівництва, а особливо якщо дренажні прорізи потрібно влаштовувати на малій відстані (5-20 метрів). Тому в деяких випадках в умовах сильного зволоження дорожньої

конструкції доцільно розглядати можливість влаштування суцільного дренажного прошарку. Можливість влаштування суцільного дренажного прошарку слід розглядати також як один з можливих шляхів підвищення стійкості і міцності дорожньої конструкції.

Література

1. Методика визначення пропускну здатності дренажної конструкції мілкого залягання з урахуванням річного циклу роботи М 218-02070915-684:2011.
 2. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов / Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). М., 1974. (Методичні рекомендації з осушення земляного полотна та основ дорожнього одягу в районах надлишкового зволоження і сезонного промерзання ґрунтів / Державний всесоюзний дорожній науково-дослідний інститут (ДерждорНДІ). М., 1974).
 3. Сіденко В.М., Фомін В.О. Водно-тепловий режим міських доріг. – Харків: Видавництво Харківського університету, 1971. – 180 с.
 4. Сіденко В.М., Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна, М: Н-Т изд. Минавтотранса и шос. дорог РСФСР, 1962, 116 с. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А.Пузаков, И.А. Золотарь, В.М. Сіденко, А.Я. Тулаев и др.; Под. ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сіденко. – М.: Транспорт, 1971. – 413с.
 5. Рувинский В.И., Оптимальные конструкции земляного полотна (на основе регулирования водно-теплового режима). - М.: Транспорт, 1982. – 166 с.
 6. Обеспечение прочности и устойчивости земляного полотна на участках уширения автомобильных дорог / В. И. Рувинский ; [СоюздорНИИ, Открытое АО "Дорож. науч.-исслед. ин-т"]. - М. : Дорож. науч.-исслед. ин-т : СоюздорНИИ, 2006. - 188 с. : ил. ; 21 см. - Библиогр.: с. 185.
 7. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. – М. Транспорт, 1980. – 191 с.
 8. Тулаев А.Я, Страхов К.И. Строительство улиц и городских дорог. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Стройиздат, 1974. - 425 с.
 9. Седергрэн, Г.Р. Дренаж дорожных одежд и аэродромных покрытий. Перевод с англ. Текст. / Г.Р.Седергрэн – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
- Ионат В.А. Расчет горизонтального дренажа на неоднородных грунтах Текст. / С.Ф. Аверьянова. – Таллин: Изд. ЗНИИЗ и М,1962. – 342 с.