

ВИШУКУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 627.13:519.711.3

Славінська О.С., д.т.н.

Бабич Ю.В.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙ НА ЗАПЛАВНИХ ДІЛЯНКАХ В ЗОНІ ВПЛИВУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Анотація. В статті проаналізовано основні фактори, які обумовлюють розвиток розмивів на заплавах в зоні впливу мостових переходів.

Ключові слова: заплава, розмив, затоплення.

Аннотация. В статье проанализированы основные факторы, которые обуславливают развитие размывов на пойменных участках в зоне мостовых переходов.

Ключевые слова: пойма, размыв, затопления.

Abstract. The paper analyzes the main factors that determine the development of erosion in the flooded areas in the zone of influence of bridge.

Key words: floodplain, erosion, flooding.

Постановка проблеми. Негативний вплив повені 2010 р. призвів до затоплення майже 2 тис. га земель у Львівській, Івано-Франківській та найбільше у Закарпатській областях України. Це призвело до пошкодження мостових переходів на автомобільних дорогах: з них 12% не відповідають нормативним вимогам, а 4,5% - потребують негайного ремонту. Мостові переходи, як правило, охоплюють не тільки русло річки, а й частини заплав. На заплавах ділянках відбувається територіальний перерозподіл водних ресурсів, виникає проблема у регулюванні стоку, прогнозуванні пропускнуої здатності і розвитку деформацій на заплавах.

На заплавах ґрунтові частинки у побутових умовах нерухомі, оскільки фактична побутова швидкість течії води по заплаві менше за розмивну. Розмив на цій ділянці розпочнеться тільки при умові, якщо швидкість потоку перевищить нерозмивну для частинок наносів [1].

Аналіз проблеми. Дослідників переважно цікавить лише пропускну здатність зарослих ділянок заплав, тому запропоновані рішення мають в більшості емпіричний характер. Беручи до уваги, що заплавний потік залежить від підстилаючої поверхні, сформованої у попередні періоди, як правило у рівняннях руху потоку визначається член, що враховує гідравлічний опір поверхні заплави. Опір каналу із трав'янистим покривом розглядався у роботах [2–8], де приводяться різні розрахункові залежності.

В роботі [2] запропонований метод визначення гідравлічної шорсткості заплави, покритою рослинністю, з урахуванням зміни висоти рослин під дією річкового потоку. Відношення величин характерних розмірів перешкод, обумовлених рослинністю заплавного потоку прийнято за узагальнений параметр рослинності. За характерний розмір заплавного потоку прийнято, відповідно, об'єм паралелепіпеда з основою, яка визначається за розмірами обраної площадки, покритою рослинністю, і висотою, що дорівнює глибині потоку на заплаві.

В [3-8] різними методами ураховувалися деформації рослинності. Під впливом набігаючого потоку чагарникова і трав'яна рослинність згинається, тобто відбуваються пружні деформації поперечного вигину. Ці особливості протікання потоків з рослинністю розглянуто в роботі [3]. Для кожної рослини відлічувався кут її нахилу від вертикального положення стебла у похилому й вертикальному положеннях. Таким чином, за узагальнений параметр стосовно до чагарникової, лугової й болотної рослинності, що згинається, автор [3] вважає, що повинна прийматися неповна висота рослини, з урахуванням нахилу її під дією потоку, що набігає. Запропонована у роботі [3] модель ураховує дію усередненої і пульсаційної компонент напружень, приведена ж схема дає можливість тільки у першому наближенні визначити деформації рослинності і їхній вплив на розподіл середньої швидкості, питомих витрат і всіх гідравлічних параметрів потоку. Спектр коливань поверхні визначено через спектр дотичного напруження, відповідно виражений через спектр тиску. У свою чергу, коливання поверхні рослинності вносять додатковий вклад у спектр пульсацій поздовжньої складової швидкості.

Проблема розповсюдження повені на ділянках з деревами, кущами, будівлями розглянута у роботах [6, 7]. На основі сучасних методів моделювання можна виділити один із підходів рішення цієї проблеми. Задача у вертикальній площині – представлена для широкого каналу приблизно з постійною глибиною. „Звичайний” вертикальний розподіл швидкостей розглядається лише над шаром рослинності, у шарі рослин – профіль досить

складний. Ряд експериментальних досліджень наведено у роботах [6]. Згідно постановки задачі, у роботах [6, 8] розподіл поздовжньої швидкості по вертикалі визначається з урахуванням рівномірно розподіленої сили, яка діє у шарі рослин. Однак яка-небудь аналітична апроксимація для визначення величин як загальних, так і місцевих розмивів на заплаві з урахуванням розподілу швидкості всередині шару рослин у сучасній науковій літературі поки що не запропонована.

Відповідно мета роботи полягає в аналізі процесу деформацій на заплавних ділянках в зоні впливу мостових переходів.

Фактори, що обумовлюють розвиток розмивів на заплавних ділянках кардинально відрізняються від відповідних процесів у руслах.

1. Швидкості на заплавній ділянці, а отже і потенціальна енергія потоку будуть значно меншими ніж в руслі через меншу витрату.

2. На відміну від русла, заплави мають значний рослинний покрив представлений, як правило, не річковою рослинністю, а степовою, лісовою та болотяною, що суттєво впливає на загальні швидкості потоку. Рослинність працює за принципом гасника швидкостей та зумовлює додаткову турбулентність в нижній зоні.

3. Геологічна будова русла і заплави відрізняється. Русло, як правило, представлено донними наносами різної крупності, що перебувають в стані постійної міграції (процес розмивання та відкладення). Заплава ж, по перше, представлена рослинним ґрунтом у верхній своїй частині, по друге, відсутність тягнених наносів, по третє, в нижній зоні велика ймовірність присутності піщаних та супіщаних ґрунтів.

4. Геометрична будова в поперечному профілі, при якій заплава знаходиться вище русла, при значному часі протікання паводку зумовлюватиме вирівнювання відміток дна русла та низу заплави.

Процес взаємодії заплави з руслом під час паводку має досить складний характер. В результаті цієї взаємодії можна спостерігати як відбувається утворення нових заплав за рахунок звуження русла (відкладення донних наносів, замулення) та в подальшому заростання його рослинністю, так і розширення русла за рахунок розмиву заплави. Для гідротехнічних споруд, зокрема мостових переходів, небезпечними являються саме ерозійні процеси.

Трав'янистий покрив добре захищає ложе й укоси каналів від розмиву, дозволяє підвищити нерозмивні швидкості у каналі, може служити дешевим екологічним кріпленням укосів гідротехнічних споруд. На поверхні заплав також виявляються крупні фракції у вигляді окремих невеликих скупчень в тих

місцях, де під час повені виникають місцеві значні швидкості течії. Але переважна маса донних наносів виявляється похованою під товщею намулку, дрібних фракцій, які були занесені на заплаву у паводок в зваженому стані. Цей намулок слід розглядати як одну з форм акумуляції зважених наносів, які з часом знов прийдуть у рух в результаті підмиву заплавного уступу при планових переміщеннях русла. Проте період стану спокою цих відкладень такий великий, що може виявитися сумірним з термінами, характерними для природних незворотних деформацій.

При розмиві глибина, а отже, і площа поперечного перетину потоку зростатимуть, і швидкість течії зменшиться. Розмив припиниться після того, як швидкість течії, що знижується по мірі розмиву, дорівнюватиме нерозмивній, і рух частинок ґрунту не відбуватиметься. У разі невеликого стиснення потоку, при споруді мостового переходу, швидкість течії на заплавній ділянці отвору мосту зростатиме також повільно і може не перевищувати нерозмивну; у цих випадках розмив заплавної ділянки відбуватися не буде.

Загалом же процес розмиву заплави можна поділити на три періоди:

1. Початковий період котрий характеризується затопленням заплави водою, та відсутністю ерозії. На цьому етапі заплава затоплюється водою, але за рахунок сил тертя що зумовлені віддаленістю від русла, та впливом рослинності, швидкість потоку на цій ділянці буде меншою ніж в руслі. Крім того уповільнюватиметься швидкість у самому руслі. Явище уповільнення швидкості в руслі при потраплянні потоку на заплаву, що призводить до зменшення пропускної здатності називають кінематичним ефектом [9] (рис. 1).

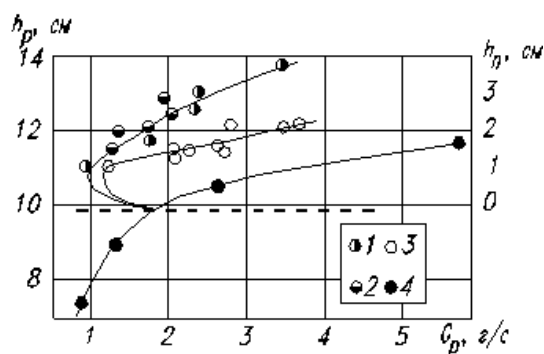


Рис.1. Графік залежності витрати наносів в руслі від ступеня затоплення заплави [9].

Деформації мікроформ, мезоформ та макроформ відображають всю повноту твердого стоку, але у формуванні заплав переважна роль переходу до зважених наносів. Під час повеней на затоплених заплавах зважені наноси осідають у вигляді шаруватого намулку, багаторічне наростання якого утворює основну заплавну фацію. Наноси, що з часом осіли тут, повертаються назад у річку у

результаті підвищення рівня води або руйнування річкою берегового заплавного уступу при планових переміщеннях русла. Обмін наносами між заплавою і руслом може бути урівноваженим, і тоді всі деформації повинні розглядатися як зворотні, і вся система русло — заплава знаходиться у стані динамічної рівноваги. Проте провести на заплаві межу між зворотними і незворотними деформаціями важче, ніж у руслі. У сильно розвинених заплавах період повного обміну наносами між заплавою і руслом виявляється за тривалістю сумірним з термінами, протягом яких можуть істотно змінюватися природні чинники, що визначають русловий процес. Тоді на заплаві можуть виявлятися елементи, не відповідні сучасному режиму річки. Такі елементи розглядаються як успадковані. Іноді вся заплава представляється успадкованою, і лише частина її зберігає активність.

Заплавний потік, як і русловий, є гетерогенним, насиченим зависсю, що за рахунок гасіння швидкості потоку буде осідати на дні. Цей період триватиме порівняно недовго, тому що швидкість буде наростати, а рослинний ґрунт не має достатньо механічних властивостей щоб опиратися деструктивним процесам.

2. Другий період характерний початком розмивних процесів. Середня швидкість потоку вже достатня для того, щоб розмивати рослинний шар та вимивати рослини. Хоча рослинність продовжуватиме працювати як гасник, та зменшуватиме швидкість потоку, ґрунт вимиватиметься і опір зменшуватиметься. Тривалість цього періоду буде залежати від типу рослинності, темпів наростання швидкості та структури самого ґрунту.

3. Третій період характеризуватиметься різким збільшенням середньої швидкості у зв'язку з повним розмивом верхнього шару з рослинністю. Нижні шари опиняться оголеними, розмив буде тривати інтенсивніше, швидкість наростатиме. Кінець цього періоду буде ознаменований злиттям русла з заплавою. Тривалість цього періоду залежатиме від структури та шарів ґрунтового масиву заплави.

Схематично графік зміни швидкостей, та глибини розмиву під час цих періодів можна представити на рис. 2.

Розмивні процеси можуть зупинитися під час будь якого з цих трьох етапів, якщо паводок почне спадати. Але певні зміни в структурі заплавної ділянки все одно матимуть місце.

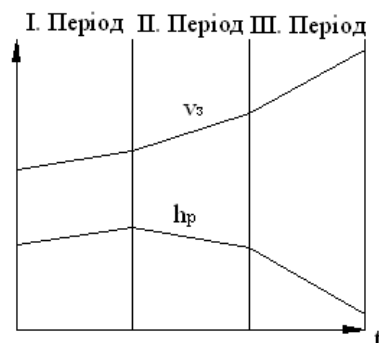


Рис. 2. Залежність v_z та h_p від часу t , де v_z – швидкість на заплаві, h_p – глибина розмиву, t – час.

Висновки

Геоморфометрія заплавних ділянок характеризується наявністю значної рослинності, намулків від попередніх повенів та паводків і обумовлює генетичну несхожість з руслами. Для заплавних ділянок не запропоновано математичних моделей, які дозволяють враховувати особливості цих ділянок, стосовно розподілу рослинності та намулу. Існуючі моделі дають можливість визначити розподіл середньої по вертикалі швидкості над шаром рослинності однорідних потоків з урахуванням коефіцієнта гідравлічної шорсткості, що в кінцевому результаті не дозволяє визначити реальний розподіл швидкісної структури та деформацій на заплавах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика прогнозування розвитку загальних руслових деформацій біля струмененапрямних дамб мостових переходів та рекомендацій по усуненню цих деформацій (МРР 218–02070915–410–2004) / розроб. В.Я. Савенко, О.С. Славінська, О.Є. Щодро – К.: УКРАВТОДОР: НТУ, 2004. – 27 с.
2. Лятхер В.М., Гурин И.Н. Гидравлические характеристики потоков над поверхностью, покрытой травянистой растительностью // Водные ресурсы №3. – 1978. – С. 159 – 168.
3. Менжулин Г.В. Об аэродинамических параметрах растительного покрова. – Тр.ГГО. 1972. - Вып. 282. – С. 133-143.
4. Марунич С. В. Характеристики турбулентности в условиях леса по градиентным и структурным наблюдениям. - Тр. ГГИ. – 1971. – Вып. 198. - С. 154-165.
5. Менжулин Г.В. К методике расчета метеорологического режима в растительном сообществе. - Метеорология и гидрология. – 1970. – №2. - С. 92-99.
6. Дубов А.С., Быкова Л.П., Марунич С.В. Турбулентность в растительном покрове. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 183 с.
7. Kadlec R. H. Overland flow in wetlands: vegetation resistance // Journal of Hydraulic engineering. – Vol. 116 - NO. 5. - 1990. - P. 691 – 706.
8. Симонов В.В. Модель приповерхностного турбулентного потока при наличии проницаемых препятствий // Физика пограничного слоя. - Труды ГГО. – 1984, вып.483. С. 22-35.
9. Железняков Г.В. Пропускная способность русел, каналов и рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1981, - 311с.

Каськів С.В.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ УКОСІВ

Анотація. У статті розглянуто різні методи розрахунку стійкості укосів з врахуванням можливого їх обводнення.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; укіс; стійкість.

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы расчета устойчивости откосов с учетом возможного их обводнения.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; откос; устойчивость.

Abstract. The article examines different methods of calculating stability of slopes with regard to their irrigation potential.

Key words: road; embankment; slope; stability.

Оцінка стійкості укосів може бути виконана за двома основними моделями граничної або локальної рівноваги [1–10]. Моделі протилежні за своїми фізичними передумовами. На їх базі одержали розвиток інженерні методи розрахунку на принципах криволінійних і ломаних поверхонь ковзання, які застосовуються зараз в проектуванні. Існує третій напрямок, що базується на знаходженні напружено-деформованого стану (НДС) споруд з застосуванням тієї чи іншої математичної моделі ґрунту з можливим врахуванням всіх діючих сил, змінності розрахункових характеристик ґрунтів, а також знаходження форми і розміщення можливих поверхонь ковзання на основі варіаційних принципів [11].

У моделі граничної рівноваги приймається, що у всіх точках ґрунтового середовища має місце граничний стан.

Друга модель базується на гіпотезі локальної граничної рівноваги. Процес порушення стійкості реальних ґрунтових споруд досить таки складний, але часто, як показують спостереження формування області сповзаючого масиву, коли втрачається стійкість укосу, супроводжується зсувом по поверхні ковзання. Причому сповзаючий і стійкий масиви залишаються в дограничному стані, руйнуючись лише в процесі зсуву. Це дає підставу для застосування в

розрахунках стійкості теорії, яка базується на використанні моделі затверділого відсіку руйнування. В основі даної теорії лежать рівняння рівноваги теоретичної механіки і спосіб переведення дійсної схеми споруди, що розраховується, в граничний стан. При цьому під граничним слід розуміти такий напружений стан поверхні зсуву, коли в усіх її точках витримується умова міцності Кулона-Мора:

$$\tau_n = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (1)$$

Вся область руйнування або її окремі відсіки приймаються жорстким тілом, не здатним до деформування. Розглянемо основні методи розрахунку стійкості укосу з огляду їх застосування для обводнених укосів глибоких виїмок.

Метод горизонтальних сил Маслова-Берера. Метод застосовується у випадках, коли укіс складний різнорідними ґрунтами і обвал відбувається по відомій довільній поверхні ковзання. Передбачається, що ця поверхня ковзання (її положення й обрис) вже встановлена хоча би на частині її простягання за наслідками інженерно-геологічних досліджень. Масив ґрунту розділяють на окремі відсіки з таких міркувань, щоб кожен розрахунковий відсік полягав, по можливості, з однорідного ґрунту. Кожну лінію ковзання в окремому відсіку приймають за пряму лінію (рис. 1).

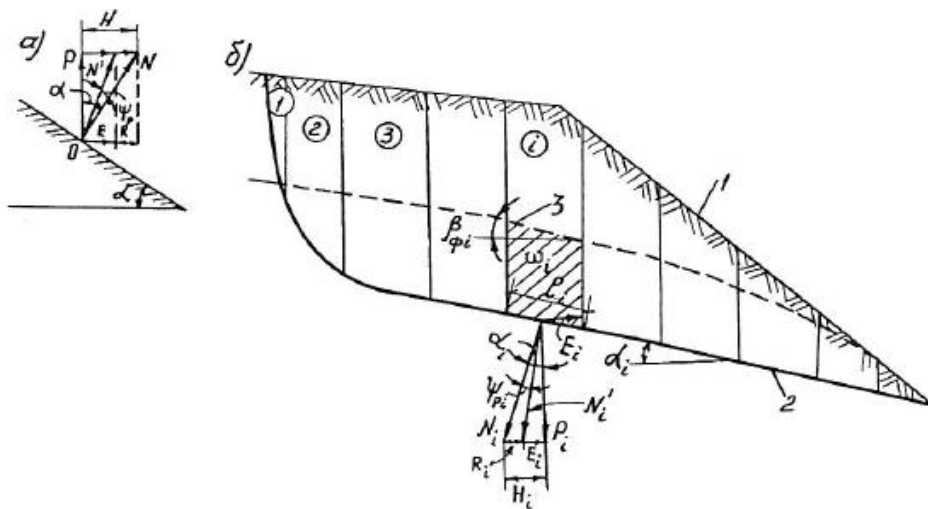


Рис. 1. Метод горизонтальних сил (Маслова-Берера): а – основний принцип; б – для розрахунку стійкості схилу і величини зсуваючого тиску; 1 – поверхня схилу (укосу); 2 – поверхня ковзання; 3 – поверхня депресії; ω_i – площа водонасиченої частини відсіку; N, N_i – нормаль до поверхні ковзання складова реакції ваги P, P_i ; N', N_i' – те ж, але за наявності в ґрунті тертя і зчеплення; H, H_i – розпір (проекція на горизонтальну вісь сили N, N_i); R, R_i – частина розпору, що сприймається тертям і зчепленням; E, E_i – непогашена частина розпору H, H_i .

Остаточна формула для розрахунку коефіцієнта стійкості методом горизонтальних сил, з урахуванням фільтраційного тиску, має:

$$k_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i [tg \alpha_i - tg(\alpha_i - \psi_{pi})]}{\sum_{i=1}^n (P_i tg \alpha_i + j_i \cos \beta_{\phi i} + Q_{ci})}. \quad (2)$$

Цей метод, на нашу думку, не придатний для розрахунку стійкості укосів насипів автомобільних доріг, але його можна застосовувати при розрахунку обводнених укосів глибоких виїмок, при виконанні попередніх інженерно-геологічних вишукувань.

Метод круглоциліндричної поверхні ковзання. Це досить поширений метод і застосовується для визначення коефіцієнта стійкості схилу, складеного однорідними ґрунтами (за відсутності фіксованої поверхні ковзання). Коефіцієнт стійкості схилу визначають за формулою (рис. 2):

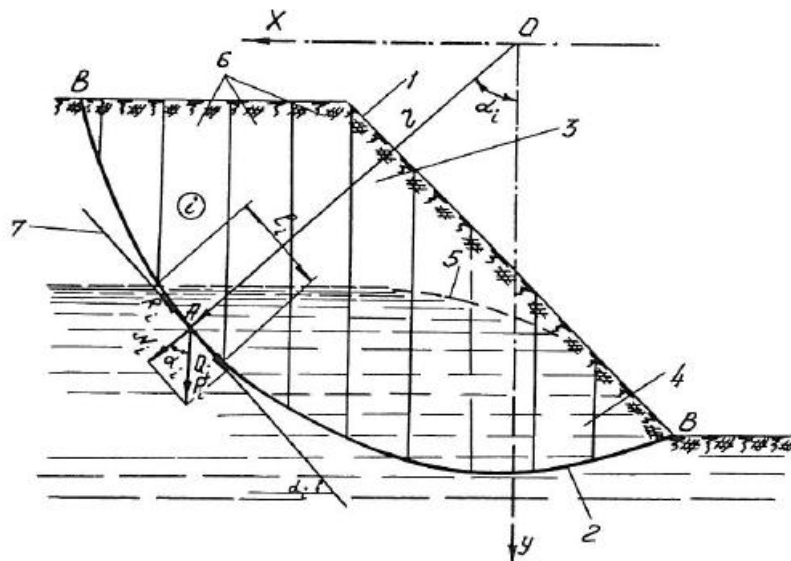


Рис. 2. Метод круглоциліндричної поверхні ковзання: 1 – поверхня схилу (укосу); 2 – поверхня ковзання; 3 – суха частина зсувного блоку; 4 – водонасичена частина зсувного блоку; 5 – крива депресії; 6 – відсіки, на які умовно розбивається укіс; 7 – дотична поверхні ковзання в розрахунковому відсіку; $N_i = P_i \cos \alpha_i$ – нормальна складова ваги відсіку; $R_i = P_i \cos \alpha_i \tan \phi_i + c_i l_i$ – утримуюча сила; $Q_i = P_i \sin \alpha_i$ – зсуваюча сила (дотична складова ваги відсіку)

Остаточні формули для визначення коефіцієнта стійкості методом круглоциліндричної поверхні ковзання, при простому затопленні укосу:

$$k_{cm} = \frac{\sum M_{ymp}}{\sum M_{зсுவ}} \quad \text{або} \quad k_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{ei} \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_{ei} + c_{ei} l_i)}{\sum_{i=1}^n (P_{ei} \sin \alpha_i + Q_{ci})}. \quad (3)$$

де M_{ymp} – сума моментів сил, що утримують масив ґрунту;

$M_{зсув}$ – сума моментів зсуваючих сил;

P_{ei} – вага відсіку з врахуванням зважуючих сил води;

α_i – кут нахилу підосви відсіку до горизонту;

c_{ei} , φ_{ei} – міцнісні характеристики водонасиченого ґрунту на рівні поверхні ковзання, відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя;

l_i – довжина підосви відсіку (довжина хорди, що сполучає межі підосви відсіку);

Q_{ci} – сейсмічна сила, що діє на відсік (в разі її наявності).

Метод Шахунянца. Аналітичний метод Г. М. Шахунянца найзручніше застосовувати, коли конфігурація поверхні ковзання на всьому протязі вже встановлена. Використовується він і в тих випадках, коли методом підбору необхідно встановити найбільш небезпечну поверхню ковзання (екстремаль).

Обвальний блок для розрахунків членується на ряд відсіків, які приймають такими, щоб без практичної втрати точності можна було в їх межах приймати поверхню за площину і щоб стан ґрунту, контур схилу, дія зовнішніх сил і т.п. були практично однорідними.

Коефіцієнт стійкості, при звичайному водонасиченні схилу:

$$k_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{ei} \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_{ei} + c_{ei} l_i) \frac{\cos \varphi_{ei}}{\cos(\alpha_i - \varphi_{ei})}}{\sum_{i=1}^n (P_{ei} \sin \alpha_i + Q_{ci}) \frac{\cos \varphi_{ei}}{\cos(\alpha_i - \varphi_{ei})}}. \quad (4)$$

Метод Вольта. У цьому методі, розробленому німецьким вченим Юргеном Вольдтом, приймається статична рівновага (сил і моментів) всього тіла обвалення.

Розглядається укіс, в якому по потенційній поверхні ковзання в кожній точці виконується умова граничної рівноваги Кулона (1).

Коефіцієнт стійкості укосу визначають відношенням фактичних значень міцнісних характеристик ґрунту вздовж даної поверхні ковзання $tg\varphi_\phi$, C_ϕ , які визначають, наприклад, лабораторними випробуваннями зразків непорушеної структури (або по підготовленій поверхні – «плашка по плашці» – залежно від стану схилу), до теоретичних значень $tg\varphi_T$, C_T . Такий підхід до оцінки ступеня стійкості укосу (схилу) отримав назву «Правило Фелленіуса»:

$$k_{cm} = \frac{tg\varphi_\phi}{tg\varphi_T} = \frac{c_\phi}{c_T}. \quad (5)$$

Метод Вольдта, як ітераційний, може бути реалізований тільки із застосуванням комп'ютера. Тут слід зазначити, що метод Вольдта дозволяє визначити лише коефіцієнт запасу стійкості укосу, причому як функції міцнісних характеристик ґрунту в зоні поверхні ковзання, що відрізняє підхід до поняття коефіцієнта стійкості в інших методах, де це є найчастішим відношення утримуючих сил уздовж поверхні ковзання до зсуваючих (або відповідних моментів).

Метод Янбу. Цей метод розрахунку коефіцієнта стійкості схилу, запропонований Янбу у 1954 році (дещо удосконалений у 1973 р.), також заснований на прагненні досягнення поняття рівноваги сил і моментів і, за задумом автора, повинен був застосовуватись для поверхонь ковзання будь-якої форми (рис. 3).

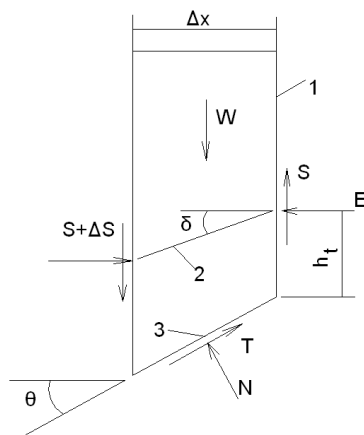


Рис. 3. Сили, прикладені до відсіку за методом Янбу: 1 – контур елементарного відсіку; 2 – лінія тиску; 3 – серединна точка основи відсіку

Використовуючи позначення, що наведені на рис. 3 остаточна формула для визначення коефіцієнта стійкості буде:

$$k_{cm} = \frac{\sum \{c\Delta x \sec \theta + [(W + \Delta S) \sec \theta - T \tan \theta] \tan \phi\} \sec \theta}{\sum (W + \Delta S) \tan \theta}. \quad (6)$$

Метод Моргенштерна і Прайса. У методі, розробленому Моргенштерном і Прайсом у 1965 р, умови рівноваги розглядаються для кожного елементу не тільки щодо напрямів нормалі і дотичної, але й також і моментів. На рис. 4 показаний довільний відсік призми обвалення.

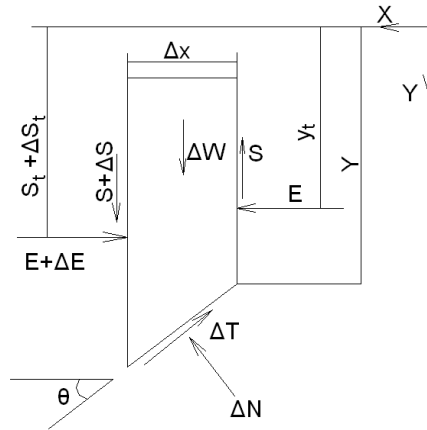


Рис. 4. Схема сил у відсіку за методом Моргенштерна і Прайса

Рівновага забезпечується, прирівнюючи нулю моменти щодо підосви і суму проекцій сил на напрям нормалі і дотичну до підосви відсіку. Звідси витікають наступні залежності:

$$\begin{aligned} S &= y \frac{dF}{dx} - \frac{d}{dx} (E y_t); \\ \Delta N &= (\Delta W + \Delta S) \cos \theta + \Delta E \sin \theta; \\ \Delta T &= (\Delta W + \Delta S) \sin \theta - \Delta E \cos \theta. \end{aligned} \quad (7)$$

Критерій руйнування Мора-Кулона має вигляд:

$$\Delta T = \frac{c\Delta x \sec \theta + \Delta N \tan \phi}{k_{cm}}. \quad (8)$$

Метод рівномірного укусу. Цей метод базується на двох наступних основних даних:

1) кут стійкого (природного) укусу для будь-якої гірської породи є кут опору її зсуву (ψ_p);

2) критичне напруження у товщі визначається рівністю двох головних напружень (коефіцієнт бічного тиску $\xi=1$), що дорівнює вазі стовпа ґрунту з висотою, що у свою чергу дорівнює глибині занурення даної точки від горизонтальної поверхні ґрунту.

Метод F_p базується на висновку автора, що кутом природного укусу для зв'язного ґрунту є кут опору зсуву ψ_p . Для сипучих ґрунтів, кут природного укусу дорівнює куту тертя ϕ . Тому укис для ґрунтів, без зчеплення, буде одним по всій висоті і в граничному стані рівноваги визначатиметься кутом $\alpha = \phi$. При $\alpha > \phi$ укис нестійкий. При $\alpha < \phi$ укис має деякий запас стійкості, що визначають величиною коефіцієнта запасу n :

$$n = \operatorname{tg} \phi / \operatorname{tg} \alpha. \quad (9)$$

Для глинистих ґрунтів, що володіють зчепленням, зберігається повна аналогія: у граничному стані рівноваги $\alpha = \psi_p$; при $\alpha > \psi_p$ укис нестійкий; при $\alpha < \psi_p$ укис має деякий запас стійкості, що визначають коефіцієнтом запасу n :

$$n = \operatorname{tg} \psi_p / \operatorname{tg} \alpha. \quad (10)$$

Варіаційний метод знаходження екстремалі розглянутий у статті автора [12].

У дорожній галузі найбільшого поширення знайшов *метод круглоциліндричних поверхонь ковзання*. Цей метод застосовують для визначення коефіцієнта стійкості укусу, складеного однорідними ґрунтами (за відсутності фіксованої поверхні ковзання). Хоча і у цьому методі укис попередньо розбивають на низку відсіків.

В основних нормативних документах у дорожній галузі [13–15] не конкретизується метод розрахунку стійкості укосів насипів. У суміжних галузях [16–19] також не конкретизують методи розрахунку, а вказують, що стійкість укосів потрібно перевіряти за можливими поверхнями зсуву (круглоциліндричними, ломаними тощо) із знаходженням самої небезпечної призми обвалення, що характеризується мінімальним відношенням узагальнених граничних реактивних сил опору до активних сил зсуву.

Критерієм стійкості насипів згідно з [17, 20] є дотримання (для самої небезпечної призми обвалення) нерівності:

$$\gamma_f \cdot T \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot R, \quad (11)$$

де γ_f – коефіцієнт поєднання навантажень (надійності по навантаженню), для основного випадку $\gamma_f = 1,00$, для особливого $\gamma_f = 0,90$, для будівельного періоду $\gamma_f = 0,95$;

T – розрахункове значення загальної активної сили зсуву;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, на стадії експлуатації приймають $\gamma_c = 1,0$;

γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує ступінь важливості споруди, для автомобільних доріг приймаємо $\gamma_n = 1,0$;

R – розрахункове значення загальної активної сили граничного опору зсуву, яке потрібно визначати із врахуванням коефіцієнта надійності по ґрунту γ_g .

Висновок

Аналіз існуючих методів розрахунку стійкості укосів, зокрема обводнених, свідчить про їх різноманіття, хоча в основі кожного із них лежить відношення зсуваючих сил (моментів) до утримуючих або інше їх порівняння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.

2. *Маслов Н.Н.* Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. – М.-Л., 1965 – 468 с.
3. *Маслов Н.Н.* Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
4. *Соколовский В. В.* Статика сыпучей среды. – М.: Гостехиздат, 1954.
5. *Терцаги К.* Теория механики грунтов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 507 с.
6. *Харр М.Е.* Основы теретической механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1971. – 320 с.
7. *Гольдштейн М.Н.* Проблемы расчета устойчивости грунтовых массивов // Основания и фундаменты. – Вып. 10. – Киев, 1977. – С. 13–21.
8. *Кандауров И.И.* Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. – Л.: Стройиздат, Ленингр.отд-ние, 1988. – 280 с.
9. *Нагрузки и воздействия на здания и сооружения : [справ. пособ.] / В.Н. Гордеев [и др.]* Под ред. Перельмутера А.В.. – К.: Сталь, 2005. – 479 с.
10. *Проектирование и строительство автомобильных дорог: Справочник /* Под ред. В.И.Заворицкого. – К.: Техніка, 1996. – 382 с.
11. *Варіаційне обчислення.* – Харків, ХДПУ, 1999. – 44 с.
12. *Каськів С.В., Рутковська І.А.* Застосування варіаційного методу для розрахунку обводених укосів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2008. – Вип. 74. – С. 86–92.
13. *Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3–4:2007.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
14. *Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
15. *Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування ДБН В.2.3-22:2009.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
16. *Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
17. *Плотины из грунтовых материалов: СНиП 2.06.05-84*.* – М.: Госстрой СССР, 1991. – 76 с.
18. *Земляные сооружения. Основы и фундаменты: СНиП 3.02.01-87.* – М.: Минстрой России, 1996. – 120 с.
19. *Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.09.03-85* – М.: Госстрой СССР, 1981 – 100 с.
20. *Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования: СНиП 2.01.15-90.* – М.: Госстрой СССР, 1991. – 41 с.

Вітринська І.В.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ “ALLPLAN” У ГЕОДЕЗІЇ ТА ПРОЕКТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Аналіз програмного комплексу “ALLPLAN”, його використання у геодезії та при проектуванні автомобільних доріг.

Ключові слова: Програма, геодезія, проектування.

Аннотация. Анализ программного комплекса "ALLPLAN", его применение в геодезии и при проектировании автомобильных дорог.

Ключевые слова: Программа, геодезия, проектирование.

Abstract. Analysis of software "ALLPLAN", its use in surveying and the design of highways.

Keywords: Program, surveying, planning.

Постановка проблеми. З розвитком автодорожнього комплексу, особливо в умовах підготовки до ЄВРО 2012 та перспективами іноземного інвестування, автоматизоване проектування автодоріг потребує все більшої уваги. Основне завдання проектувальників – отримати найкращі функціональні, економічні та естетичні результати. Щоб досягнути найвищої якості створення нових споруд (з дотриманням усіх технічних вимог) інженери повинні використовувати програми для автоматизованого проектування, які дають змогу позбутися особистих помилок та створити 3-D вигляд майбутньої споруди. На сьогоднішній день існує декілька програм, що мають засоби для автоматизованої обробки геодезичних вимірів та проектування автомобільних доріг. При виборі потрібної системи автоматизованого проектування (САПР) спеціаліст повинен орієнтуватись в їхніх можливостях, щоб надати перевагу саме тій програмі яка задовольнить усі необхідні вимоги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизоване виконання геодезичних робіт та проектування автомобільних доріг завжди цікавило інженерів-спеціалістів та науковців даного профілю. Такі дослідники, як Крилов А. О. [4], Некрасов А. В., Некрасова М. А. [5] та інші розглядали програму комплексного автоматизованого проектування “Allplan”. Їхня робота

була спрямована на виділення функцій системи які відрізняють її від інших САПР та надають перевагу в порівнянні з іншими.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Комплексну систему автоматизованого проектування “Allplan” згадані дослідники розглядали здебільшого спираючись на вимоги архітектурного дизайну та проектування будівель. Потреби геодезистів та інженерів-дорожників враховувались частково, поверхнево.

Постановка завдання. Завданням даної статті є дослідження можливостей програми “Allplan” при виконанні автоматизованої обробки геодезичних вимірів та проектуванні автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. “Allplan” – комплексна система автоматизованого проектування, призначена для архітекторів та інженерів-будівельників. Система створена фірмою “Nemetschek” (Німеччина, Мюнхен) та адаптована до вимог вітчизняних нормативних документів. Програма містить наступні модулі: *модуль загального призначення* (містить набір інструментів для створення двовимірних об’єктів, креслень та компоновання креслярського аркуша); *додаткові модулі* (можливість 3D-моделювання, створення специфікацій, макросів, обробка сканованих креслень); *архітектурний модуль* (дозволяє побудувати об’ємну архітектурну модель майбутньої споруди); *модуль конструювання* (дозволяє автоматизувати процеси армування залізобетонних конструкцій сітками та стрижнями, розмістити крокви); *модуль ландшафтної архітектури й містобудування “Гео”* (дозволяє побудувати цифрову модель місцевості, рельєф та план місцевості, запроектувати дорогу і штучні споруди на ній, зобразити зелені насадження); *модуль візуалізації* (дозволяє створити презентаційні матеріали: розрахунок тіней, високоякісні растрові зображення й анімаційні ролики); *модуль інженерних систем будівель* (дозволяє виконати розрахунки та розмістити внутрішні інженерні системи водопроводу, каналізації, опалення, вентиляції й електропостачання) (рис.1).

Для геодезії найважливішим є модуль ландшафтної архітектури та містобудування “Гео”. Цей модуль поділяється на чотири розділи: “Дорожня мережа”, “Цифрова модель місцевості”, “Ландшафтна архітектура та містобудування” (рис. 2).

У розділі “Дорожня мережа” існують безліч різних функцій для проектування доріг і мостів. У ньому є інструменти для побудови будь-яких кривих та укосів, а також для надписування і пікетування осьових ліній. Інші

команди дозволяють створювати файли координат точок, а також обмінюватися даними вимірювань. Координати вводяться шляхом оцифрування існуючих карт, уручну з клавіатури або шляхом прямого читання з файлів координат стандартних форматів, створених у модулі “Allgeo”.

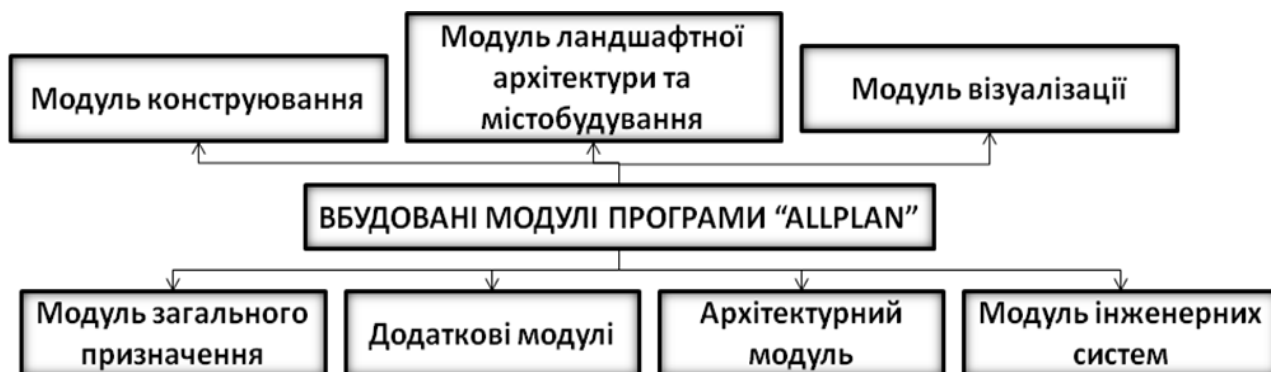


Рис. 1. Вбудовані модулі програми “Allplan”



Рис. 2. Розділи модуля “Гео”

Аналогічно за файловим інтерфейсом “REB” проводиться експорт трасувань, розрахованих в інших системах. Осі подаються суцільними лініями, складеними з окремих базових геометричних елементів. Із ними виконуються операції як із звичайними лініями, наприклад копіювання, переміщення, перетин. Написи головних точок кривих або пікетів у різних видах зображення забезпечують додаткові можливості для графічного аналізу. Розширення осьових ліній і паралелей може виконуватися автоматично відповідно до правил будівництва і реконструкції автодоріг, а також за іншими введеними вручну даними.

У розділі “Цифрова модель місцевості” передбачена робота з тривимірною цифровою моделлю місцевості. Використовуючи інструменти модуля, можна виконати такі операції: автоматично створити горизонталі (рис. 3) та триангуляційну сітку; нанести висотні позначки для точок мережі, горизонталей; побудувати профіль місцевості вздовж прямих або довільних кривих; запроєктувати транспортні комунікації на тривимірній місцевості;

автоматично створити план висотних креслень із нанесенням відомостей про ухили та радіуси, викривлення і скручування полотна, вписати в місцевість дорожнє полотно (рис. 4); розрахувати об'єми земляних робіт; автоматично створити поперечний профіль, ортогональний до довільних елементів (осей, профілів і т. д.); розрахувати виїмки та насипи; розрахувати укоси: укоси з постійним або змінним ухилом розраховуються, виходячи з кривих довільної форми (зокрема, кіл і клотоїд); автоматичне корегування креслень у всіх видах.

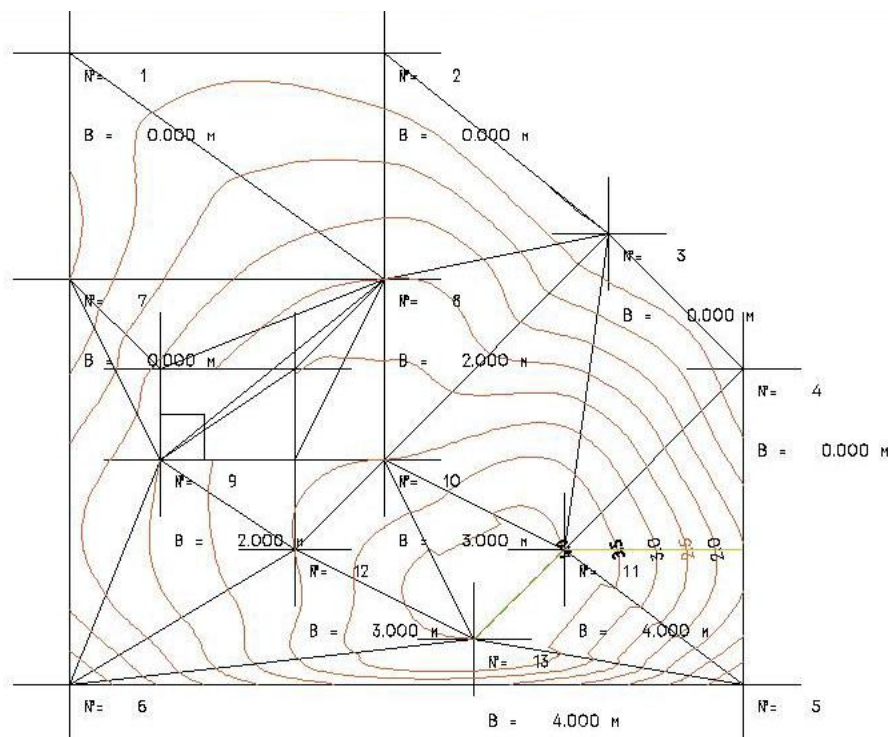


Рис. 3. Автоматизована побудова горизонталей

Для розрахунку цифрової моделі місцевості можуть бути експортовані та імпортовані координати точок. Уведення даних можливе за допомогою форматів DXF, REB, ASCII або вручну. Проектування й презентація будівельних об'єктів можуть здійснюватися в повній відповідності з рельєфом місцевості та існуючою забудовою.

Розділ “Містобудування” містить усі спеціальні функції, потрібні проектувальникам міст. Вбудовані інструменти роботи з картографічними знаками для побудови тривимірного ситуаційного плану, існує можливість визначення площ забудови, створення містобудівного кадастру. Модуль має можливість аналізу даних у змінних текстових позначеннях і специфікаціях.

Висновки з даного дослідження. Отже, програмний комплекс “Allplan” має необхідні функції для автоматизованої обробки геодезичних вимірів, виконання

креслень та проектування автомобільних доріг. Вбудовані інструменти спрямовані на спрощення, пришвидшення й покращення роботи геодезистів та дорожників.

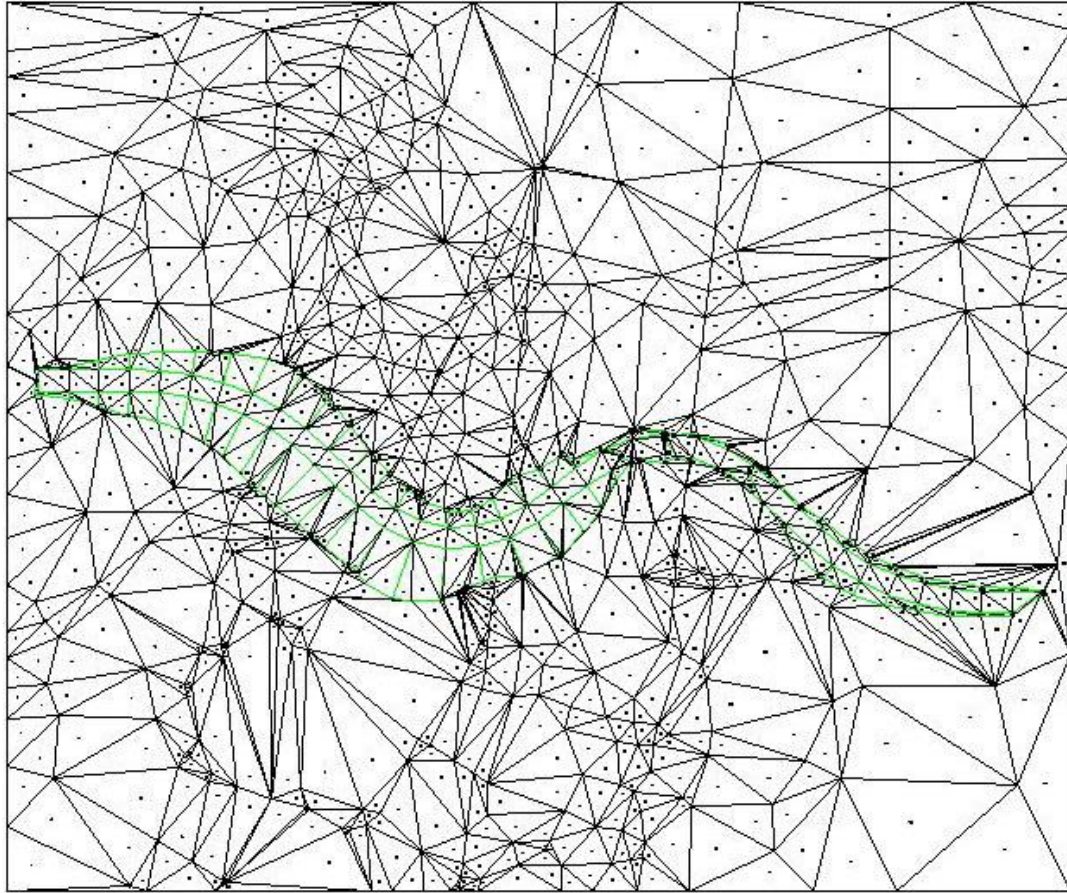


Рис. 4. Проектування автодороги на основі цифрової моделі місцевості

ЛІТЕРАТУРА

1. *Allplan* Градостроительство – профессиональное решение для проектирования среды обитания // САПР и графика. – 2001. – № 11. – С. 65 – 67.
2. *Nemetschek* – 40 лет лидерства и инноваций в программном обеспечении для строительства // САПР и графика. – 2003. – № 2. – С. 24.
3. *Работаем* с программным обеспечением фирмы *Nemetschek* // САПР и графика. – 2002. – № 8. – С. 51 – 53.
4. *Крылов А. О.* Allplan: мощная САПР-программа с нетрадиционным подходом к проектированию / А. О. Крылов // Информационный научно-технический журнал «Строительные материалы оборудование, технологии XXI века». – 2007. – №1 (96). – С. 72.
5. *Некрасов А. В.* Allplan 2006. Первый проект от эскиза до презентации: учебное пособие / А. В. Некрасов, М. А. Некрасова. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2006. – 180 с.

Корольков Р.О.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АРМУВАННЯ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИ ЇХ СПОРУДЖЕННІ

Анотація. У статті наведена методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; укіс; геосинтетичні матеріали; армування.

Аннотация. В статье приведена методика расчета армирования откосов насыпей автомобильных дорог с учетом изменения напряженного состояния при их сооружении.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; откос; геосинтетические материалы; армирования.

Abstract. The article describes methods of calculating reinforced embankments embankments of roads to the changing stress state in their construction.

Keywords: highway, embankment, slope, geosynthetic materials reinforcement.

У 2006 року у м. Йокогама (Японія) відбулась Восьма міжнародна конференція з геосинтетики [1]. Конференція була організована Міжнародним товариством з геосинтетики (IGS – International Geosynthetics Society) за підтримки Міжнародного товариства з механіки ґрунтів і геотехнічного будівництва та інших організацій. У роботі конференції прийняли участь близько 700 інженерів, дослідників і виробників геосинтетики з 51 країни світу, у тому числі і делегація з України.

Цей Форум був признаний найбільш вагомим і масштабним в історії міжнародних конференцій з геосинтетики за останні 30 років, його метою було надання можливості обміну інформацією між спеціалістами в галузях, які відносяться до геосинтетики, а також огляд інновацій і намічання перспектив розвитку напрямку геосинтетиків.

У рамках конференції працювала виставка виробників геосинтетики, на якій були представлені її світові лідери з Азії, Європи, Північної Америки і Нової Зеландії. Аналіз світового застосування геосинтетичних матеріалів засвідчив наступні результати рис. 1.



Рис. 1. Сучасні пріоритети розвитку геосинтетиків за даними IGS

Висновком даної конференції була константація, що геосинтетики знаходять все нові області застосування завдяки різноманітності їх видів і функцій з одного боку, а з іншого – завдяки загальній тенденції в будівництві: екологічності, необхідності будівництва у складних геологічних умовах (слабкі ґрунти, неоднорідні основи, гірські райони, насипні землі, відвойовані в моря території, сейсмічноактивні райони тощо), зниженню вартості і підвищенню надійності конструкцій

В Україні геосинтетики були використанні на всіх великих будівництва і реконструкціях автомобільних доріг державного значення. Це такі дороги як Київ – Чоп, Київ – Одеса, Київ – Бориспіль, Кіпті – Глухів – Бачівськ, при ремонтів вулиць м. Києва, зокрема вул. Хрещатик, та на багатьох інших об'єктах як дорожнього, так і цивільного будівництва. Наприклад, при реконструкції автомобільної дороги Київ – Бориспіль було використано понад 151 тис. м² різних матеріалів, а Київ – Одеса – понад 350 тис. м².

Останніми роками в Україні набули чинності нормативні документи, які регламентують методи випробування геосинтетичних матеріалів, розрахунки та технологію їх застосування ВБН В.2.3-218-544 [2], Посібник [3], СОУ 45.2-00018112-025 [4].

У ВБН В.2.3-218-544 [2], Посібник [3], стійкість укосів насипу пропонується розраховувати на основі круглоциліндричних поверхонь ковзання (процес їх знаходження, як правило, автоматизований, але все одно трудомісткий) і без урахування зміни напружено-деформованого стану насипу у процесі його зведення. Автором, на основі теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень (із обґрунтуванням і застосуванням плоскої поверхні ковзання, а також з урахуванням зміни напруженого стану при спорудженні земляного полотна), пропонується наступна методика розрахунку необхідного армування для стабілізації укосів насипів:

1. Із робочого проекту ділянки автомобільної дороги приймають потрібну висоту насипу – H ; вид ґрунту і його характеристики.

Можливо два варіанти розрахунку армування:

а) відомий тип геосинтетика і його характеристики і потрібно перевірити можливість його застосування;

б) потрібно підібрати геосинтетичний матеріал і його характеристики.

При розрахунках за варіантом "а" потрібно визначити, за розробленою автором методикою, а на сучасному етапі згідно з [4], коефіцієнти взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом на зсув (f_{ds}) та при висмикуванні геосинтетика із тіла насипу (f_{ds-e}).

Згідно з [2] визначають Проектну міцність армуючого геосинтетика визначають за формулою (1):

$$T_D = \frac{T_{\text{ном}}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (1)$$

де $T_{\text{ном}}$ – приймається рівною:

- R_p міцності на розрив, при розрахунках на короткотривалий строк служби споруди або конструкції;

- R_{cr} міцності при повзучості при розтягу (довготривала міцність), при розрахунках на довготривалий строк служби.

При розрахунках за варіантом "б" потрібно назначити коефіцієнти взаємодії ґрунту з геосинтетиком за [2]. Якщо експериментальні дані по визначенню R_{cr} відсутні, то R_{cr} визначається за формулою (2):

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}}, \quad (2)$$

де γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість: для поліестеру – 2,5; для поліпропілену – 5,0; для поліаміду – 2,86; для поліетилену – 5,0.

2. Розраховують граничний кут закладення укусу насипу (δ), з врахуванням, що функція $\arcsin$ дійсна на проміжку від 1 до -1:

$$\delta = \arcsin \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi \right)^2 + \cos^2 \varphi}} \right) - \arctg \left(\frac{\cos \varphi}{\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi} \right), \quad (3)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту;

ρ – щільність ґрунту насипу;

g – прискорення вільного падіння;

H – висота укусу.

У випадку, коли функція $\arcsin$ не дійсна, тоді δ розраховують розв'язуючи трансцендентне рівняння:

$$\sin \left(\delta + \arctg \left(\frac{\cos \varphi}{\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi} \right) \right) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4c \cos \varphi}{\rho g H} + \sin \varphi \right)^2 + \cos^2 \varphi}}. \quad (4)$$

3. Розраховують нахил поверхні ковзання армованого насипу:

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2 f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta}{2} + \sqrt{\frac{(2 f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta)^2}{4} - (1 + \operatorname{ctg} \delta)}. \quad (5)$$

4. Критичний кут ковзання армованого укосу насипу θ_{max} :

$$\theta_{max} = \arctg \theta_1. \quad (6)$$

5. Загальне армуюче зусилля T_a , яке необхідне для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу, визначають за формулою:

$$T_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cos \theta_{max} \cdot \sin \theta_{max} (1 - \operatorname{ctg} \delta \cdot \operatorname{tg} \theta_{max} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \theta_{max} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \delta)}{2 \cdot \sin \theta_{max} (\cos \theta_{max} + f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \theta_{max})}. \quad (7)$$

У подальших розрахунках приймають $T_{a \text{ роз}}$ із підвищуючими коефіцієнтами, які враховують відповідальність споруди, спрощений (плоска поверхня ковзання) метод розрахунку тощо.

6. Розраховують необхідну кількість армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{\text{арм}} = \frac{T_{a \text{ роз}}}{T_D}. \quad (8)$$

7. Визначають глибину вертикальної тріщини відриву:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (9)$$

8. Розраховують відстань між армуючими прошарками:

$$d_a = \frac{H - 0,5 \cdot h_{90}}{N_{\text{арм}}}. \quad (10)$$

9. Перший прошарок від поверхні насипу розміщують на глибині $0,5h_{90}$, а перший від основи насипу – на відстані d_a , далі прошарки розподіляють рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

10. Знаходять кут біля вершини насипу β :

$$\beta = 90 - \delta. \quad (11)$$

11. Розраховують вертикальне напруження σ_{zi} з врахуванням технології спорудження насипу та стадійного укладання армуючих геосинтетичних прошарків:

$$\sigma_{zi}^* = \frac{\rho g}{ctg\beta + \beta + \frac{\pi}{2}} \left\{ -z_i \cdot \left[\beta \cdot (1 + 2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) + \cos^2 \beta ctg\beta + \frac{\pi}{2} \sin^2 \beta \right] + \right. \\ \left. + 2 \cos^4 \beta (z_i \cdot tg\beta) \ln(tg\beta) - 2 \sin \beta \cos^3 \beta (z_i \cdot tg\beta) \times arctg(ctg\beta) \right\}. \quad (12)$$

12. Розраховують довжину анкерування армуючого прошарку у стійку частину насипу:

$$L_{\text{анк}} \geq 1 + \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-\theta} \cdot \sigma_z^* \cdot tg\varphi}, \quad (13)$$

де $[K_R]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу згідно з [2] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3).

13. Розраховують довжину геосинтетичного прошарку у призмі обвалення:

$$L_{\text{пр.обв}} = X_\theta - X_\delta, \quad (14)$$

де X_θ – горизонтальна проекція лінії ковзання на рівні закладення армуючого прошарку;

X_δ – горизонтальна проекція лінії укосу на рівні закладення армуючого прошарку.

$$X_{\theta} = \frac{h_{ai}}{tg\theta}, \quad (15)$$

де h_{ai} – висота закладення армуючого прошарку.

$$X_{\delta} = \frac{h_{ai}}{tg\delta}. \quad (16)$$

14. Розраховують загальну довжину армування для кожного геосинтетичного прошарку:

$$L_{арм} = L_{анк} + L_{пр.обв} + L_{об}, \quad (17)$$

де $L_{анк}$ – довжина анкерування геосинтетичного прошарку;

$L_{пр.обв}$ – довжина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення на рівні його закладання;

$L_{об}$ – довжина геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми (коли за проектом не передбачено влаштування обойм, то $L_{об} = 0$).

Висновок

У результаті роботи розроблена нова методика розрахунку армування укосів насипів автомобільних доріг, яка базується на використанні у розрахунках плоскої поверхні ковзання та урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шевчук В.Р., Журба Г.В. Міжнародна конференція з геосинтетики: сучасні напрямки розвитку // Автошляховик України. – 2006. – № 6. – С. 38–40.
2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008.. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.
3. Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-544:2008). – К.: Укравтодор, 2008. – 145 с.
4. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007. – К.: Укравтодор, 2007. – 104 с.

Усиченко О.Ю., к.т.н.

Барабанова Т.Г.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ АРМУВАННЯ ОСНОВ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. У статті узагальнені питання армування ґрунтових основ дорожніх конструкцій геосинтетичними матеріалами та проаналізовано принцип роботи армованого ґрунту. Також проведено аналіз методик розрахунків конструкцій насипу земляного полотна з використанням в його основі геосинтетиків за нормативною базою України та результатів досліджень, що проводяться на сьогодні у цьому напрямку. Визначено можливі напрямки подальшої роботи.

Ключові слова: земляне полотно, основа дорожньої конструкції, армований ґрунт, геосинтетичні матеріали, напружено-деформований стан, осадка.

Аннотация. В статье обобщены вопросы армирования грунтовых оснований дорожных конструкций геосинтетических материалов и проанализированы принцип работы армированного грунта. Также проведен анализ методик расчетов конструкций насыпи земляного полотна с использованием в его основе геосинтетиков по нормативной базой Украины и результатов исследований, проводимых на сегодня в этом направлении. Определены возможные направления дальнейшей работы.

Ключевые слова: земляное полотно, основание дорожной конструкции, армированный грунт, геосинтетические материалы, напряженно-деформированное состояние, осадка.

Abstract. The questions of reinforcement the ground base road constructions by means of geosynthetic materials is generalized and the principle of reinforced soil work is analysed in the article. The analysis of constructions design procedure and

subgrade embankment with geosynthetics in its structure is conducted in accordance with Ukrainian standard base and the results of experiments hold in this field. The possible further directions of research are given.

Keywords: subgrade, base road construction, reinforced soil, geosynthetic materials, the stress-strain state, draft.

Вступ. Останнім часом на теренах країн СНД, в тому числі в Україні, спостерігається тенденція застосування нетрадиційних дорожньо-будівельних матеріалів – синтетичних, які виконують різні функції в складі дорожньої конструкції. Однією з них є армування земляного полотна.

За останні сорок років у будівельній галузі світу важко знайти проблему, яка б викликала стільки творчого інтересу у спеціалістів, як будівництво споруд з армованих ґрунтів. Протягом останнього десятиліття метод армування, як метод для покращення фізико-механічних характеристик слабких ґрунтів, отримав широке визнання і впровадження в практику дорожньо-будівельної галузі.

Сам принцип армування ґрунтів був відомий ще у 4-5 тисячолітті до н.е. Але розроблений, офіційно визнаний і запатентований новий вид будівельних матеріалів – «армований ґрунт» був французьким вченим

А. Відалем.

Перші досвіди застосування синтетичних текстильних матеріалів в основах насипів земляного полотна на слабких ґрунтах були проведені на терені колишнього СРСР у 1974-1975рр. Вони виявилися настільки ефективними, що темпи зростання обсягів використання геосинтетичних матеріалів у транспортному будівництві почали стрімко зростати. [1] Адже їх унікальні властивості дозволяють суттєво підвищити міцність, довговічність та надійність дорожньої конструкції, а головне – зменшити вартість будівництва порівняно з традиційними проектними рішеннями.

Зараз можна відзначити, що практично на кожному дорожньо-будівельному об'єкті геосинтетичні матеріали застосовуються, як армуючі прошарки земполотна, так і шарів дорожнього одягу.

Мета і актуальність проблеми. Земляне полотно є важливим елементом автомобільної дороги, від міцності і стійкості якого залежить довговічність всієї конструкції. На сьогодні і досі актуальною проблемою у галузі

дорожнього будівництва є спорудження земляного полотна на слабких і неоднорідних ґрунтах.

У вирішенні цієї проблеми зроблено уже багато, а саме з кожним роком все більшого поширення набуває покращення властивостей земляного полотна завдяки широкому застосуванню геосинтетичних матеріалів.

Багатофункціональність і властивості сучасних геосинтетичних матеріалів створює необхідність розробки нових конструктивних рішень і методик розрахунку конструкцій з застосуванням геосинтетичних прошарків. При застосуванні армуючого геосинтетичного прошарку змінюється напружено-деформований стан конструкцій, в зв'язку з чим є актуально детально дослідити і проаналізувати процес перерозподілу напружень з перевантажених зон на сусідні недовантаженні ділянки.

Проаналізувати методику розрахунків земляного полотна з геосинтетичним прошарком за нормативними документами України та визначитись з можливими напрямками її вдосконалення для врахування впливу прошарку на роботу насипу.

Основна частина. Армований ґрунт – це складний композитний матеріал, що складається з еластопластичної матриці (ґрунту) і в'язкопластичного армування (геосинтетику).

Технологія армування ґрунту відома вже давно і в своїх примітивних формах з давніх часів широко використовувалася в Середній Азії при будівництві гідротехнічних споруд. Але глибоке теоретичне і експериментальне дослідження ідея армоґрунту отримала відносно недавно завдяки роботам Відаля та Шлоссера.

Для України застосування армування ґрунтів у транспортному будівництві має особливо важливе значення, адже територія нашої держави представлена майже всіма складними ґрунтовими умовами: просадочність, зсуви, карст і т.д. В таких умовах в процесі будівництва і експлуатації виникають великі деформації, що спричиняють часткову або повну руйнацію конструкцій.

Сучасні умови будівництва автомобільних доріг, особливо в складних умовах, потребують розробки індивідуальних проектів конструкції земляного полотна. Вибір найбільш раціональних конструкцій земляного полотна багато в чому залежить від прогнозу осадки і її розвитку в часі під дією ваги насипу. І

саме армування основи насипу є одним з перспективних методів вирішення цих питань в складних умовах.

Армування ґрунтового масиву геосинтетиками перетворює його в міцне тверде тіло анізотропної будови, подібної до будови штучних композитних матеріалів.

Принцип роботи армоґрунту оснований на можливості поєднання ґрунту і арматурних елементів (геосинтетиків), що змонтовані так, щоб зменшити напруження розтягу, які можуть виникати в ґрунті під дією сил гравітації чи зовнішнього навантаження і передати їх за допомогою сил зчеплення на геосинтетичний прошарок, який добре сприймає зусилля розтягу.

У армоґрунтовому масиві виникає складний напружено-деформований стан, а тому досить складно описати перерозподіл напружень.

Взагалі, ефект армування масиву ґрунту геосинтетичними матеріалами проявляється двояко.

Перше, арматура за рахунок власної міцності і опору розтягу перешкоджає зсуву одних частин ґрунтового масиву відносно інших. Друге, прошарок, працюючи сумісно з ґрунтом викликає перерозподіл напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені ділянки, залучаючи їх до роботи. Введення такого прошарку дозволяє підсилити небезпечну чи ослаблену зону конструкції, забезпечивши її рівномірну міцність.

Дослідження закономірностей процесів деформування і руйнування від зовнішніх навантажень насипів ґрунту, армованих геосинтетиками, триває в різних країнах світу лише 20-30рр. Цей час є не дуже значний, тому вивчення цих процесів знаходиться поки що на початковій стадії.

При розрахунках звичайного масиву ґрунту використовують феноменологічну математичну модель. А от для армованого ґрунту застосовують дискретну математичну модель. Її рівняння зв'язують загальні (феноменологічні) деформаційні і міцнісні характеристики ґрунтового масиву, як єдиного цілого, з показниками властивостей та взаємодії її внутрішніх елементів: ґрунту і армуючого прошарку.

Отже, при проектуванні армування ґрунту дорожнього полотна, для здійснення розрахунків є потреба використовувати дві математичні моделі. Для визначення кількості і якості елементів армування потрібна дискретна

математична модель, а для розрахунку осадок споруд, стійкості схилів – континуальні моделі.

Окремі елементи дискретної моделі при дії зовнішнього навантаження, як і в звичайних феноменологічних моделях, описують рівняння відомих модельних тіл з ідеальними властивостями. Ґрунт описує умова граничного напруженого сипучого середовища Кулона – Мора. Елементи армування, залежно від їх призначення (робота на розтяг, стиск або зріз) і поставленої задачі, описують або умови граничного опору жорсткого тіла, або умови деформування і руйнування пружно-крихкого тіла, а при роботі на стиснення – рівняння пружності або та ж сама умова граничного стану Кулона – Мора. Взаємодію по контактах описують умови дії сил тертя в стані спокою або в динаміці [2].

Проблема розрахунку напружено-деформованого стану армованих ґрунтових основ полягає у необхідності врахування сумісної роботи таких різних елементів, як ґрунт основи природної структури, армуючий елемент і матриця (засипка з ущільненого ґрунту) [3]. Це спричинено такими факторами:

- значною різницею їх деформаційних властивостей;
- значною різницею в міцносних властивостях;
- значною різницею в геометричних розмірах.

Потрібно зазначити, що раніше широке впровадження геосинтетичних матеріалів стримувалося відсутністю нормативних документів, які б регламентували правила застосування та методи випробувань геосинтетичних матеріалів, що спричиняло труднощі при проектуванні, будівництві та контролі якості матеріалів і обмежувало використання геосинтетики. На відмінно, від Європи, в якій прийнято норми DIN, ISO, та США, у яких прийнято ASTM та AASHTO, які регламентують використання геосинтетиків. Проте, за останні декілька років ця ситуація змінилась. Було розроблено і впроваджено нормативні документи ВБН В.2.3-218-544:2008 «Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві», СОУ 45.2-00018112-025:2007 «Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань», «Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН В.2.3-218-...-2006) » та ін. Проте, на жаль, їх ще дуже мало.

За ВБН В.2.3-218-544:2008 «Спори́ди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві» п.2.1.1 армування основи насипу земляного полотна виконують у таких випадках: при необхідності підвищення стійкості конструкції проти бічного розповзання по контакту «насип-основа»; для покращення несучої здатності слабкої підстиляючої основи і для рівномірності передачі навантаження на неоднорідну основу з локальними слабкими зонами тощо.

За п.2.3.1 при розрахунку стійкості насипу на слабкій основі з армуючим прошарком розглядають два граничних стани: несуча здатність та експлуатаційний граничний стан, тобто з врахуванням консолідації слабого ґрунту.

Для визначення внутрішньої і зовнішньої стійкості насипу на армованій основі виконують окремі розрахунки по забезпеченню:

внутрішньої стійкості ґрунту насипу, коли виконується умова:

$$\frac{1}{n} = \frac{H_1}{L_s} \leq \operatorname{tg} \varphi_{1d}, \quad (1)$$

де $1/n$ – закладання укосу;

H_1 – висота насипу;

L_s – ширина укісної частини при основі;

$\operatorname{tg} \varphi_{1d}$ – розрахункове значення кута внутрішнього тертя ґрунту насипу;

бічного розповзання насипу. Для цього армуюче полотно повинно протистояти горизонтальному бічному тиску ґрунту. Величину розтягуючих зусиль T_{ds} в геосинтетику, яка необхідна для стримування розповзання насипу визначають за формулою:

$$T_{ds} = P_a = 0.5K_a(\gamma_{1d}H_1 + 2(q_{Qd} + q_{Gd}))H_1, \quad (2)$$

де γ_{1d} – середньозважена проектна питома вага ґрунту насипу;

H_1 – висота насипу;

q_{Qd} і q_{Gd} – проектна інтенсивність, відповідно, рухомого і статичного навантаження на поверхні насипу;

K_a – коефіцієнт активного бічного тиску, який, в свою чергу, визначається:

$$K_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_{1id} / 2), \quad (3)$$

стійкості основи проти вижимання (яке особливо проявляється в товщі з малою несучою здатністю і незначною потужністю). Для виконання цієї умови, ширина укосу насипу L_s і величина анкерування L_{ext} повинні бути достатніми для отримання необхідних зусиль стримування в армуючому полотні R_R . Припускають, що $L_{ext} = L_s$. Необхідну міцність армуючого геосинтетика Trf визначають за формулою:

$$T_{rf} = \alpha_2 c_{2d} L_{ext}, \quad (4)$$

де α_2 - коефіцієнт ефективності взаємодії ґрунту основ з геосинтетиком;

c_{2d} - розрахункове значення зчеплення ґрунту основи під підшоною армування;

стійкість насипу проти зсуву з обертанням або загальна стійкість насипу. Для визначення цього критерію використовують метод круглоциліндричних поверхонь ковзання, що передбачає розбивку тіла насипу і основи на блоки. Положення найбільш небезпечної поверхні ковзання визначають за традиційною методикою. Армуючий прошарок забезпечує утримуючий момент для забезпечення загальної стійкості насипу.

В цьому випадку спочатку визначають потрібне зусилля в армуванні для найбільш небезпечної критичної поверхні ковзання визначають за формулою:

$$T_{RC} = \frac{(\sum N_{di} - \sum F_{di})R}{a_T}, \quad (5)$$

де $\sum F_{di}$ - рівнодійна утримуючих сил всіх блоків, що складають відсік обвалення;

$\sum N_{di}$ - рівнодійна зсувних сил всіх блоків, що складають відсік обвалення;

R - радіус найбільш небезпечної критичної поверхні ковзання;

a_T - плече моменту армуючого полотна.

В свою чергу, рівнодійна утримуючих сил i -го блоку визначається:

$$\sum F_{di} = (P_{di} + q_Q b_i + q_G b_{iq}) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_d + c_d b_i \sec \alpha_i, \quad (6)$$

де P_{di} - вага погонного метра блоку, що розглядають, кН/м;

α_i - кут нахилу поверхні ковзання блоку, що розглядають, до горизонталі;

b_i - ширина смуги завантаження блоку, що розглядають, м;

$\operatorname{tg} \varphi_d$ - розрахункове значення кута внутрішнього тертя ґрунту;

q_Q - проектна інтенсивність рухомого навантаження;

q_G - проектна інтенсивність статичного навантаження;

c_d - розрахункова величина питомого зчеплення ґрунту, кН/м.

Рівнодійну зсувних сил визначають:

$$\sum N_{di} = (P_{di} + q_Q b_i + \gamma_f q_G b_{iq}) \sin \alpha_i, \quad (7)$$

де P_{di} - вага погонного метра блоку, що розглядають, кН/м;

α_i - кут нахилу поверхні ковзання блоку, що розглядають, до горизонталі;

b_i - ширина смуги завантаження блоку, що розглядають, м;

γ_f - частковий коефіцієнт запасу на навантаження.

За результатами розрахунків внутрішньої і зовнішньої стійкості встановлюють необхідну номінальну міцність геосинтетика та мінімальну довжину анкерування полотен.

Після визначення вищенаведених критеріїв розрахунку стійкості насипу на слабкій основі виконують розрахунок за ще одним критерієм – граничним експлуатаційним станом, що включає осадку насипу на слабкій основі та деформативність армуючого полотна.

В даному нормативному документі (ВБН В.2.3-218-544:2008 «Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві») вказано, що оцінку граничного експлуатаційного стану насипу за критерієм осадки насипу на слабкій основі згідно з п.2.3.6 виконують за традиційною методикою без урахування наявності геосинтетичного прошарку [4].

Існуючі методики розрахунку [5] земляного полотна автомобільних доріг на слабких основах ґрунтуються на результатах лабораторних компресійних і консолідаційних випробуваннях зразків «слабких» ґрунтів. За ними

визначаються розрахункові консолідаційні характеристики ґрунту, що випробовується, і динаміка консолідації зразка в часі.

Взагалі складність проблеми розрахунку осадки насипу земляного полотна автомобільних доріг на ділянках слабких ґрунтів викликала велику кількість досліджень в цьому напрямку [6, 7]. Але розрахунки конструкцій здійснюються, як правило, з використанням спрощених залежностей і припущень, які дають наближені результати.

При прогнозуванні осадки ґрунту в основі насипу потрібно визначати напруження, які будуть виникати в ґрунті під навантаженням від ваги насипу, ваги ґрунту (статичне навантаження) і від рухомого складу (динамічне навантаження). Для визначення напруженого стану звичайної (не армованої) основи використовуються рішення плоскої задачі теорії лінійно-деформованого однорідного напівпростору, навантаженого з поверхні навантаженням, що розподіляється по тому або іншому законі. В якості базової схеми використовується трапецеїдальне навантаження. Для прогнозу напружено-деформованого стану основи насипу використовують геотехнічну розрахункову модель, при побудові якої важливим елементом є призначення розрахункової потужності активної зони стиснення, величина якої встановлюється для кожного конкретного випадку.

При забезпеченій міцності слабких ґрунтів в основі насипу осадка зумовлюється їх стисненням (статичним ущільненням).

Осадка слабкої товщі розтягнута в часі, тому при прогнозуванні осадки вирішуються дві задачі:

визначення величини осадки на момент досягнення допустимої її інтенсивності (так званої кінцевої осадки);

визначення часу закінчення її інтенсивної частини (або потрібного ступеня консолідації). Прогноз ходу осадки здійснюється за різними залежностями для відповідних ділянок консолідаційної кривої. Вибір розрахункових формул для прогнозу осадки насипу в часі визначається ділянкою консолідаційної кривої і залежить від різновидності, стану і властивостей слабких ґрунтів, а також умовами їх роботи в системі «ґрунт-споруда» (величина навантаження, режим його прикладання і т.д.).

Кінцева осадка слабкої основи в межах активної зони стиснення (встановленої при складанні розрахункової схеми насипу) визначається

методом пошарового сумування з використанням залежностей для умов одновірної задачі:

$$S = 0.001 \sum_{i=1}^n e_{pzi} \cdot H_i, \quad (8)$$

де n – кількість шарів;

H – потужність i -го шару;

e_{pzi} – модуль осадки ґрунту i -го шару, знайдений на компресійній кривій при навантаженні P_i , рівній вертикальному нормальному напруженню для середини даного шару від ваги насипу (s_{zi}).

Модуль осадки ґрунту кожного з розрахункових шарів конструкції визначається за результатами лабораторних компресійних випробувань його зразків за формулою:

$$e_{pz} = e'_{pz} - e''_{pz}, \quad (9)$$

де e'_{pz} – модуль осадки при навантаженні $P_z + \sigma_{с.в.}$;

e''_{pz} – те ж при навантаженні, що відповідає структурній міцності ґрунту $\sigma_{сmp.}$;

$\sigma_{с.в.}$, P_z – розрахункове напруження відповідно від власної ваги товщі і від зовнішнього навантаження на даному горизонті.

Або за відсутністю даних компресійних випробувань ґрунтів, користуються табличними значеннями модуля деформації для різних видів слабких ґрунтів, кінцева осадка розраховується за формулою:

$$S = P \cdot H / E_{cp}, \quad (10)$$

де H – потужність i -го шару;

P – навантаження на поверхні товщі;

E_{cp} – середньозважений штамповий модуль деформації зони стиснення. [8].

При осадці насипу на слабкій основі з використанням геосинтетичного прошарку ґрунт захоплює за собою армуючий елемент, який осідаючи разом з ґрунтом, чинить внаслідок натягнення опір, в результаті чого відбувається відповідне підвищення напружень в налягаючих шарах ґрунту і дещо

знижуються у нижчележачих шарах ґрунту. Армуючий елемент при осадці подовжується і від натягнення в ньому виникають розтягуючі напруження. Так як модуль пружності при розтягу елементів армування надто великий, затухання розтягуючих напружень в цих елементах мало відчутне, внаслідок чого напруження поширюються далеко за межі напруженої області [9].

Тому виникає питання – а чи впливає наявність армуючого геосинтетичного прошарку в основі насипу на його осадку?

Але поряд з твердженнями ББН В.2.3-218-544:2008 «Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві» існують дослідження армованих ґрунтових основ під фундаменти споруд Чернія Г.І. і Ковальського Р.К. у Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій [10]. За їхніми результатами встановлено, що шляхом армування зосереджується зона дії максимальних дотичних напружень в області, в якій знаходиться міцний ґрунт і армуючий прошарок, що позитивно впливає на роботу ґрунтової основи, оскільки причиною руйнування є саме дотичні напруження; в армованій основі проходить перерозподіл нормальних напружень на більшу ширину, ніж у неармованій (значення напружень на глибині менші, ніж в неармованій основі); вертикальне переміщення армованої основи приблизно в 2 рази менше, ніж неармованої. В цілому ними зроблено висновок, що прогнозувати напружено-деформований стан армованих ґрунтових основ можна і для цього може бути використаний метод скінчених елементів за допомогою комп'ютерних програм.

Враховуючи вищесказане можна сказати, що при розрахунку осадки основи насипу (прогнозі напружено-деформованого стану) все таки потрібно враховувати наявність геосинтетичного прошарку.

Також поряд з цим, якщо проаналізувати перероблений і доповнений документ «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах» (к СНиП 2.05.02-85), 2004р., то у п.4.81 сказано, що при застосуванні геосинтетичних прошарків в основі насипу при будівництві тимчасових доріг або доріг нижчих категорій на слабких ґрунтах знижується величина осадки за рахунок зменшення її нерівномірності [11]. Розрахунок величини зменшення осадки в такому випадку виконують з врахуванням армуючого прошарку в такому порядку:

а) приводять трапецеїдальне навантаження від ваги насипу до еквівалентної рівномірно розподіленого навантаження P_0 визначають реактивну силу T (т/пог.м), яка виникає в прошарку при його розтягу:

$$T = E_1 \left[\sqrt{b^2 + 0.25S^2} - b \right], \quad (11)$$

де E_1 – модуль деформації прошарку з геотекстильного матеріалу, кг/см², т/м²;

b – півширина еквівалентного рівномірно розподіленого навантаження, м;

S – кінцева осадка насипу без прошарку

$$S = \frac{H_{cl} P_0}{E_{cl}}, \quad (12)$$

H_{cl} – потужність слабкої основи, м;

E_{cl} – модуль деформації ґрунту основи кг/см², т/м²;

P_0 – рівномірно розподілене навантаження, т/пог.м, т/м²;

б) визначають необхідну ширину крайових зон нижніх шарів насипу d (м) для забезпечення затиснення армуючого прошарку в ґрунті:

$$d = \frac{T \operatorname{tg} \varphi}{P_0 [1 + \cos \beta \operatorname{tg} \varphi^2]}, \quad (13)$$

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту насипу;

$$\cos \beta = \frac{b}{b^2 + 0.25S^2}, \quad (14)$$

в) встановлюють розрахункове навантаження P_j (т/пог.м, т/м²) на основу з армуючим прошарком:

$$P_j = P_0 - \frac{(T - P_0 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{b - d}; \quad (15)$$

г) визначають величину кінцевої осадки насипу (S_c) з прошарком в основі:

$$S_z = \frac{P_j H_{cl}}{E_{cl}}, \quad (16)$$

При цьому різниця в величинах неармованого і армованого насипу (тобто з прошарком і без нього) складе $D=S-S_z$ (м) і зменшення об'єму ґрунту нижче денної поверхні за рахунок її осадки та зменшення нерівномірності визначається:

$$\Delta_v = \frac{4}{3}b \cdot (S - S_z) \cdot l, \quad (17)$$

де l – довжина ділянки насипу, м.

Висновок

У даний момент світова практика показує, що вкладання арматурного прошарку з геотекстилю спричиняє комплексний ефект: забезпечення міцності і стійкості всієї конструкції (особливо в стиснених умовах, на слабких ґрунтах). І тому його використання щорічно зростає. Перед влаштуванням основ армованих геосинтетичними матеріалами потрібно визначити оптимальні параметри армування, які будуть забезпечувати найбільш ефективне розподілення напружень.

При аналізі нормативної бази України та досліджень Чернія Г.І. і Ковальського Р.К., а також доповненого та переробленого «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах» (к СНиП 2.05.02-85), 2004р. встановлено, що у нормативних документах України при розрахунках основ насипів автомобільних доріг, що містять армуючий геосинтетичний прошарок, не враховується вплив цього армуючого геосинтетичного прошарку на зменшення осадки основи насипу. Існуючі дослідження [3, 11] підтверджують, що наявність армуючого геосинтетичного прошарку в основі насипу автомобільної дороги не тільки зменшує нерівномірність осадки насипу, а й величину самої осадки.

Це все свідчить про те, що існує необхідність у доопрацюванні методики розрахунку основ насипу з геосинтетичним прошарком для усунення встановлених недоліків.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Полуновский А.Г., Б.П. Брантман, Н.В. Табаков.* Текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог на слабых грунтах // Автомобильные дороги. – 1986. – Вып. №5. – С.13-15.
2. *Друкований М.Ф., Матвеев С.В., Б.Б. Корчевський.* Армовані основи будівель та споруд. Монографія. - «Універсум - Вінниця», 2006. – С.18-20, 44-51.
3. *Черний Г.І., Ковальський Р.К.* Особливості визначення напружено-деформаційного стану армованих ґрунтових основ з використанням методу кінцевих елементів // Будівельні конструкції. – 2001. – Вип. №55. – С. 160.
4. *Споруди транспорту.* Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008 – К. Державна служба автомобільних доріг (Укравтодор), 2008. – С. 11-19.
5. *"Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах"* (к СНиП 2.05.02-85)". – М. Росавтодор, 2004.
6. *Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. – М.: Транспорт, 1976.
7. *Кузахметова Э.К.* Основы прогноза осадки высоких насыпей при использовании глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной. Автореф. дисс. д-ра техн. наук. – М., МАДИ, 1997.
8. *"Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах"* (к СНиП 2.05.02-85)". – М. Росавтодор, 2004. – С.53-55.
9. *Черный Г.И., Шокарев В.С.* Некоторые аспекты теории прочности и несущей способности армированного грунта // Будівельні конструкції. – 2001. – Вип. №55. – С. 178.
10. *Черний Г.І., Ковальський Р.К.* Особливості визначення напружено-деформаційного стану армованих ґрунтових основ з використанням методу кінцевих елементів. //Будівельні конструкції. – 2001. – Вип. №55. – С. 172.
11. *"Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах"* (к СНиП 2.05.02-85)". – М. Росавтодор, 2004. – С.102-105.

УДК 625.7/.8

Скрипник Т.В., к.т.н.

Малько М.М., к.т.н.

Заволік М.В.

ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОСІТОК ПРИ РЕМОНТІ ПОКРИТТЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація. У статті розглядається актуальність застосування геосіток, для армування асфальтобетонних покриттів.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, асфальтобетонне покриття, зчеплення, тріщини.

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения геосеток, для армирования асфальтобетонных покрытий.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, асфальтобетонное покрытие, сцепление, трещины.

Annotation. The article considers the relevance of applying heositok for asphalt reinforcement.

Keywords: geosynthetic materials, asphalt coating, bonding, cracks.

З кожним роком сфера застосування геосинтетичних матеріалів розширюється, спираючись на великий позитивний досвід їх використання. Однією з найбільш перспективних технологій, що спрощують будівництво автомобільних доріг і продовжують термін їх служби, є технологія армування (посилення) геосинтетичними матеріалами асфальтобетонних покриттів при будівництві та реконструкції дорожнього одягу. У зв'язку з економією будівельних матеріалів найбільш ефективним є використання геосіток.

Геосітка має високі міцностні і низькі деформативні характеристики, хімічну та біологічну стійкість, термостійкість в діапазоні робочих температур укладання асфальтобетонної суміші (120-160°C), ідеально підходить для армування асфальтобетонних покриттів.

Основною метою застосування геосітки є зміцнення асфальтобетонних шарів за рахунок підвищення опору покриття розтягуючим температурним напругам і опору розтягування при вигині, зміни умов контакту в зоні тріщини, а внаслідок цього - збільшення терміну служби покриттів.

Геосітка армує асфальтобетон, перенаправляє вертикальні навантаження в горизонтальну площину, перерозподіляє горизонтальні напруги в шарі асфальтобетону і знижує активні місцеві напруги.

Область застосування геосіток:

- Армування асфальтобетонних покриттів при будівництві та реконструкції автомобільних доріг, злітно-посадкових смуг аеродромів, проїзної частини мостів;

- Розширення проїжджої частини автомобільної дороги;

- Відновлення покриття ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій;

- Посилення робочого шва асфальтобетонного покриття;

- Будівництво бетонних доріг з деформаційними швами;

Використання геосітки дає можливість:

- Запобігти поширенню температурних, відображених і втомних тріщин; зменшити товщину асфальтобетонного покриття;

- Запобігти виникненню зсувних деформацій покриття (колій і напливів);

- Збільшує робочу зону нижніх шарів покриття і основи завдяки своїй розподіляючій здатності, і продовжує, таким чином, термін служби дорожнього одягу;

- Надати нові властивості дорожньої конструкції.

Для капітального ремонту та реконструкції асфальтобетонного покриття слід рекомендувати наступні геосітки:

- **геосітка зі скловолокна**, у порівнянні з аналогічними по міцності нетканими матеріалами, не просто розділяє прошарок, а одночасно його армує. Геосітка характеризується наступними перевагами: подовження не більше 3%, відсутність повзучості матеріалу, за рахунок високої міцності і низькою

деформативності перешкоджає утворенню колій. Геосітка також має меншу товщину відносно типових геосіток за обсягом у 7-10 разів, за масою у 5-6 разів, завдяки чому вона набагато дешевше в транспортуванні і зручна в застосуванні.

- **геосітка з поліестеру** представляє собою гнучку арматуру, виготовлену з високомодульних волокон поліестера, з'єднаних між собою спеціальним чином так, що утворюється сітка з великими чарунками. Вибір поліестера як сировини заснований на схожості його механічних характеристик і модуля пружності з навантажувальними характеристиками асфальтобетону.

Армуюча геосітка вкрита бітумом, який забезпечує добре зчеплення матеріалу з асфальтобетоном. Цей зв'язок покращує здатність сітки сприймати і перерозподіляти розтягуючі напруги.

Вибір відповідного типу армуючої геосітки ґрунтується на співвідношенні між розмірами чарунки і найбільшим діаметром часток заповнювача. Як правило, ширина чарунки повинна бути більше найбільших часток заповнювача в 2,0-2,5 рази, тому в більшості випадків використовується геосітка з шириною осередку 30 мм або 40 мм. Крім того, досвід експлуатації показує, що міцність на розтягнення, що дорівнює 50 кНм в поздовжньому і поперечному напрямках.

- **геосітка пластикова одноосна** - це плоска поліпропіленова сітка з витягнутими по довжині чарунками, орієнтованими в одному напрямку для створення високої міцності на розтяг.

Області застосування: зведення підпірних стін, земляних устоїв мостів, крутих відкосів, земляних дамб; зведення насипів на слабких ґрунтах; контроль ерозії ґрунтів земляного полотна; інженерна обробка місць для захоронення відходів.

Найбільш ефективні геосітки пластикові одноосні використовуються при будівництві та експлуатації об'єктів в місцях з несприятливими гідрогеологічними і обмеженими умовами.

- **геосітка пластикова двуосная** - це плоска сітка з осередками прямокутної форми, виготовлена з поліпропілену методом екструзії. У процесі виробництва геосітка розтягується в двох напрямках завдяки орієнтуванню молекул, і охолоджується в напруженому стані з метою досягнення високих міцносних характеристик при низьких показниках повзучості.

Геосітка розроблена для будівництва автомобільної дороги на слабких ґрунтах, а також для підвищення ефективності конструкцій переносити високі динамічні і статичні навантаження.

Область застосування: стабілізація ґрунту, посилення автодорожніх і залізничних основ, будівництво майданчиків під високі навантаження (аеродроми, автостоянки, контейнерні майданчики та інші), посилення насипів на слабких основах, будівництво тимчасових доріг на слабких основах, армування бетону.

В залежності від виду ремонту пропонуються різні варіанти розташування геосіток в конструкції дорожнього одягу:

1. Ремонт ділянок доріг шляхом суцільного армування асфальтобетону без вирівнюючого шару (рис. 1). Укладання асфальтобетону при ремонті дорожніх покриттів виконується найчастіше армуванням площі. Геосітка укладається на старий шар асфальтобетонного покриття на рівних ділянках дороги, але з наявністю сітки тріщин покриття. Ефект консервації старих тріщин досягається за рахунок того, що сітка приймає на себе горизонтальні напружки та деформації, таким чином перешкоджаючи поширенню відображених тріщин від існуючих покриттів в нові укладені шари дорожнього покриття.

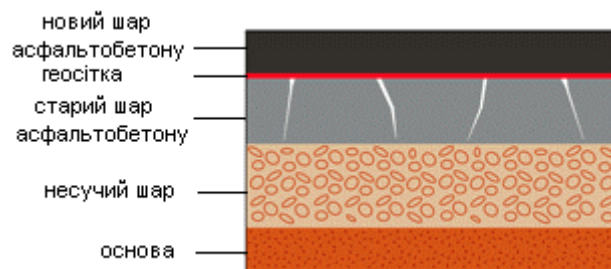


Рисунок 1 - Ремонт ділянок доріг шляхом суцільного армування асфальтобетону без вирівнюючого шару

2. Посилення існуючої конструкції дорожнього одягу (рис. 2).

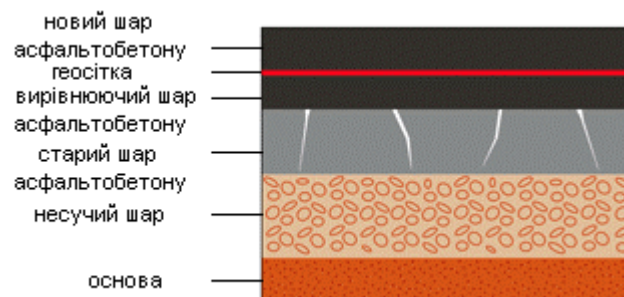


Рисунок 2 - Посилення існуючої конструкції дорожнього одягу

На ділянках доріг, що мають колії й вибоїни, укладання геосітки здійснюється на вирівнюючий шар асфальтобетону. Попередньо очищується поверхня старого покриття, потім укладається вирівнюючий шар асфальтобетону, геосітка і новий шар асфальтобетонного покриття. Ефект усунення або значного зменшення колійності і вибоїн досягається за рахунок того, що геосітка перерозподіляє вертикальні локальні навантаження на більшу площу поверхні.

3. Армування асфальтобетону, покладеного на бетонне покриття (рис. 3).

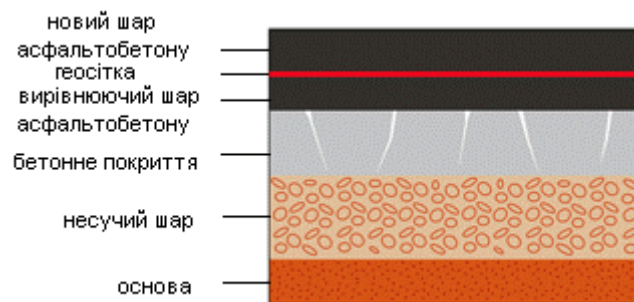


Рисунок 3 - Армування асфальтобетону, покладеного на бетонне покриття

При посиленні шаром асфальтобетону бетонних покриттів автомобільних доріг і злітно-посадкових смуг аеродромів рекомендується укладати вирівнюючий шар асфальтобетону та геосітку. Необхідність застосування даної технології пояснюється тим фактом, що при сполученні дорожнього одягу з цементнобетону і шару асфальтобетону в останньому з'являються тріщини з-за різних коефіцієнтів температурного розширення бетону і асфальтобетону. З цієї причини над цементобетонним покриттям необхідно улаштування вирівнюючого шару асфальтобетону.

4. Армування асфальтобетонного покриття в зоні стику (рис. 4).

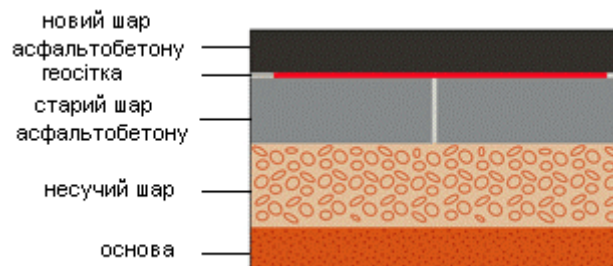


Рисунок 4 - Армування асфальтобетонного покриття в зоні стику

Відкриті ділянки на старих покриттях, що мають руйнування (тріщини) є зонами з підвищеним ризиком виникнення тріщин у верхньому та знову укладеному шарі. В даному випадку рекомендується проводити армування цих зон геосіткою.

5. Армування асфальтобетону при розширенні дорожнього полотна(рис. 5).

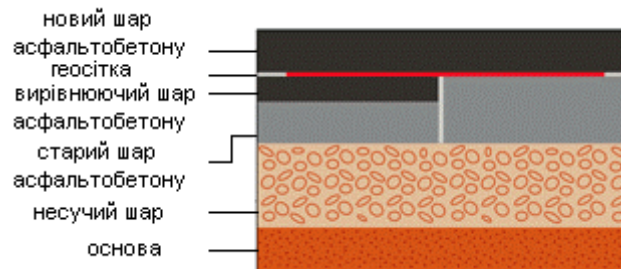


Рисунок 5 - Армування асфальтобетону при розширенні дорожнього полотна

Розширення дорожнього полотна зазвичай виконується без армування, в результаті чого в місцях сполучення старих і нових ділянок виникають поздовжні тріщини. Укладання геосітки на ці ділянки сприяє армуванню зони поздовжнього стику та попередженню тріщин.

6. Посилення ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій (рис. 6). Тріщини і вибоїни часто виникають в асфальтобетонних покриттях на ділянках доріг, що проходять над інженерними комунікаціями, а також після проведення ремонтних робіт з розкриттям дорожнього полотна. Армування геосітками усуває або істотно сповільнює виникнення тріщин і руйнування таких ділянок доріг.

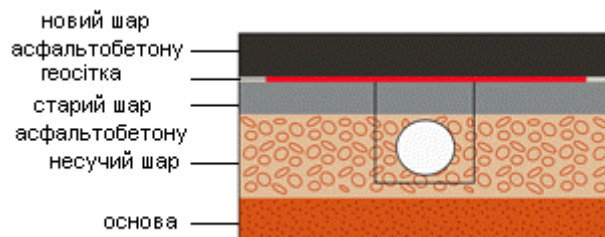


Рисунок 6 - Посилення ділянки дороги після ремонту підземних комунікацій

Таким чином, наявність асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з характерними деформаціями (тріщинами та колійністю) потребує впровадження нових елементів (геосіток) в конструкції дорожнього одягу при проведенні ремонтних робіт, що дозволяють підвищити міцність та надійність дорожнього покриття з мінімальними витратами.

Харченко А.М.

СУЧАСНА ПРАКТИКА ТА ТЕНДЕНЦІЇ ПЛАНУВАННЯ РІЧНОЇ ПРОГРАМИ ДОРОЖНЬО-РЕМОНТНИХ РОБІТ

Анотація. Розглянуті питання проектування річної програми дорожньо-ремонтних робіт у сучасних умовах. Наведено основні тенденції розробки річної програми робіт з урахуванням закордонного досвіду.

Ключові слова: дорожня галузь; річна програма робіт; дорожньо-ремонтні роботи; планування.

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования годовой программы дорожно-ремонтных работ в современных условиях. Приведены основные тенденции разработки годовой программы работ с учетом зарубежного опыта.

Ключевые слова: дорожная отрасль; годовая программа работ; дорожно-ремонтные работы; планирование.

Annotation. Factors and conditions of planning the annual program of road repair work in modern conditions. the main trends of development of annual work program, taking into account international experience.

Keywords: road sector, the annual work program; road repairs; planning.

Постановка проблеми

Сучасний стан економіки України та тенденції щодо реорганізації дорожньої галузі породжують проблеми розробки річної програми дорожньо-ремонтних робіт.

Аналіз останніх досліджень

Проведений аналіз існуючих напрямків розробки річної програми робіт свідчить про неефективність використання тих методик, які були створені за часів існування СРСР та про недостатню увагу до цього питання на сучасному етапі [1].

Мета роботи

Для підвищення економічної ефективності здійснення річної програми робіт необхідна методика планових розрахунків, побудована на максимізації заощадження ресурсів в дорожньому комплексі. При цьому необхідно передбачити всі чинники, що впливають на формування виробничої програми підприємства та забезпечити її виконання з урахуванням якісних вимог.

Викладення основного матеріалу

Задачі розробки виробничої програми відносяться до класу складних та багатоваріантних задач, рішення яких залежить від умов дії численних зовнішніх і внутрішніх чинників [2]. До зовнішніх чинників відносяться, наприклад, терміни введення в дію об'єктів, виділені ресурси та інші. До внутрішніх чинників можна віднести методи організації і управління, розподіл програми по виконавцях, наявність будівельної техніки, технологію виробництва робіт, наявність місцевих матеріалів і організацію роботи підсобних виробництв і ін.

Проектування річної програми робіт можна відобразити у вигляді наступної моделі (рис. 1), в якій роботи, які необхідно виконати в цій системі виступають як керуючі впливи, що змінюють стан дороги і таким чином впливають на ефективність її функціонування [3].

Задача проектування річної програми робіт окрім проблем формування річних об'ємів дорожньо-ремонтних робіт повинна враховувати специфічні особливості віднаходження оптимального ресурсного забезпечення можливої програми робіт. До них відносяться:

- цілочисельність деяких ресурсів (трудові та технічні ресурси);
- забезпечення об'ємно-календарної відповідності робіт та ресурсів;
- технологічні обмеження на порядок робіт;
- нормативні обмеження на періоди виконання робіт;
- вплив погодних умов (будівельний сезон), тощо.

З метою обґрунтування потужності дорожньої організації потрібно розрахувати орієнтовний об'ємно-календарний план виконання робіт. Рік розділяється на L інтервалів. Для кожного з них повинні виконуватись умови:

$$\sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^w R_{kl}^n \leq (R_{kl}^e + R_{kl}^a), l = 1, \dots, L, \quad (1)$$

де i – номер ділянки дороги;

d – кількість ділянок доріг;

j – номер роботи;

w – кількість робіт;

R_{kl}^n – планова потреба в зміні k -го ресурсу в l -й інтервал часу;

R_{kl}^e – наявність власного k -го ресурсу в зміні в l -й інтервал часу;

R_{kl}^a – наявність орендованого k -го ресурсу в зміні в l -й інтервал часу.

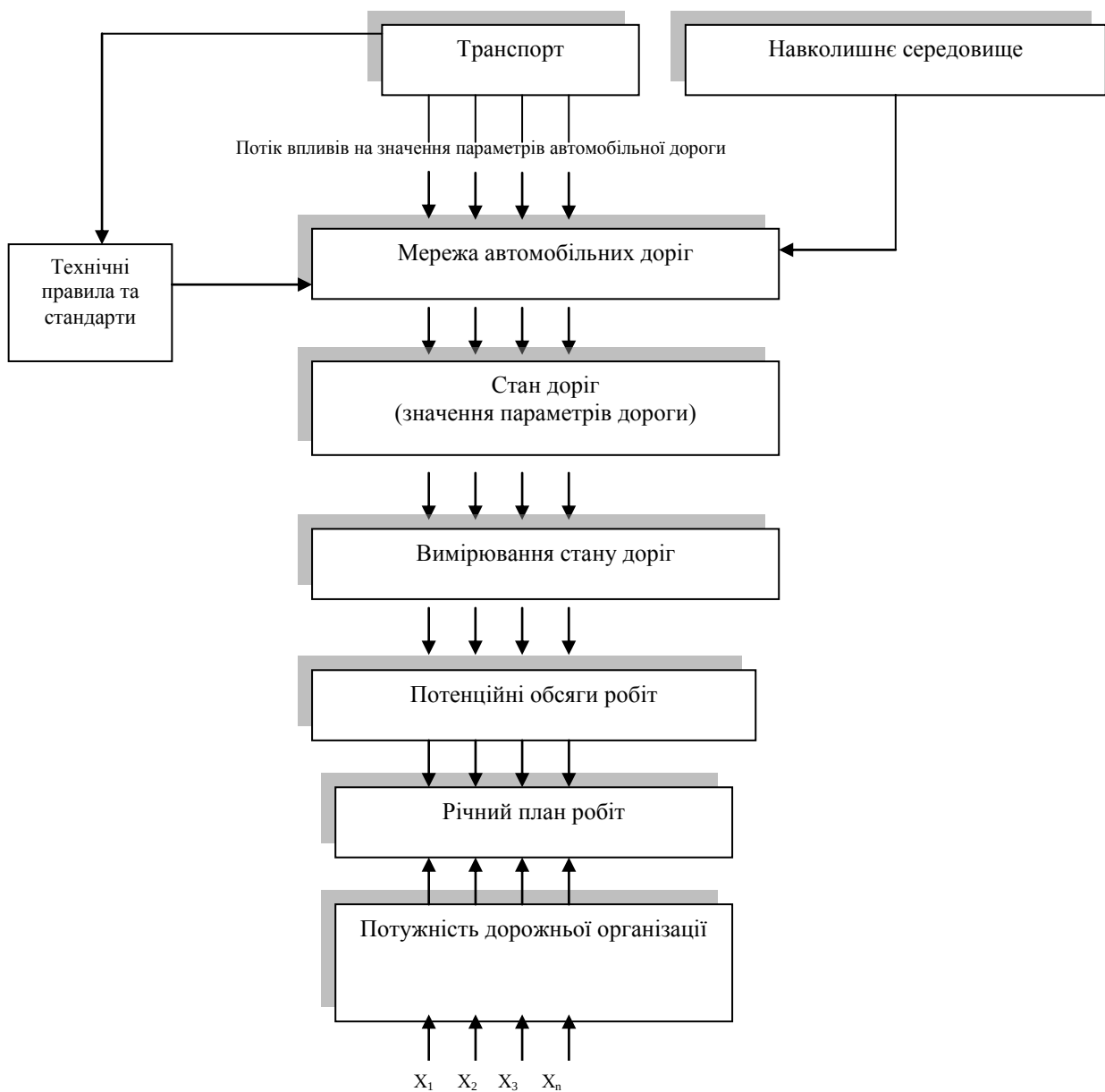


Рис.1. Модель проектування річної програми робіт

Де $x_1, \dots, x_n$ – ресурси дорожньої організації.

Останнім часом в світі поширюється практика використання контрактів, які засновані на показниках якості виконуваних робіт.

Контракт, заснований на показниках якості виконуваних робіт – це тип контракту, в якому оплата робіт по управлінню і утриманню дорожньої інфраструктура напряду пов'язана з виконанням або перевиконанням підрядчиком чітко поставлених мінімальних вимог по якісних показниках [4].

В відповідності з Керівництвом Всесвітнього Банку по проведенню тендерів, придбання (або постачання) товарів або послуг, засноване на показниках якості, припускає проведення конкурсу закупівель, який завершується контрактними відносинами і оплатою не за вкладений об'єм робіт і матеріалів як в традиційному підряді, а за досягнуті результати.

Невиконання якісних показників робіт або невчасне виправлення знайдених дефектів відбивається на оплаті, зазвичай, шляхом накладення штрафів.

Основними перевагами контракту, що заснований на показниках якості виконуваних робіт, у порівнянні з традиційними підходами є:

- економія фінансових засобів (створення стимулу для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи і підвищувати продуктивність праці, зниження адміністративних і накладних витрат у зв'язку з розробкою поліпшеного пакету контрактів, а також меншою кількістю персоналу для їх контролю і супроводу);
- велика вірогідність незмінності витрат (ризик перевитрати засобів за виконану роботу перенесений на підрядчика і дорожня адміністрація рідше стикається з непередбачуваними витратами);
- велика задоволеність користувачів якістю доріг і дорожніх умов (потреби користувачів відображаються в якісних показниках виконання робіт, що фіксуються в контракті, і оплата підрядчика залежить від того, наскільки він виконав або перевиконав дані показники).

Показники якості виконуваних робіт повинні базуватися на: вимогах користувачів доріг, бажанні замовника отримати дорожню інфраструктуру по закінченню договору підряду в колишньому або кращому стані, рівні можливого фінансування.

Протягом останніх років в Україні Укравтодором успішно реалізовано міжнародні проекти, що фінансувалися за рахунок позик Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) і Світового банку (СБ). Відповідно до їх вимог виконання проектів проводилося за Умовами контракту Міжнародної федерації інженерів-консультантів (FIDIC), які розроблені на основі багаторічного досвіду здійснених угод та аналізу взаємовідносин учасників міжнародних інвестиційно-будівельних процесів [5].

Сутність застосування контракту FIDIC полягає в встановленні єдиного підходу до умов і принципів взаємовідносин між учасниками інвестиційно-будівельного процесу.

Основними особливостями даного виду контракту є те, що у стосунках між замовником і підрядником передбачається наявність незалежної ланки, а саме — інженера-консультанта — юридичної особи, призначеної замовником на тендерних засадах. Основними функціями інженера-консультанта є організація, прийняття й оцінка робіт підрядника, щоденний контроль їх якості, а також матеріалів та дотримання вимог охорони праці й навколишнього середовища, забезпечення у разі необхідності додатковими кресленнями та інструкціями, погодження змін обсягів і термінів виконання робіт та у проектній документації, контроль вартості будівельних робіт, оформлення платіжних сертифікатів. Отже, в такому випадку виключається можливість прийняття робіт в обсягах, що перевищують фактично виконані, забезпечується висока якість будівництва.

Умови контракту FIDIC вимагають складання специфічної проектною документації, склад і зміст якого суттєво відрізняються від вітчизняної.

Працівниками ДП «Укрдіпдор» восени 2007 року були розроблені рекомендації щодо Умов контракту FIDIC у дорожньому господарстві України. Крім того, була проведена робота зі створення громадської організації «Українська асоціація інженерів-консультантів» (УкрАІК), яка повинна сприяти розвитку методів інжинірингу в будівництві.

Але для гармонізації національних вимог до принципів FIDIC потрібно внести відповідні корективи в нормативну базу дорожньої галузі. Так, за висновком спеціалістів, необхідно внести зміни до ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектною документації для будівництва», ДБН Д.1.1-1-2000 «Правила визначення вартості будівництва»,

ДБН А.3.1-5-96 «Організація будівельного виробництва» та створити ряд відомчих нормативних документів. Також, потрібно розробити й затвердити положення про генерального підрядника, інженера та інженерну організацію у дорожній галузі, про незалежну службу з надання інженерно-консультаційних послуг при здійсненні технічного нагляду в будівництві, про керівника контракту, інструкцію про порядок надання інженерних послуг у будівництві тощо.

Сучасна практика укладання контрактів в Україні повинна базуватися на критерії найнижчої ціни. Але, при оцінці тендерних пропозицій питома вага цінового критерію не може бути нижчою ніж 70 %. На всі інші замовник покладає 30% цінового критерію, зокрема це термін поставки (виконання); якість та функціональні характеристики, екологічна чистота; післяпродажне обслуговування; умови розрахунків; експлуатаційні витрати тощо.

При цьому слід зазначити, що цей перелік не є обов'язковим та вичерпним. Замовник самостійно визначає ті критерії, на основі яких здійснюватиметься вибір виконавців.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Канин А.П., Карай Н.А.* Моделирование производственных процессов строительства и ремонта автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1990. – 102с.
2. *Антонов А.М., Бочин В.А., Калечиц Е.В.* Организация и планирование дорожного строительства.- М.: Тр-т, 1968. - 368с.
3. *Игнатьева А.В., Максимцов М.М.* Исследование систем управления. – М.: UNITY, 2000. – 156 с.
4. *Наталья Станкевич, Наваид Креши, Цезарь Кейроз.* Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ // Транспортный бюллетень TN-27.: ВСЕМИРНЫЙ БАНК, г. ВАШИНГТОН, США. – Сентябрь, 2005.
5. *Березовський М.В., Андреев С.І.* Умови контракту Fidic у дорожній галузі України // Дорожня галузь України. - №3. – 2008.

Лисенко А.М.

БУДІВНИЦТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ГЛИНИСТИХ ПЕРЕЗВОЛОЖЕНИХ ҐРУНТАХ. СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Анотація. Дана стаття розглядає будівництво автомобільних доріг на глинистих перезволожених ґрунтах та способи вирішення проблем що по'язані з ним.

Ключові слова: будівництво, дорога, глинисті ґрунти.

Аннотация. Предлагаются концептуальные предпосылки имитационного моделирования процесса выполнения контракта государственно - частного партнерства в эксплуатации автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, эксплуатация.

Annotation. Proposed conceptual simulation process conditions of the contract public - private partnerships in service roads.

Keywords: Road, the operation.

В основних напрямках економічного і соціального розвитку України на період до 2003 року помічена необхідність подальшого будівництва і вдосконалення мережі автомобільних доріг.

Одним із шляхів вирішення цієї задачі є використання прогресивних технологій ущільнення ґрунтів при зведенні земляного полотна.

Проблема будівництва автомобільних доріг в зонах розповсюдження глинистих перезволожених ґрунтів з використанням їх для спорудження земляного полотна займає визначне місце як в Україні, так і за кордоном.

Ґрунт в земляному полотні, як відомо, знаходиться в трифазному стані (мінеральні частини ґрунту + повітря + вода) і ущільнення його проходить за рахунок переміщення ґрунтових частин, що супроводжується витісненням повітря і води з пор. у глинистих ґрунтах можливість переміщення і наближення частин при ущільненні визначається опором зсуву. Опір зсуву залежить від характеру і величини між частинних в'язей, які формуються в місцях максимального зближення мінеральних частин (контактів).

Характер індивідуальних контактів, а також їх кількість є важливими показниками структури ґрунту, що визначають його міцнісні, деформаційні та інші якості.

Характер міжчастинних в'язей (контактів) визначається, в свою чергу, вмістом і природою взаємодії води з мінеральною поверхнею і взаємодії різних категорій води між собою. При цьому кількісний склад в ґрунті рідкої фази (води) і особливості її взаємодії визначають величину ущільнюючих зусиль і час, необхідний для розвитку деформацій ущільнення.

Використання глинистих ґрунтів призводить до зниження надійності конструкції земляного полотна. У верхній частині земляного полотна при промерзанні виникають недопустимі деформації здимання, а при розтаванні можливі просідання, в укисних частинах розвиваються зсувні явища, пов'язані з порушенням їх загальної стійкості, а в поверхневих шарах ґрунту укосів – локальні деформації у вигляді напливів, характерні для порушення місцевої стійкості.

Поряд із зниженням надійності дорожньої конструкції ґрунти підвищеної вологості погіршують роботу землерийно-транспортних машин у всьому технологічному циклі при спорудженні земляного полотна. При цьому ускладнюється розробка ґрунту, знижується продуктивність техніки і прохідність будівельного автотранспорту. Це призводить до того, що стандартні технологічні операції не забезпечують необхідної якості будівництва і потребують для цієї мети спеціальних прийомів і заходів.

Зв'язні ґрунти підвищеної вологості (при зведенні насипів автомобільних доріг) або постійно замінюють привізними ґрунтами, або підвищують їх міцнісні характеристики шляхом просушування, введення різних адсорбентів і т.д. реалізація цих заходів призводить до збільшення матеріальних і трудових затрат.

Використання ґрунтів підвищеної вологості без попередньої обробки практично неможливе із-за недосконалості традиційної технології, яка включає ущільнення ґрунту статистичними пневмококами великої маси. При ущільненні виникають значні деформації, що призводять до занурення котків у ґрунт до 20 см.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є застосування вібраційних способів ущільнення ґрунтів підвищеної вологості з використанням геотекстильних матеріалів. Влаштування земляного полотна з глинистих перезволожених ґрунтів в теперішній час може бути здійснено тільки при умові підвищення стійкості конструкції застосуванням методів технічної меліорації:

- пасивних - стадійне будівництво, тобто після природної консолідації;
- або активних - заміна ґрунтів, просушування ґрунту до $W_{\text{опт}}$,

покращення якостей, введенням інертних або активних добавок;

Найбільше розповсюдженим у дорожньому будівництві вважається спосіб зведення земляного полотна із ґрунтів з $W > W_{\text{опт}}$ шляхом відсипанням в насип з урахуванням її наступного просідання при консолідації в часі. Час затухання деформацій консолідації глинистих ґрунтів досить довгий від одного до п'яти років, залежить від ступеня перезволоження ґрунтів, товщини вище лежачого шару, складу ґрунту, умов його дреноування, фільтраційних властивостей ґрунту, довжини шляху фільтрації і визначається на основі консолідаційних випробувань.

При ущільненні ґрунту навантаження повинне долати опір води, що витісняється з пор ґрунту, а також опори, зв'язані з деформуванням скелету і зв'язаної води.

Для прискорення віджимання надлишкової води влаштовують водопоглинаючі прошарки із зернистих ґрунтів, які володіють коефіцієнтом фільтрації не менше 1 м/добу. По висоті насипу ці прошарки чергуються із шарами основного ґрунту. Товщина водопоглинаючих прошарків визначається розрахунком із умови акумуляції води, що віджимається з ґрунту. У закордонній практиці така конструкція насипу називається "сандвіч".

Основним недоліком будівництва насипів, розрахованих на природну консолідацію, є тривалість часу протікання деформацій ущільнення і їх нерівномірність, що знижує експлуатаційні якості дорожнього одягу і надійність всієї дорожньої конструкції.

Спосіб будівництва доріг в місцях залягання перезволожених ґрунтів шляхом їх заміни привізними ґрунтами в теперішній час має все менше розповсюдження. Це пов'язано з великими транспортними затратами, що недопустимо в умовах переходу дорожньо-будівельних організацій на самофінансування і самоокупність, а також підвищеними вимогами з охорони навколишнього середовища і збереження сільськогосподарських угідь.

Природне просушування шляхом випаровування вільної води, яка заповнює пори ґрунту, застосовують в основному у районах з інтенсивною сонячною радіацією. Просушування ґрунту здійснюється безпосередньо в кар'єрах і резервах, попередньо розпушуючи його за допомогою розпушувачів чи боронування.

При просушуванні ґрунту в резервах, ґрунт підвищеної вологості укладають в штабеля трикутного перерізу, що розміщені на майданчиках,

відмітка яких не менше ніж на один метр перевищує рівень ґрунтових вод. Ґрунт в валах періодично перемішують екскаватором чи бульдозером з метою рівномірного просушування.

За кордоном для прискорення просушування ґрунту використовують кулачкові котки (статичні і вібраційні), а також застосовують дренавання ґрунту в його природному стані в кар'єрах.

Спосіб природного просушування є трудомістким, тривалим і абсолютно непридатним для У-І- IV дорожньо-кліматичної зони.

Термічне просушування гарячим повітрям або газами потребує значних витрат палива і може бути застосовано тільки на особливо важких роботах і в обмеженому об'ємі.

Електроосмотичний спосіб просушування, зв'язаний з перенесенням дипольних молекул води під дією електричного поля, також не знайшов широкого практичного застосування. При такому способі в ґрунт занурюються електроди, до яких підключається струм. Перенесення води визначається електричним потенціалом глинистих ґрунтів, відстанню між електродами, вологістю ґрунту і силою струму. Енергетичні затрати набагато більші ніж при термічному просушуванні.

При просушуванні інертними добавками – використовують незв'язні ґрунти з $W < W_{\text{опт}}$ або дрібнозернисті матеріали (паливні золи, шлаки, відходи гірничодобувної промисловості). В якості активних добавок при просушуванні ґрунтів з високим ступенем перезволоження використовують мінеральні в'язучі: цемент, вапно, мелені гранульовані шлаки, золи виносу теплових електростанцій та інші матеріали.

У вітчизняній практиці просушування ґрунтів активними добавками не знайшло широкого застосування, через великі затрати праці, використання матеріалів високої вартості і розробці складних технологій з прив'язкою їх до місцевих погодно-кліматичних умов. Це веде до підвищення вартості будівництва і збільшення його загальної тривалості.

На кафедрі будівництва та експлуатації доріг Національного транспортного університету буде проаналізований зв'язок внутрішніх фізико-хімічних процесів, які проходять в ґрунтах при віброущільненні, із зміною його вологості і щільності. По результатам лабораторних і польових випробувань встановимо межі ефективності застосування вібраційного способу ущільнення для різних глинистих ґрунтів по степеню їх перезволоження. Буде отримана математична модель процесу приросту долі міцно-зв'язаної води при віброущільненні і складане регресивне рівняння, яке дозволить оцінити процес

перерозподілу води в сторону міцно-зв'язаної її частини від виду ґрунту, його вологості, параметрів вібрації і часу її дії;

Також звернемо увагу на можливість і визначені межі віброущільнення перезволожених глинистих ґрунтів і ґрунтів підвищеної вологості із застосуванням армуючих прошарків із суцільних і сітчастих рулонних матеріалів.

Практична цінність досліджень полягає:

- У розробленні технології віброущільнення глинистих ґрунтів з вологістю більше оптимальної із застосуванням технологічних армуючих прошарків рулонних геосинтетичних матеріалів;
- У призначенні рекомендацій з ефективного застосування вібраційного способу ущільнення при будівництві земляного полотна доріг із ґрунтів підвищеної вологості і перезволожених ґрунтів.

Основні задачі:

- Виконати аналіз теоретичних і експериментальних досліджень процесів віброущільнення глинистих ґрунтів з вологістю більше оптимальної;
- Розробити рекомендації з практичного застосування вібраційного способу ущільнення глинистих перезволожених ґрунтів і ґрунтів підвищеної вологості із застосуванням геотекстильного матеріалу.
- обґрунтувати можливість віброущільнення глинистих перезволожених ґрунтів і ґрунтів підвищеної вологості на основі внутрішніх фізико-хімічних процесів, що проходять в ґрунтах при вібрації.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Савенко В.Я., Петрович В. В., Каськів В.І., Франчук І.І.* Оцінка ефективності армування геотекстилем ґрунтової основи нежорстких дорожніх одягів.// Основи і фундаменти. КНУБА, вип.. 26, Київ, 2001. С. 85-89.
2. *Петрович В.В.* Удосконалення методики проектування автодорожніх насипів на слабких ґрунтах: Дис. ... канд. техн. наук.– К.: УТУ, 1995.– 322 с.
3. *Видугирис Л.П., Юзенас А.М.* Применение переувлажнённых грунтов для строительства земляного полотна автомобильных дорог // Перспективы развития технических наук и ускорение внедрения их результатов в производство. – Вильнюс: ВИСИ, 1982.

Кононюк Ю.В., здобувач, Канада

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДАНИХ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ ПОКРИТТЯ

Анотація. Концептуальна модель розглядає проблему забезпечення якості в системі управління станом покриття як одну із центральних і дуже важливих. Будучи невід’ємною частиною СУСП, забезпечення якості даних досягається за допомогою поєднання різних рівней контролю і гарантії якості даних. Такий комплексний підхід мінімізує збір неякісної інформації і максимізує досягнення оптимального рівня якості даних при наявності обмежень, що включають, наприклад, недостатність коштів та низький рівень кваліфікації технічного персоналу. Також, дана модель виступає основою для створення централізованої експертної бази даних, що може використовуватися не тільки в межах СУСП.

Ключові слова: система управління покриттям, стан покриття, контроль якості даних.

Аннотация. Концептуальная модель рассматривает проблему обеспечения качества в системе управления состоянием покрытия как одну из центральных и важных. Являясь неотъемлемой частью СУСП, обеспечение качества данных достигается за счет сочетания различных уровней контроля и гарантии качества данных. Такой комплексный подход минимизирует сбор некачественной информации и максимизирует достижения оптимального уровня качества данных при наличии ограничений, включающие, например, недостаточность средств и низкий уровень квалификации технического персонала. Также, данная модель выступает основой для создания централизованной экспертной базы данных, который может использоваться не только в пределах СУСП.

Ключевые слова: система управления покрытием, состояние покрытия, контроль качества данных.

Abstract. Conceptual model considers the issue of data quality management in pavement management system (PMS) as central and very important. As an integral

part of PMS, data quality management is achieved by combining different levels of data quality control and quality assurance. This integrated approach minimizes the collection of low-quality information and maximizes the achievement of optimum level of data quality in the presence of constraints including, for example, insufficient funds and poor education of technical staff. Also, this model is the basis for a centralized expert database that can be used outside of PMS.

Key words: system of coverage, state coverage, quality control data.

Постановка проблеми. Система управління станом покриття автомобільних доріг (СУСП) включає набір засобів і методів пошуку економічно обґрунтованих стратегій утримання доріг. Ефективність СУСП в значній мірі залежить від надійних і достатніх спостережених даних про стан покриття, однак в діючій в Укравтодорі СУСП проблема якості даних винесена за її рамки. Отже, доповнення СУСП підсистемою управління якістю даних з розробкою відповідного програмного забезпечення уявляє актуальну наукову і практичну задачу.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі забезпечення якості даних про стан покриття доріг приділяється значна увага. Ці дані – один з ключових компонент управління станом покриття. В багатьох країнах світу створюються системи якісного контролю (QC/QA - Quality Control / Quality Assurance, КЯ / ГЯ) та відповідні комп'ютерні бази даних, типова схема якої наведена в таблиці 1 [1].

Таблиця 1

Типова схема системи управління якістю даних про стан покриття

До збору даних	Збирання даних та обробка	Після збирання даних
• навчання та сертифікація персоналу; • калібрування, сертифікація та інспекція обладнання	Контроль якості • контроль даних з автомобілю в режимі реального часу; • періодична діагностика та контроль даних; • вихідні дані відеоконтролю	• контроль даних оцінки рейтингу пошкоджень; • контроль бази даних; • комплексний контроль
• початковий контроль ділянок тестування; • розгляд свідоцтв або кваліфікації	Прийняття якості повний контроль бази даних; контроль і верифікація ділянок контролю; контрольні приклади для приймання якості	аналіз бази даних; порівняння з історичними даними
	Незалежні послідовні перевірки; відбір проб і повторний аналіз	Гарантії повна перевірка; історичні порівняння

Мета статті полягає у створенні концептуальної моделі контролю якості та гарантії якості даних про стан дорожніх покриттів.

Викладення основного матеріалу. Процес управління якістю даних в СУСП в найбільш загальному виді пропонується таким, як показано на рис. 1.

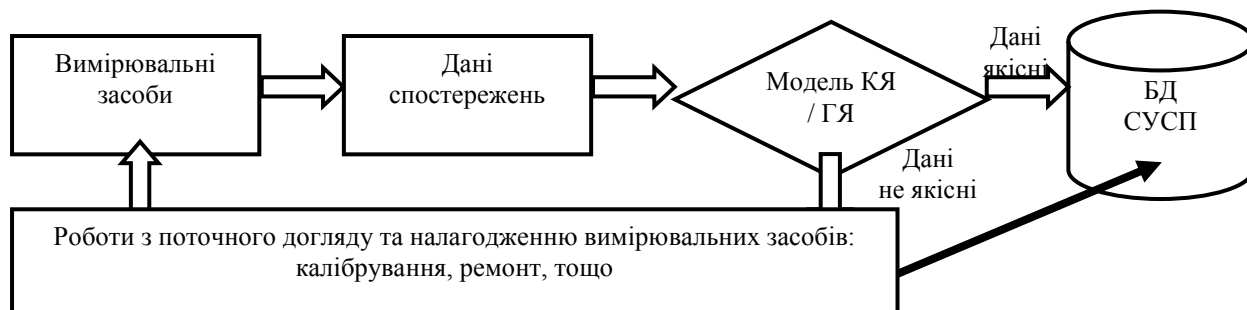


Рис. 1 Процес контролю якості даних в СУСП

Згідно з процесом контролю, дані вимірювання оцінюються системою контролю якості КЯ/ГЯ. В разі некоректності даних здійснюються дії з поточного догляду та налагоджування приладів вимірювання, такі як калібрування, ремонт, тощо. Якщо дані якісні, то вони передаються для зберігання і використання в базу даних (БД) СУСП.

Для оцінки стану покриття вимірюються:

- рівність;
- зчеплення;
- міцність дорожнього одягу;
- пошкодження покриття.

Дані про пошкодження дорожніх одягів (руйнування та дефекти), згідно [2], отримують шляхом натурних візуальних обстежень стану ділянок автомобільних доріг з використанням при необхідності засобів лінійних вимірювань, або системи відеодіагностики «ОКО» ХНАДУ» для отримання даних щодо руйнувань, системи сканування покриттів автомобільних доріг «ЛВС- 2- ХНАДУ» для отримання даних щодо деформацій дорожнього одягу чи інших установок та приладів, які встановлені на ходових лабораторіях.

Сформулюємо мінімальні вимоги до системи контролю якості даних:

- мінімальна кількість вимірювань показників (якісного контролю та загальних показників);
- показники вимірюються регулярно;

- вартість вимірювань базується на економічних показниках вільних ринкових відносин (тобто не встановлюються централізовано);
- допускаються статистичні помилки в вимірюваних даних а також помилки оператора.

На рис. 2 наведена концептуальна модель управління якістю даних про стан покриття дороги.

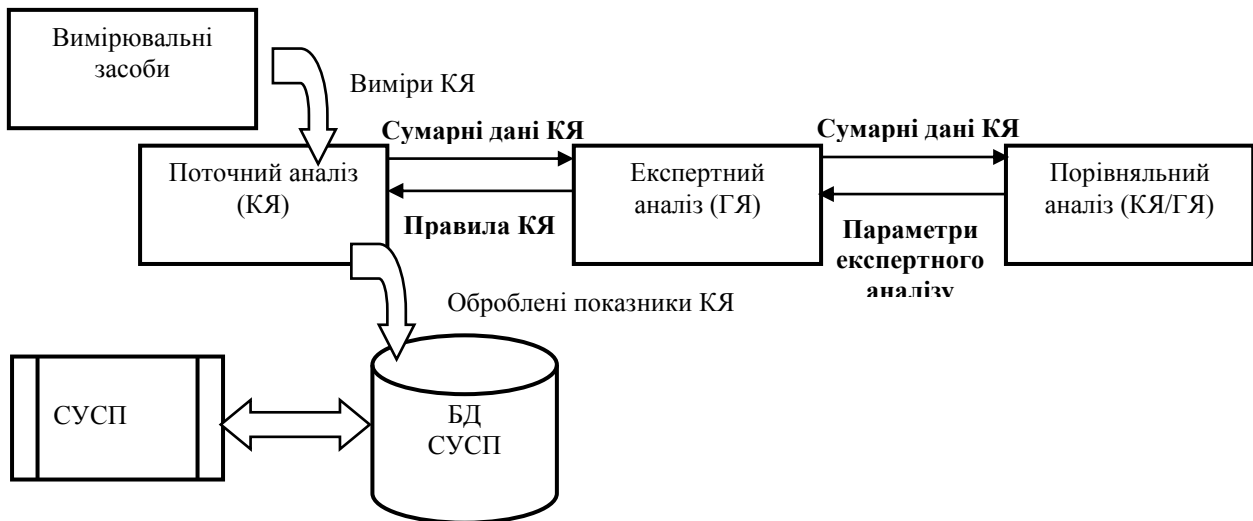


Рис. 2 Концептуальна модель управління якістю даних в СУСП

Таким чином в діючу структуру СУСП потрібно включити модель КЯ/ГЯ та удосконалити модель даних, як показано на рис. 3.

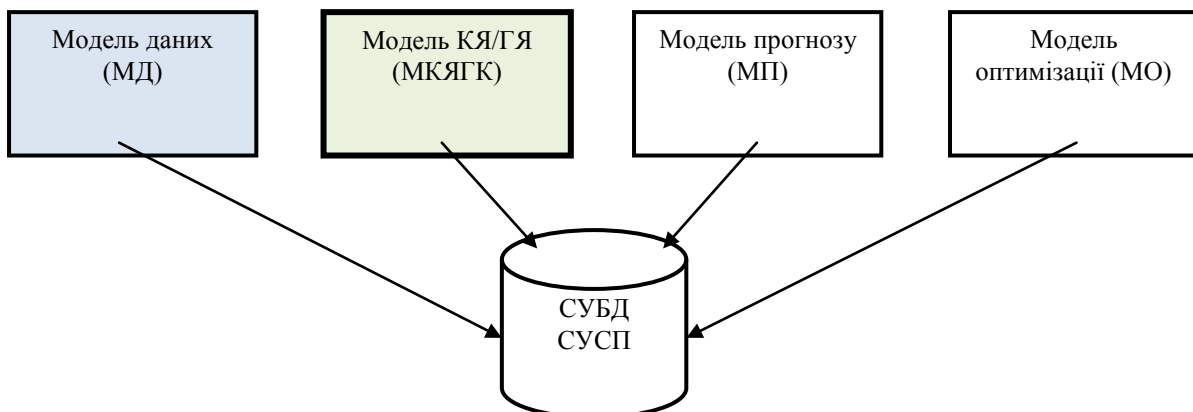


Рис. 3 Нова структура СУСП

Розглянемо важливі для теми статті перші два блоки СУСП.

Модель Даних (МД) повинна включати:

- історичні дані про стан покриттів;

- історичні дані про інтенсивність руху;
 - історичні дані про виконані роботи;
 - історичні дані про технічні параметри доріг;
 - інформацію про структуру покриття та використані матеріали;
- вартісні показники;
- інформацію про якісні параметри вимірювальних даних.

Модель КЯ/ГЯ:

1. Поточний аналіз (КЯ).

Поточний аналіз включає в себе застосування правил контролю якості даних на контрольних вимірах, проведених вимірювальними приладами на контрольних ділянках перед проведенням загальних вимірів параметрів стану покриття автомобільних доріг. Цей аналіз проводиться технічним персоналом.

Алгоритм перевірки правил контролю якості включає в себе наступні складові частини: визначення середнього значення та стандартного відхилення вимірюваного параметру, використання статистичних правил. Додатково використовується протокол автоматичного затвердження – контрольний вимір автоматично приймається, якщо статистичні правила не порушуються. Застосування статистичних правил можна обмежити часовим інтервалом. У разі порушення правила проводиться детальний аналіз причин порушення. Кожне статистичне правило включає в себе фізичний зміст проблеми з вимірювальним приладом або контрольною ділянкою. В залежності від типу та конкретного порушеного правила надаються рекомендації щодо робіт, необхідних для поточного догляду та утриманню приладів вимірювання або контрольних ділянок. Оператору надається ряд програмних інструментів для внесення інформації щодо вирішення проблеми, а також можливість затвердити (прийняти) контрольний вимір у випадку статистичної помилки.

У процесі вимірювання допускаються статистичні помилки в вимірюваних даних, а також помилки оператора. Для мінімізації статистичних помилок та максимізації ймовірності знаходження та запобігання справжніх проблем використовується експертний аналіз (ГЯ).

2. Експертний Аналіз (ГЯ).

Працює з усередненими даними з рівня КЯ. На цьому рівні проводиться аналіз продуктивності (ефективності) вимірювальних приладів. Результатом аналізу є рекомендований набір статистичних правил для рівня КЯ, а також набір експертних індикаторів щодо загального стану системи вимірювання.

Додатково, затверджені усереднені дані на цьому рівню можуть використовуватися на рівні КЯ як середнє значення та стандартне відхилення вимірюваного параметру.

Рівень ГЯ включає в себе набір експертних функцій для вирішення проблем контролю якості з точки зору експертного аналізу. Наприклад, чи вірно задані параметри середнього значення та стандартного відхилення вимірюваного параметру. Також піднімається питання щодо застосування тих чи інших статистичних правил.

Рівень ГЯ включає в себе наступні складові частини: цільове значення та допустимий інтервал відхилення (критерії якості) вимірюваного параметру для даного вимірювального приладу.

Для задання цільового значення та допустимого інтервалу відхилення для кожного вимірюваного параметру використовується рівень порівняльного аналізу.

3. Порівняльний аналіз (КЯ/ГЯ).

Рівень КЯ/ГЯ працює з усередненими даними з рівня КЯ. На цьому рівні проводиться аналіз продуктивності (ефективності) вимірювальних приладів по відношенню до інших приладів, що використовують однакові або різні методи вимірювання.

Порівняльний аналіз проводиться по різним групам. Кожна група порівняння включає в себе результати вимірювання від різних приладів, що поєднуються за різними критеріями, таких як: клас вимірювального приладу (різні моделі приладів поєднуються в класи), метод вимірювання, та калібрування для однакового параметру вимірювання та контрольної ділянки.

Висновок

Реалізація наведеної концептуальної моделі дасть можливість отримати оптимальний рівень якості вимірюваних даних та буде сприяти підвищенню ефективності рішень в системі управління станом покриття.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Quality Management of Pavement Condition Data Collection. A Synthesis of Highway Practice.* TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, WASHINGTON, D.C., 2009, www.TRB.org. – 154 p.

2. *Стандарт* Укравтодор. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. СОУ 45.2-00018112-042:2009.

Соколова Н.М., к.е.н.

ЕКОНОМІЧНІ РИЗИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УМОВАХ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Анотація. Дослідження ризиків експлуатації автомобільних доріг потребує удосконалення моделей деградації доріг з врахуванням процесу відновлення властивостей доріг. На сучасному етапі становлення наукових уявлень про ризики експлуатації доріг в якості моделей деградації доріг з урахуванням економічних ризиків найбільш вірогідними є імітаційні моделі.

Ключові слова: автомобільна дорога; експлуатація доріг; економічні ризики.

Аннотация. Исследование рисков эксплуатации автомобильных дорог требует усовершенствования моделей деградации дорог с учетом процесса восстановления свойств дорог. На современном этапе становления научных представлений о рисках эксплуатации дорог в качестве моделей деградации дорог с учетом экономических рисков наиболее вероятны имитационные модели.

Ключевые слова: автомобильная дорога; эксплуатация дорог; экономические риски.

Abstract. Study of the risk of exploitation road needs improving roads degradation models taking into account the reconstruction process properties of roads. At the present stage of scientific understanding of the risks of exploitation roads as roads degradation models with economic risks are most likely simulations.

Keywords: highway, road maintenance, economic risks.

Проблема

Докорінні зміни умов господарювання в Україні і розвиток приватного сектора вимагають від економічної науки пошуку нових теоретичних і практичних підходів до розв'язання складних економічних задач в сфері розвитку транспортної інфраструктури, зокрема мережі автомобільних доріг, від стану якої залежать економічне зростання і соціальний розвиток країни. Важливість цієї проблеми для дорожнього господарства обумовлена в Законі України «Про загальні засади державно-приватного партнерства».

В останні два десятиріччя в багатьох країнах світу в сфері утримання і удосконалення дорожньої інфраструктури набули поширення контракти, які засновані на показниках забезпеченої якості стану автомобільних доріг [1], та так звані контракти життєвого циклу [2]. Такі контракти здійснюються в умовах державно-приватного партнерства, яке сприяє залученню в реалізацію інфраструктурних проектів приватного капіталу і стимулює впровадження приватним сектором ефективного менеджменту та сучасних інноваційних технологій, що призводить до суттєвої економії фінансових ресурсів.

Для здійснення контрактів і оптимізації витрат замовнику і підряднику потрібно оцінити свої майбутні економічні ризики, але методологія прогнозування ризику, зв'язок ризику з виникненням макроекономічних і мікроекономічних криз, моделі і методи оцінки та управління ризиками в експлуатації автомобільних доріг ще недостатньо розвинуті.

Аналіз останніх досліджень

Вперше засновані на показниках забезпеченої якості стану автомобільних доріг контракти були застосовані в Канаді в 1988 р., а потім в Австралії, США і країнах Південної Америки. Поступово ця тенденція поширилася в країни Європи, Африки і Азії. Досвід розробки та впровадження означених контрактів дозволив визначити їх основні переваги: економію фінансових ресурсів; поліпшення стану дорожньої інфраструктури; більшу задоволеність користувачів доріг; багаторічне фінансування програм з утримання доріг. Однак були виявлені і певні проблеми, однією з яких є адекватне розподілення ризиків між державою (замовником) та приватним сектором (підрядником). Контракт повинен визначити всі можливі види ризику і розподілити їх між сторонами так, щоб кожна з них несла той ризик, з яким вона в змозі впоратися найкращим чином [1, 3].

Економічний ризик в системі ринкових відносин є необхідною категорією, яка потребує удосконалення теорії і практики економічного аналізу. На сьогоднішній день в основному розроблені питання етимології, онтології та гносеології ризику, сформульовані теоретико-методологічні засади оцінки, прогнозування та оцінки ризику [4]. Виникли нові наукові напрями: ризикологія, теорія активних систем, теорія контрактів, конфліктологія та інші. Теорія ризиків розглядається як частина кризології - науки про кризи. В практику економічної діяльності широко впроваджується аналіз ризиків, ризик-менеджмент, кризовий менеджмент [5].

Ризик - це економічна категорія в діяльності суб'єктів господарювання, пов'язана з подоланням невизначеності. Він має діалектичну об'єктивно-суб'єктивну структуру. Оцінка ризику характеризує можливі збитки з урахуванням впливу контрольованих і неконтрольованих чинників [4].

Інфраструктурні об'єкти, в тому числі автомобільні дороги знаходяться під впливом негативних факторів, які спричиняють ризик економічних втрат. В експлуатації автомобільних доріг, обґрунтуванню ризиків зарубіжними дослідниками приділяється значна увага [6]. В Україні проблема обґрунтування економічних ризиків експлуатації автомобільних доріг практично не досліджена і потребує негайної розробки.

Мета статті

Висунути проблему обґрунтування економічних ризиків експлуатації доріг.

Викладення основного матеріалу

З позицій системного підходу, можна запропонувати таку корисну для моделювання ризиків експлуатації доріг схему (рис. 1).

Ефективність роботи автомобільної дороги обумовлюють два процеси:

- 1) деградація властивостей дороги під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників;
- 2) відновлення властивостей дороги шляхом виконання підрядниками робіт з її реконструкції, ремонтів та утримання.

У сукупності ці процеси визначають транспортно-експлуатаційний стан дороги і її техніко-економічні показники. Ризики, які притаманні стадії експлуатації дороги, тобто її використанню, на наш погляд, можна поділити на чотири групи:

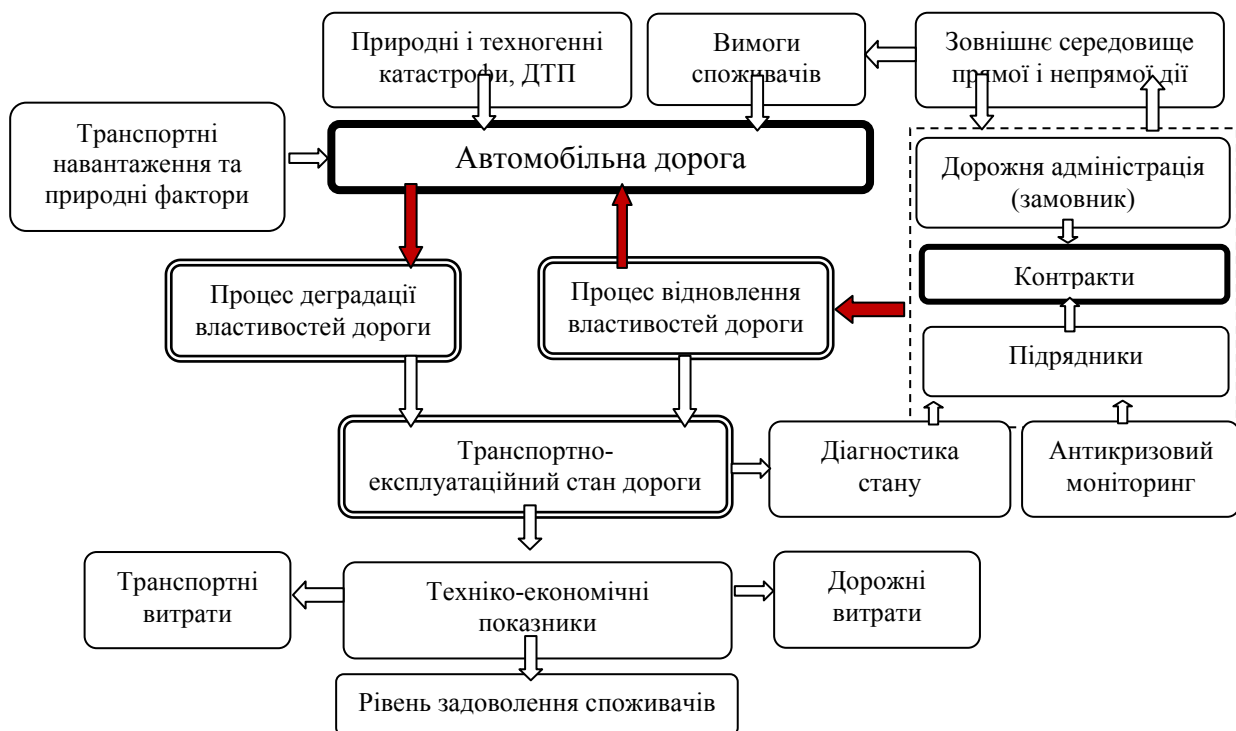


Рис. 1. Вихідна схема для аналізу та оцінки ризиків експлуатації доріг

- 1) природні ризики (наприклад, що викликані повеннями, зсувами, сніжними заносами, ожеледицею) та техногенні (проїзд надважкого транспортного засобу, дорожньо-транспортні пригоди, тероризм);
- 2) ризики зменшення або збільшення інтенсивності руху;
- 3) ризики поступової деградації властивостей дороги як складної інженерної споруди;
- 4) ризики дорожньої адміністрації і організацій, які безпосередньо виконують ремонт та утримання дороги (підрядників).

Всі ці ризики незалежно від їх походження в решті-решт призводять до економічних втрат і можуть оцінюватись як економічні ризики.

Природні та техногенні ризики розглядаються в теорії надійності. Підвищення надійності зменшує техногенний ризик, але вимагає додаткових матеріальних витрат.

Ризики змін інтенсивності та складу руху в довгостроковій перспективі – головний погано передбачуваний фактор, який визначає рівень завантаження дороги і вимоги до транспортно-експлуатаційних якостей. Від перспективної інтенсивності руху залежить інтенсивність процесу деградації елементів доріг. Слід зауважити, що в сучасній практиці техніко-економічних обґрунтувань в дорожній галузі використовуються математичні моделі прогнозування інтенсивності руху, засновані на дуже коротких рядах ретроспективних спостережень або експертних оцінках коефіцієнту приросту інтенсивності руху. Тому проблема прогнозування перспективної інтенсивності руху потребує ґрунтовних теоретико-методологічних досліджень.

Поступовий процес деградації призводить не тільки до пошкодження елементів доріг, але й до економічних втрат, які є наслідком підвищення вартості перевезень, а також до зростання вартості майбутніх ремонтних робіт при відсутності більш дешевих попереджувальних (превентивних) робіт, які затримують прогрес деградації. Невизначеність процесу деградації розглядається як ризик. Контракти утримання доріг базуються на використанні показників якості доріг, які залежать від процесу деградації.

Основні види ризиків в діяльності підрядників належать до виробничих, комерційних, фінансових, інвестиційних та професійних ризиків. Головним фактором, що впливає на цю групу ризиків, є процес деградації дороги, який формує потенційні об'єми робіт з ремонту та утримання доріг і потребу фінансових надходжень. В той же час, процес відновлення властивостей доріг впливає на процес деградації.

Дорожня адміністрація повинна оцінювати ризик залучення до виконання робіт ненадійних підрядників з ознаками кризових явищ. Перевага віддається

тому, хто має досвід і можливості оцінки стану доріг, планування і організації робіт, вибору матеріалів і технології, а також має систему моніторингу власних робіт [1, 3]. З іншого боку, підрядники повинні постійно здійснювати моніторинг свого стану для раннього виявлення і запобігання розвитку внутрішньої кризи [5].

Для кількісної оцінки ступеню ризику запропоновано використовувати багато показників, проте найбільше поширення, зокрема в дорожній галузі [6], дістав показник:

$$R = p \times B, \quad (1)$$

де R – ступінь ризику в грошових одиницях;

p – імовірність здійснення фактора ризику, який призводить до втрат;

B – втрати від негативної події в грошових одиницях.

Ризик в експлуатації доріг полягає в тому, що підрядник не в змозі забезпечити обумовлений в контракті комплексний показник стану дороги. Це призводить до штрафних санкцій з боку дорожньої адміністрації. Намагання за будь-яку ціну досягти планового рівня стану дороги також потребує непередбачених витрат. Дорожня адміністрація ризикує неправильно визначити допустимий плановий рівень стану дороги при діючих фінансових обмеженнях.

Проблема оцінки та прогнозування ризику експлуатації автомобільних доріг знаходиться в методологічній площині, тобто у розробці сукупності моделей і методів, які більш-менш адекватно відображують реальні процеси динаміки стану доріг в часі. Адекватність моделей залежить від кількості та якості інформації, яка знижує невизначенність процесів експлуатації доріг.

Накопиченню такої інформації сприяє впровадження в дорожній галузі Системи управління станом покриття, Аналітичної експертної системи управління мостами, Електронного паспорту автомобільної дороги, Баз оперативного стану доріг та інших систем. Проте аналіз фактичного стану цих систем на сучасному етапі їх розвитку дозволив виявити певні недоліки: зовсім недостатній рівень наповнення баз даних; невідповідність прогнозних моделей реальним умовам експлуатації доріг, особливо прогнозування інтенсивності та складу руху; не впроваджені в практику моделі оцінки стану доріг і відсутня необхідна для цього інформація; не виконується порівняння прогнозованих показників з фактичними та інші. Подолання цих недоліків буде сприяти реалізації Концепції програми інформатизації дорожньої галузі, прийнятої Укравтодором в 2009 р.

Висновки

Оцінка і прогнозування економічних ризиків експлуатації автомобільних доріг уявляє собою складну комплексну наукову техніко-економічну задачу на стику теорії експлуатації доріг, економічних теорій кризології та ризикології та економіко-математичного моделювання, вирішення якої актуальне в умовах державно-приватного партнерства.

Необхідна розробка теоретико-методологічних основ управління ризиками експлуатації доріг і проблем управління кризовими явищами в організаціях, які виконують роботу із ремонту та утримання доріг.

Дослідження ризиків експлуатації автомобільних доріг потребує удосконалення моделей деградації доріг з врахуванням процесу відновлення властивостей доріг.

На сучасному етапі становлення наукових уявлень про ризики експлуатації доріг в якості моделей деградації доріг з урахуванням економічних ризиків найбільш вірогідними є імітаційні моделі.

Модулі розрахунку економічних ризиків повинні бути включені в сучасні системи управління станом доріг і мостів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ* / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005. – 14 с.

2. *Черниговский М.* Контракты жизненного цикла: правовая природа и перспективы использования в рамках ГЧП-проектов в России. // Корпоративный юрист, № 5, 2009. – С.14-18.

3. *Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries - An Instrument of German Technical Cooperation* – By Dr. Gunter Zietlow. Eschborn, November 2004. - 19 с.

4. *Вітлінський В.В., Великоіваненко Г.І.* Ризикологія в економіці та підприємстві: Монографія. — К.: КНЕУ, 2004. — 480 с.

5. *Соколова Н.М.* Моніторинг – невід’ємна складова антикризового управління // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 9. – С. 136 - 141.

6. *Dicdican R.Y., Haimes Y.Y., Lambert J.H.* Risk based Asset Management Methodology for Highway Infrastructure Systems. Center for Risk Management of Engineering Systems University of Virginia. Charlottesville, Virginia, 2004. – 24 p.

Редченко В.П.

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДИНАМІЧНИХ РЕАКЦІЙ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.

Анотація. Стаття присвячена застосуванню спектрального аналізу для визначення натурних динамічних характеристик будівельних конструкцій. Означені проблеми та шляхи їх розв'язання.

Ключові слова: діагностика, спектральний аналіз, будівельні конструкції.

Аннотация. Статья посвящена использованию спектрального анализа при определении натурных динамических характеристик строительных конструкций. Определены проблемы и пути их решения.

Ключевые слова: диагностика, спектральный анализ, строительные конструкции.

Abstract. Clause is devoted to use of the spectral analysis at definition натурних of dynamic characteristics of building designs. Are determined the problems and ways of their decision are planned.

Key words: diagnostics, spectral analysis, building construction.

Вступ

Визначення та моніторинг технічного стану будівельних конструкцій, і мостів зокрема, за інтегральними структурними параметрами, які визначаються динамічними випробуваннями, займає чинне місце серед інших методів діагностики та отримує все більше розповсюдження як у світовій так і у вітчизняній практиці [1,2,3,4]. Знання динамічних параметрів конструкцій та споруд є необхідною умовою при визначенні їх сейсмостійкості, вимоги щодо натурального визначення цих параметрів для споруд, які знаходяться в сейсмічних

зонах, закладені в недавно прийнятих державних нормах України ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» [6]. У переважній більшості випадків визначенню підлягають частоти та форми власних коливань та декременти коливань. Отримані натурні дані дозволяють перевірити та скоригувати розрахункові моделі споруд, що забезпечує достовірність проведених розрахунків.

Проблема

З розвитком цифрових технологій реєстрація динамічних реакцій будівельних конструкцій перестала бути проблемою – реєстраційні цифрові комплекси, що налаштовані на проблеми діагностики будівельних конструкцій, на даний час має переважна більшість організацій, які займаються випробуванням споруд. Реакція конструкції на певне збудження перетворюється давачем в певний сигнал, який в тому чи іншому цифровому форматі зберігається в тривалій пам'яті реєстраційного комплексу. Зареєстровану реакцію можна переглянути у вигляді графіка в координатах одиниці реакції – час, який найчастіше називають віброграмою і опрацювання якої можна виконати методами, що були розроблені майже 100 років тому. Ці методи базуються на вимірюванні амплітуд і часу для характерних точок графіку та візуальному аналізу характеру віброграми (чи декількох синхронних віброграм). При складних коливаннях, які є результатом складання декількох форм коливань з різними частотами та амплітудами, що спостерігаємо в переважній більшості випадків при коливаннях будівельних конструкцій, ці методи не дають можливості з потрібною для інженерних розрахунків точністю визначати власні частоти та декременти коливань.

Починаючи приблизно з 50-х років минулого століття в таких для аналізу складних віброграм рекомендується застосовувати спектральний аналіз - метод, який базується на знаходженні перетворення Фур'є для даної віброграми. Ці ж рекомендації в незмінному вигляді наявні і на даний час, але, як і раніше, на фразі "...необхідно виконати спектральний аналіз..." всі пояснення закінчуються або ж йде посилання на літературу з галузі зв'язку та теорії сигналів. Розібратися у величезному масиві вказаної літератури інженеру будівельнику дуже важко, тим більше, що переважна більшість досліджень, які там представлені, стосуються проблеми якнайточнішого представлення вхідного сигналу, який пройшов через певну систему, за наявним вихідним

сигналом [7,8,9,10,11]. У випадку дослідження будівельних конструкцій нас цікавлять параметри системи (конструкції), через яку проходить вхідний сигнал (діюче на конструкцію збудження), і ці параметри ми намагаємося встановити за вихідним сигналом (реакція конструкції). Звичайно, наведене пояснення відмінностей є дещо спрощеним, але слід зауважити, що в самій теорії зв'язку застосування спектрального аналізу пройшло досить складний шлях розвитку, помилок та дискусій і лише в останні десятиліття набуло загальноприйнятих підходів [12,13], тому не дивно, що в при дослідженні будівельних конструкцій застосування спектрального аналізу знаходиться на самому початковому рівні.

На даний час застосування спектрального аналізу при дослідженні динамічних реакцій будівельних конструкцій, як правило, полягає в знаходженні перетворення Фур'є для даної віброграми (ця функція закладена в більшість сучасних реєстраційних комплексів) та візуального знаходження екстремумів на графіку амплітудного спектру, що інтерпретується із знаходженням складових гармонік. Така ситуація наявна і в зарубіжній практиці [4,5]. При цьому забуваємо, що перетворення Фур'є для обмеженої в часі віброграми не є строго ідентичним ряду Фур'є для цієї ж віброграми. Слід розуміти, що отриманий в результаті спектр по суті є “миттєвим спектром” лише даної реалізації динамічної реакції і може мати дуже суттєві відмінності від спектрального представлення цієї ж реакції, як ряду гармонік, які ми маємо на меті визначити експериментально. Власне за наявним реальним сигналом ми можемо отримати лише певну оцінку його спектру тому практика спектрального аналізу є “...ремесло досить суб'єктивного характеру, яке поруч з використанням наукового підходу вимагає певного рівня емпіричного мистецтва...”[13]. Останній висновок ще донедавна був предметом спору багатьох вчених зі світовими іменами, а його ігнорування призводило до серйозних помилок [12].

Іншим обмеженням спектрального аналізу є його гранична роздільна здатність – тобто можливість прояву двох гармонік з близькими частотами двома піковими положеннями на графіку амплітудного спектру сигналу. Це обмеження знову ж таки пов'язане з обмеженою тривалістю віброграми в часі. Роздільну здатність класичного методу спектрального аналізу наближено оцінюють як величину обернену тривалості сигналу – якщо є сигнал тривалістю 5,0 сек., то ми можемо надіятися на прояв частот, які відрізняються більш ніж на 0,2 Гц, частоти з ж меншою різницею не проявляться на графіку спектру

окремими піками (рис. 1). На практиці часто доводиться зустрічатися з випадками, коли конструкція має дві та більше форм коливань з близькими частотами. Так, наприклад, для прогонових будов мостів це: крутильна та балкова форми коливань; цілий ряд перших форм коливань для нерозрізної балки з рівними або ж близькими довжинами прогонів і т.п. Не маючи змоги розділити ці частоти, на практиці просто вказують інтервал частот для даних форм, існує навіть термін “пучність частот” для таких випадків. Про розділення частот за формами чи про точне визначення декременту коливань для окремих форм в таких випадках навіть не йде мова. Звичайно такий підхід в умовах зростаючої точності розрахунків є значним обмеженням при їх експериментальній перевірці, а отже є проблемою, яку необхідно вирішити.

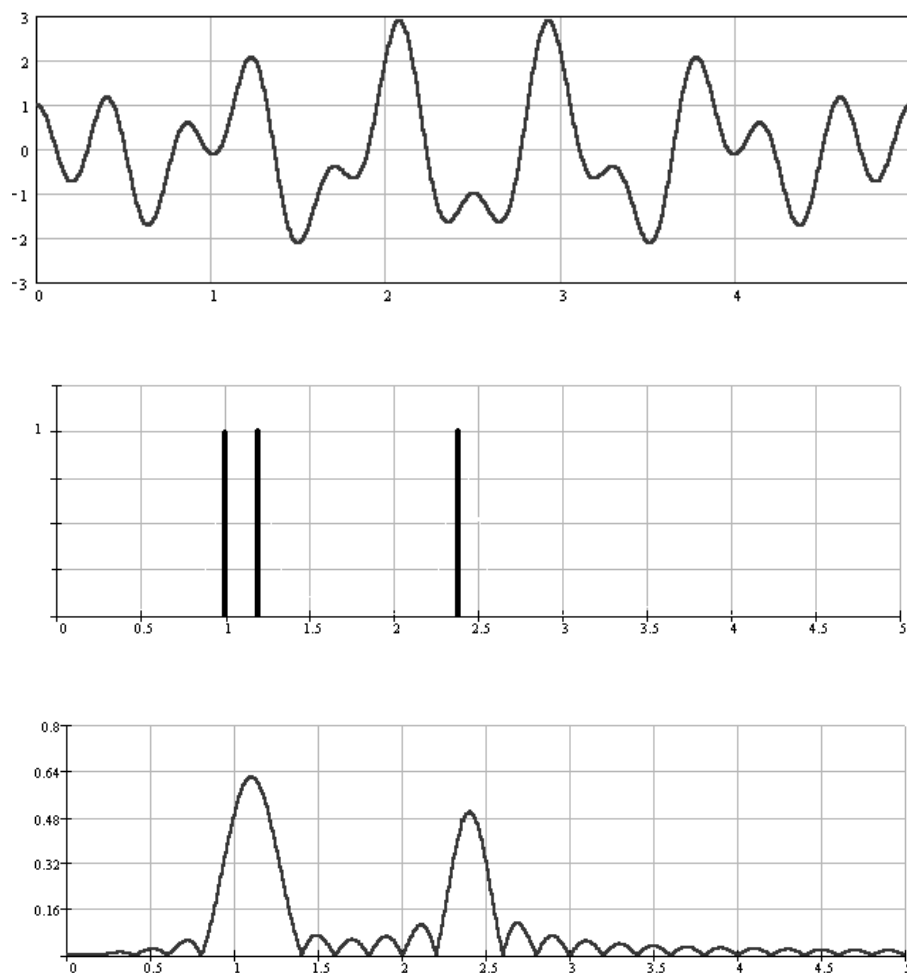


Рис. 1. Графік коливань, що утворені сумою трьох гармонік (а), їх частотне представлення як ряду Фур'є (б) та амплітудного спектру перетворення Фур'є (в). Дві перші гармоніки, які близькі за своїми частотами, не проявилися відповідно двома екстремумами на графіку амплітудного спектру

Шляхи розв'язання проблеми

Враховуючи певну додаткову інформацію про статистичні особливості сигналів, можна, виконавши певні дії вже над самим перетворенням Фур'є, умовно збільшити роздільну здатність спектрального аналізу. При цьому спектральне представлення сигналу буде спотворене (аж до появи хибних частот) тому такий підхід можна застосовувати лише для сигналів з конкретними особливостями та для вирішення конкретних задач, які були поставлені [13,14]. Застосувавши вказаний підхід, автор виконав ряд досліджень, які направлені на збільшення можливостей спектрального аналізу при розгляді саме динамічних реакцій будівельних конструкцій. Дослідження виконувалися шляхом встановлення зв'язку між змінами у початковій функції та змінами в її миттєвому спектрі. Після окреслення певного ряду властивостей спектру функцій – аналогів реакцій будівельних конструкцій були розроблені алгоритми для знаходження власних частот, декрементів коливань та розділення їх за формами. Значна частина результатів виконаних досліджень викладена в авторській монографії “Особливості застосування спектрального аналізу при дослідженні коливань будівельних конструкцій”, яка схвалена науково-технічною радою ДерждорНДІ та повинна вийти з друку в 2009 році. Деякі результати досліджень наведені нижче.

Інформацію про частоти, форми та декременти коливань власних форм коливань конструкції можна отримати аналізуючи її вільні коливання. Значна частина будівельних конструкцій з достатньою точністю моделюється у вигляді лінійних систем з в'язким тертям, отже функціями – аналогами реакцій при вільних коливаннях цих конструкцій будуть гармонічні функції, амплітуди яких зменшуються за експоненціальним законом, або ж сума таких функцій. Найважливіші властивості спектру вільних коливань лінійної системи з в'язким тертям, які були встановлені:

- збільшення довжини віброграми збільшує роздільну здатність спектру лише до певної межі – після збільшення тривалості віброграми T понад $4/F\delta$, де F – середня частота інтервалу пучності, δ - декремент коливань – вид спектру, а отже і його роздільна здатність, практично вже не змінюються;
- при наявності віброграми тривалістю $T \geq 4/F\delta$ роздільна здатність методу залежить лише від співвідношення початкових фаз та амплітуд

всіх складових гармонік (маються на увазі гармоніки, які утворюють пучність частот), а також від декременту коливань;

- при рівних амплітудах двох гармонік їх розділення у спектрі на два піки матиме місце при будь-якій різниці їх початкових фаз лише тоді, коли різниця частот між ними Δf буде більшою за $0,43F\delta$, (керуючись вказівками щодо роздільної здатності класичного спектрального аналізу, в даному випадку слід було б очікувати розділення частот з $\Delta f \geq 1/T \approx 0,25F\delta$);
- гармоніки з меншими амплітудами можуть проявлятися на графіку амплітудного спектру віброграми не лише піками а й впадинами на фоні загального екстремуму в зоні пучності частот.
- З врахуванням визначених властивостей спектру суми гармонічних згасаючих функцій були розроблені алгоритми визначення частот, які утворюють пучність, їх амплітуд та декременту коливань з розділенням їх за формами власних коливань.

Загальний підхід при опрацюванні віброграм вільних коливань повинен бути таким:

- знаходження перетворення Фур'є для даної віброграми;
- оцінка довжини віброграми порівнянням її з критерієм $4/F\delta$;
- визначення ділянок з екстремумами та перевірка кожного екстремуму для вирішення питання, що він представляє: пучність частот чи одну гармоніку;
- застосування відповідних алгоритмів для визначення частот гармонік, які утворюють пучності.

Висновок

При застосуванні спектрального аналізу для дослідження динамічних реакцій будівельних конструкцій не слід задовольнятися лише визначенням його екстремумів, а необхідно проводити аналіз самого перетворення Фур'є з врахуванням особливостей функції – аналога даної реакції. Проведення такого аналізу дозволяє значно збільшити інформативність класичного спектрального аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Редченко В.П.* Оцінка просторової роботи прогонової будови моста за результатами її випробувань рухомим навантаженням // Сб. “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво”. – Вип.69. - К.: НТУ, 2004 – С.210–214.
2. *Немчинов Ю.И., Кендзера А.В., Бугаевский Г.Н.* Динамическая паспортизация сооружений как составная часть СнИПа // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. –К.: НДІБК, 2004.-Вип.60.-С.193-198.
3. *Коваль П.М, Филоненко С.Ф., Сташук П.М., Корниенко И.К.* Анализ динамических характеристик моста // Сб. «Дороги и мосты». Вип.9.- К.:2008 – С. 119–128.
4. *Masato Abe, Makoto Shimamura, Masaaki Matsunuma.* Bridge Substructure Monitoring Using Live Load Induced Vibration. TRB 2007 Annual Meeting – 11 p.
5. *Carmelo Gentile, Alberto Gennari-Santori.* Dynamic Testing and Modeling of a 30-years' old Cable-Stayed Bridge / Structural Engineering International. 1/2006. P.39-43.
6. *Хавкін О.К., Калюх Ю.І., Мар'єнков М.Г., Глуховський В.П., Приємський В.Д.* Моніторинг будівельних конструкцій і застосування нових державних норм ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. –К.: НДІБК, 2008.-Вип.69.-С.26-44.
7. *Гоноровский И.С., Демин М.П.* Радиотехнические цепи и сигналы.: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1994.
8. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы.: Учебник для вузов по спец. “Радиотехника”. – М.: Высш. шк., 2000.
9. *Дж. Бендат, А. Пирсол.* Применение корреляционного и спектрального анализа. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
10. *Г.Дженкинс, Д. Ваттс.* Спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – Том 1 - 316 с., том 2 – 287 с.
11. *Случайные колебания.* /Под ред. С. Кренделла // Пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 356 с.
12. *Финк Л.М.* Сигналы, помехи, ошибки... Заметки о некоторых неожиданных, парадоксах и заблуждениях в теории связи. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
13. *Марпл-мл. С.Л.* “Цифровой спектральный анализ и его приложения” / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990 .– 548 с.
14. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

Янчук Л.Л.

ДЕТЕРМІНІСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ.

Анотація. Виконано аналіз моделей деградації залізобетонних елементів, що побудований на основі класичних законів аналітичної теорії дифузії. Показано, що такі детерміністичні моделі не мають широкого застосування в практиці проектування. Пропонується альтернативна аналітична модель деградації на основі якої будується модель життєвого циклу.

Ключові слова: Деградація залізобетону; модель деградації; модель життєвого циклу.

Аннотация. Выполнен анализ моделей деградации железобетонных элементов, построенный на основе классических законов аналитической теории диффузии. Показано, что такие детерминистические модели не имеют широкого применения в практике проектирования. Предлагается альтернативная аналитическая модель деградации на основе которой строится модель жизненного цикла.

Ключевые слова: Деградация железобетона; модель деградации; модель жизненного цикла.

Abstract. The analysis of the degradation models of reinforced concrete elements constructed on the basis of laws of classical analytic theory of diffusion. Shown that such deterministic models are not widely used in design practice. Proposed an alternative analytical model based on a degradation model is based lifecycle.

Key words: Degradation of concrete; degradation model, the model life cycle.

Проблема

Мостові переходи України є найбільш коштовною частиною національної дорожньої інфраструктури. Термін їх експлуатації обчислюється десятками років, догляд виконується інженерами декількох поколінь. Тому задача

прогнозу терміну безпечної експлуатації мостового переходу є нагальною, значної економічної і соціальної ваги. Мостовий перехід є складним комплексом споруд і розбудову моделі прогнозу ми бачимо тільки як набір взаємозв'язаних моделей прогнозу життєвого циклу експлуатації його конструктивних елементів. Тут розглядається модель прогнозу залізобетонних елементів власне моста.

Сьогодні науковці і інженери дорожньої сфери відмічають суттєвий розрив між рівнем наукового супроводу проектування елементів мостового переходу та системи їх експлуатації. Чітко виявилась потреба в новітній методології наукового супроводу експлуатації будівельних конструкцій мостових переходів. Особливе місце в цій методології займає задача оцінки експлуатаційного стану і прогнозу ресурсу залізобетонних елементів споруд, яка носить узагальнену назву *«життєвий цикл»*. В цей термін вкладається значно ширший сенс, ніж раніше. Його розуміють як модель теорії споруд, яка дає змогу, в інтересах суспільства, проектувати і експлуатувати конструктивні елементи керованої довговічності.

В умовах обмеженого фінансування моделі життєвого циклу мають забезпечити стратегічне планування видатків на експлуатацію споруд так, щоби протягом терміну служби зберегти параметри функціональності, такі як надійність, безпека експлуатації, збереження оточуючого середовища, архітектурної, естетичної і історичної цінності споруди.

З іншого боку, незважаючи на величезні зусилля науковців, які були затрачені на те, щоби розробити сучасну модель напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, існуючих моделей розрахунку за першим і другим граничними станами сьогодні явно недостатньо. Потрібні нові моделі теорії споруд, які б відображали еволюцію напружено-деформованого стану в функції часу. Саме такі моделі, що описують деградацію елементу з плином часу мають відкрити шлях до проектування залізобетонних елементів на заданий термін служби, прогнозувати життєвий цикл елемента в експлуатації.

Дійсно, сучасні норми проектування будівельних конструкцій [7] декларують термін служби споруд 100 років. Цей термін ніяк не обґрунтований і, до того ж, його слід розуміти в сенсі *«не менш ніж 100 років»*. Реальність є зовсім іншою. Так, наприклад, збірно-монолітні залізобетонні прогонові будови автодорожніх мостів України мають середній життєвий цикл в експлуатації

порядку 35 - 45 років [8]. В Росії, за визнанням проф. О.І.Васильєва, цей строк складає ще менше – 30 років [4]. Причини зниження очікуваного ресурсу є на всіх стадіях життєвого циклу споруди. Зараз визнається, що зниження середнього терміну служби закладається ще на стадії вишукування і проектування споруди, тому що в проектному рішенні ніяк не відображається в яких умовах і з якою швидкістю протікатиме деградація залізобетону [9].

Очевидно, що існуючі моделі не є адекватними нашому досвіду будівництва і експлуатації мостів. Тому назріла необхідність звернення до нового інструментарію, новим моделям, що відповідають українським реаліям.

Проблема прогнозу ресурсу залізобетонних елементів, як на етапі проектування, так і в процесі експлуатації, - завжди була найменш вивченою в теорії споруд, а з іншого боку – найбільш вагомою в соціально-економічному плані. Сьогодні, в умовах вкрай обмеженого фінансування системи експлуатації споруд, стратегічне планування видатків на утримання споруд має опиратися на реалістичний прогноз ресурсу залізобетонних елементів.

Наукові пошуки останніх років з створення засад оцінювання і прогнозування технічного стану транспортних споруд [8,9 ,10 ,19] склали базу перших в Україні і СНД чинних нормативних документів [5,6,7], які сьогодні в системі експлуатації мостів регламентують обов'язкову процедуру інтегральної оцінки прогнозу технічного стану конструктивних елементів і споруди цілком в функції часу і, таким чином, прогнозувати її залишковий ресурс. Проте, згадані нормативні документи ще далекі від досконалості і потребуються значні зусилля з подальшого їх розвитку та вдосконалення.

Що ж стосується прогнозу ресурсу залізобетонних елементів на етапі проектування, то нам невідомі дослідження в Україні або в Росії, які мають реальне практичне впровадження. Публікації, на які нижче будуть посилання, на наш погляд, є скоріше постановкою задачі, формулюванням концепції визначення ресурсу елементу в процесі проектування.

Мета роботи

Метою роботи є науковий пошук концепції моделювання деградації залізобетонних елементів мостів з плином часу та прогноз терміну життєвого циклу. Мета дослідження формулюється в таких задачах:

- аналіз моделей деградації залізобетону;

- розробка детерміністичної моделі прогнозу терміну життєвого циклу залізобетонних елементів моста.

Формулювання задачі

Спочатку введемо декілька термінів, якими ми оперуємо в роботі.

Деградація – природний процес погіршення початкових технічних, фізико-механічних, хімічних і естетичних характеристик елемента. Протікання процесу може бути описано аналітичною або числовою моделлю деградації.

Модель деградації – аналітична залежність, яка дає середнє значення фактору деградації в функції часу:

$$R(t) = R_l f(t), \quad (1)$$

де $R(t)$ – узагальнений фактор, деградація якого описується моделлю. Це може бути, наприклад, розрахунковий опір матеріалу, несна здатність елемента, ширина розкриття тріщин, параметр надійності і таке інше; R_l – початкове значення фактору деградації;

$f(t)$ - функція деградації, t – час.

Модель життєвого циклу - аналітична процедура, що дозволяє визначити час безпечного використання елемента (або споруди в цілому) при заданих навантаженнях в визначених умовах експлуатації. Це функція часу, якою описується процес погіршення технічних, фізико-механічних, хімічних і естетичних характеристик елемента протягом терміну служби елемента/споруди. В загальному випадку така функція має вид:

$$T_l = R(t) \cdot L(p_1, p_2, \dots, p_n), \quad (2)$$

де T_l - термін служби елемента, що прогнозується;

$R(t)$ - фактор моделі деградації;

$L(p_1, p_2, \dots, p_n)$ - випадкова функція;

$p_1, p_2, \dots, p_n$ - параметри, якими характеризуються: властивості матеріалів, напружено-деформований стан, тип конструкції, оточуюче середовище, рівень експлуатаційного утримання.

В термінах наведених вище, задача роботи формулюється як пошук аналітичної функції типу (1), що відображає *інтегрально* процес деградації залізобетонного елемента в функції часу і служить фундаментальною функцією для моделі життєвого циклу в формі (2). В поняття «*інтегрально*» тут вкладається сенс узагальнення в тому, що модель деградації має виражається

через один фактор деградації. В даному випадку за такий фактор прийнятий параметр тріщино утворення.

Детерміністичні моделі деградації

Дещо умовно, моделі деградації класифікуються за двома групами: детерміністичні (на пів ймовірнісні) моделі та стохастичні феноменологічні. Тут розглядаються детерміністичні.

Найбільш розповсюдженим детерміністичними моделями є такі, що описують швидкість деградації в залежності від часу карбонізації та насичення хлоридами захисного шару бетону. Постулюється, що інтенсивна корозія арматури починається після карбонізації або повного насичення (що наступить скоріше). Ці моделі базуються на загальних законах аналітичної теорії дифузії, відомими як рівняння першого і другого законів Адольфа Фіка (1855р.). Процес карбонізації описується одномірним диференціальним рівнянням першого закону Фіка:

$$Q = -D \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (3)$$

де Q – кількість перенесеної в результаті дифузії речовини (в даному випадку – вуглецю), так звана, щільність дифузійного потоку;

$C = C(x, t)$ – концентрація речовини, що дифундує, функція координати x і часу t ;

D – коефіцієнт дифузії газу в бетоні, $\text{см}^2/\text{с}$.

Так розв'язок диференційного рівняння (3) при допущенні, що концентрація вуглецю лінійно змінюється по товщині захисного шару бетону та градієнт концентрації є постійним, дає зв'язок часу з глибиною карбонізації бетону:

$$d_c = \left(\frac{2DCt}{m_0} \right)^{0,5}, \quad (4)$$

де d_c – глибина карбонізації в напрямку координати x , нормальної до поверхні бетону

m_0 – реакційна здатність бетону, функція властивостей і кількості цементу в бетоні.

Модель деградації (3), (4) є феноменологічною, її параметри D , m_0 визначаються експериментально [1], [2], [12].

Інша форма представлення моделі карбонізації надається в роботі [13]:

$$d_c = \left(\frac{2k_1 k_2 k_3 D C t}{a} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^n \quad (5)$$

де d_c – глибина карбонізації;

k_1 – параметр середнього вмісту води в бетоні;

k_2 – параметр умов експлуатації;

k_3 – коефіцієнт водо цементного відношення;

a – граничне значення вмісту CO_2 в карбонізованому бетоні;

t_0 – час експлуатації, $t_0 \leq t$;

n – параметр кліматичних умов експлуатації.

Деградація залізобетону, що характеризується накопиченням певної критичної кількості хлоридів в захисному шарі і, як наслідок, руйнуванням пасивуючого шару арматури, є також початком корозії арматури. Іони хлоридів, які завжди присутні в оточуючому середовищі, проникають через захисний шар по капілярній системі та по мікротріщинам. Процес дифузії хлоридів описується моделлю другого закону Фіка [20,22]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (6)$$

де $C = C(x, t)$ - концентрація іонів хлориду на глибині x в часу t , кг/см^3 ;

D - коефіцієнт дифузії хлоридів в бетоні, $\text{см}^2/\text{с}$;

t – час, с (рахується від початку експлуатації);

x – координата нормальна до поверхні бетону, см.

Рівняння (6) при граничних і початкових умовах $C(x, t) = C_S$ для $x = 0$, $t > 0$ і $C(x, t) = C_I$ для $x > 0$, $t = 0$ та постійному коефіцієнту дифузії хлоридів в бетоні має розв'язок:

$$C = C_I + (C_S - C_I) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right] \quad (7)$$

де $\operatorname{erf}()$ – функція помилок.

C_I – початковий вміст хлоридів в бетон, кг/см^3 ;

C_S – концентрація хлоридів на поверхні захисного шару бетону, кг/см^3

Розв'язок (8) встановлює зв'язок глибини проникнення хлоридів з часом:

$$t = \frac{1}{D} \left[\frac{x}{\left(2 \operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{C - C_I}{C_S - C_I} \right) \right)} \right]^2, \quad (8)$$

де $erfc()$ – додаткова функція помилок.

Значна кількість дослідників [17] вважає, що врахування граничних та початкових умов $x = 0, t > 0$ і $C(x,t) = C_I$ в розв'язку рівняння (6) є зайвим в силу малості C_I порівняно з концентрацією хлоридів на поверхні захисного шару бетону C_S . В цьому випадку розв'язок рівняння (6) має дещо простішу форму:

$$C = C_S \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right]. \quad (9)$$

Залежності (4,5) та (7,8,9), при відомих параметрах коефіцієнту дифузії хлоридів в бетоні D , початковому вмісту хлоридів в бетоні C_I та концентрація хлоридів на поверхні захисного шару бетону C_S , дають змогу прогнозувати час деградації захисного шару залізобетону в залежності від його товщини, властивостей бетону і характеристик оточуючого середовища.

Якщо встановити критичне значення концентрації хлоридів на глибині товщини захисного шару, залежність (8) дає змогу встановити час закінчення етапу 3, тобто початок інтенсивної корозії арматури, яка веде до припинення експлуатації. В цьому випадку зв'язок товщини захисного шару d_c з часом його критичного насичення хлоридами дається залежністю [18]:

$$d_c = 2 \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \left(\frac{C_{CR} - C_I}{C_S - C_I} \right) \right) \sqrt{D \cdot t}, \quad (10)$$

де C_{CR} - критичне значення концентрації хлоридів.

Представлений теоретичний базис детерміністичного прогнозу ресурсу залізобетонних елементів послужив основою для розробки великої кількості моделей деградації [3,11,13,14,18,21]. Вони відрізняються між собою підходами у визначенні параметрів деградації: D - коефіцієнта дифузії хлоридів в бетоні, який є, в свою чергу, залежним від часу і типу конструкції; C_{CR} - критичного значення концентрації хлоридів в залежності від: типу цементу; водоцементного відношення; фізичних характеристик бетону; характеристик оточуючого середовища.

Викладений детерміністичний підхід прогнозу терміну служби, оснований на теоретичних засадах класичних законів дифузії принципово дає змогу час деградації бетону захисного шару. Проте, для розробки практичного апарату прогнозу ресурсу потребується вирішити низку задач пов'язаних з встановленням значень параметрів які входять до рівнянь моделей.

Дослідження, які експериментальним шляхом встановлюють вихідні параметри деградації все ще досить проти речів і не мають широкого застосування. Так, наприклад, в роботі [2] вказується, що критичні значення концентрації хлоридів C_{CR} в залежності від фізичних характеристик бетону складають 0,1-0,5% від маси цементу. Тоді як в англомовній літературі [22] наводяться критичні значення в таких границях: 0,4 – 1,5% від маси цементу.

Викладені обставини призводять до того, що результати прогнозу деградації можуть значно відрізнятись при близьких вихідних даних. Одна із таких спроб практичного застосування законів Фіка для прогнозу деградації захисного шару наводиться в табл. 1. Дані таблиці взяті з документу [12].

Таблиця 1. Прогноз часу до початку корозії арматури

Товщина захисного шару, мм	Час, років при значеннях коефіцієнта дифузії хлоридів в бетоні D , $\text{см}^2/\text{с}$		
	5×10^{-7}	5×10^{-8}	5×10^{-9}
25	0,6	5,6	56
50	2,3	23,0	230
75	5,0	50,0	500

Якщо взяти до уваги що бетони в мостобудівництві мають коефіцієнт дифузії хлоридів в бетоні D порядку $5 \times 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ і прийняти гіпотезу що термін деградації захисного шару складає приблизно половину терміну служби, то аналіз табл. 1 не дає ніяких підстав вважати реальним термін експлуатації в 100 років.

Викладений аналіз детерміністичної моделі основаної на рівняннях класичних теорії дифузії дає підставу вважати, що проблема моделювання прогнозу процесу деградації залізобетонних елементів все ще залишається актуальною і є необхідність в розробці нових моделей.

Модель прогнозу деградації залізобетонних елементів, що пропонується

В цій моделі деградація залізобетонного елементу описується одним фактором - параметром тріщиностійкості. Модель є детерміністичною, в ній ігнорується випадкова природа змінного в часі фактору і змінні та функції на час t приймають фіксовані значення.

Модель тріщино утворення протягом терміну служби представимо у вигляді

$$A(t) = a[1 + f(t)], \quad (11)$$

де a – функція ширини розкриття тріщин.

В загальному випадку функція [7] має вид:

$$a = f_a(R, \sigma, E, \psi), \quad (12)$$

тут (R, σ, E, ψ) - розрахункові параметри тріщино утворення, згідно [7];

$f(t)$ - функція – індикатор деградації залізобетонного елементу. Це безрозмірна функція, що приймає значення від 0 до 10, в залежності від співвідношення розрахункової ширини розкриття тріщини при $t=0$ та на фіксований час в майбутньому $t = \tau \cdot a_0 / a_\tau$:

$$f(t) = s \cdot t^2, \quad (13)$$

де s - масштабний коефіцієнт, має розмірність $1/t^2$ (за одиницю часу тут прийнято рік).

Модель життєвого циклу

В моделі життєвого циклу використовується модель тріщино утворення (11). Функцію індикатора деградації залізобетонного елементу (13) доповнимо експлуатаційними коефіцієнтами:

$$f(t) = m_1 \cdot m_2 \cdot m \cdot s \cdot t^2, \quad (14)$$

де m_1 – коефіцієнт умов експлуатації (табл.2);

m_2 - коефіцієнт типу конструкції (табл.3);

m - коефіцієнт - функція оточуючого середовища, $m = m(p_1, p_2, p_3)$. Тут p_i - параметри, що характеризують оточуюче середовище (розмах середніх max та min температур, відносна вологість навколишнього середовища, наявність хлоридів).

Таблиця 2. Коефіцієнти умов експлуатації

Умови експлуатації	Коефіцієнт умов експлуатації m_1
Згідно з вимогами чинних норм експлуатації	1.00
Незадовільна експлуатація	1.10
Відсутність систематичної експлуатації	1.25

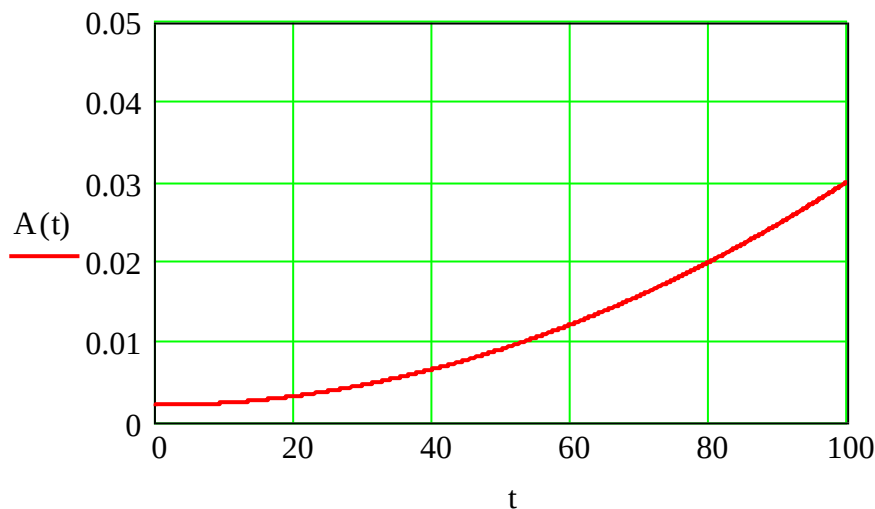
Таблиця 3. Коефіцієнти типу конструкції

Тип конструкції	Коефіцієнт типу конструкції m_2
Монолітна, з попередньо напруженою арматурою	1.00
Монолітна, із звичайною арматурою	1.20
Збірно-монолітна, із змішаним армуванням	1,25
Збірна, з попередньо напруженою арматурою	1,50

З урахуванням (14) модель життєвого циклу залізобетонного елемента має вид

$$A(t) = a \cdot (1 + m_1 \cdot m_2 \cdot m \cdot s \cdot t^2). \quad (15)$$

Вид функції життєвого циклу залізобетонного елемента при $m = m_1 = m_2 = 1$ показаний на рис.1



З рівняння (15) отримаємо час досягнення граничної деградації, поклавши $A(t) = a_\tau$, де a_τ - граничне значення ширини розкриття тріщин. Іншими словами, отримаємо модель прогнозу життєвого циклу в формі (2):

$$T_l = \left(\frac{a_\tau - a}{a \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot m \cdot s} \right)^{0,5}, \quad (16)$$

де T_l - термін служби елемента, що прогнозується.

В табл.4 наведені дані прогнозу життєвого циклу залізобетонного елемента з попередньо напруженою арматурою при $m = m_1 = m_2 = 1$.

Таблиця 4. Модельний приклад

	Час досягнення граничної деградації				
Значення граничної ширини розкриття тріщини a_r , см	0.002	0.004	0.006	0.008	0.02
Термін служби, що прогнозується, роки	78.78	52.52	40.12	32	0

Висновки

1. Показано, що розповсюджені детерміністичні моделі деградації, побудовані на основі класичних рівнянь аналітичної теорії дифузії, є достатньо обґрунтованими. Проте їх практичне застосування обмежене по причині значної чутливості моделей до значень вихідних параметрів.

2. Як альтернатива, в роботі пропонується модель життєвого циклу єдиним параметром якої є ширина розкриття тріщин. Виконані тестові приклади демонструють достатню реалістичність прогнозів терміну служби елемента. Можливо вважати, що після статистичного обґрунтування моделі, вона може бути рекомендована до практичного застосування.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора Лантуха-Лященко А.І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисиль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: 1990 – 316 с.
2. Бліхарський З.Я., Стацук М.Г., Малик О.М. Моделювання корозійних руйнувань залізобетонних балок в агресивному середовищі. Зб. Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж. Донецьк: 2003. С. 318 – 324.
3. Васильев А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов // Сб. Труды ЦНИИС, вып. №208. – М.: 2002. – С. 101 – 120.
4. Васильев А.И. Системный подход к натурным исследованиям эксплуатируемых мостов // Сб. Труды ЦНИИС, вып. №208. – М.: 2002. – С. 70 – 84.

5. *ВБН В.3.1-218-174-2002*. Мости та труби. Оцінка технічного стану мостів, що експлуатуються. - Державна служба автомобільних доріг України. – К.: 2002. – 74 с.
6. *ДБН В.2.3 -2002*. Мости і труби. Обстеження і випробовування. Держбуд України. – К.:2002.
7. *ДБН В.2.3-14: 2006*. Мости і труби. Правила проектування. – Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. – К.: 2006. – 359 с.
8. *Лантух-Лященко А.І.* О прогнозе остаточного ресурса моста // *Зб. Дороги і мости*. – К.: ДерждорНДІ, вип. 7, т.2. 2007. – С. 3–9.
9. *Лантух-Лященко А.І.* Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів // *Зб. Дороги і мости*. Вип. 9, ДерждорНДІ – К.:, 2008. – С.12-18.
10. *Лучко Й.Й., Глагола І.І., Козаревич Б.Л.* Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд. – Львів: Каменяр, 1999. – 229 с.
11. *Маринин М.Н.* О построении кинетической модели карбонизации железобетонных конструкций транспортных сооружений. Математическое моделирование и краевые задачи. Труды Третьей Всероссийской научной конференции. Ч.1: Самара.- СамГТУ, 2006. – С. 145-148.
12. *Руководство по определению диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа*. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1974. – 20с.
13. “*New Approach to Durability Design*” CEB Bulletin d’Information No.238, 1997.
14. *CEB-FIP “Model Code 1990”*, Thomas Telford, 1993, 437 pp.
15. *EN 1990-2001*. Eurocode: Basis of Structural Design. – Brussels: CEN, 2001.- 89 p
16. *EUROPEAN PRESTANDARD ENV 1991-1-1*. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 1: Basis of design.-European Committee for Standardization. Brussels.- 85 p
17. *Lounis, Z., and Madanat, M.S.* “Reliability-based service life prediction of deteriorating concrete structures”.- Pros/ 3rd Int. Conf. on Concrete under Severe Conditions, Vol.1, 2001. 965-972
18. *New Approach to Durability Design* CEB Bulletin d’Information No.238,1997.
19. *Lantoukh-Liaschenko A.* Reliability based Service Life Prediction of Concrete Bridge Superstructures. Proceeding “EKO MOST 2006. Durable bridge structures in the environment”, Kielce, 16-17 May 2006/ WARSZAWA 2006. – ISBN 83-89252-85-6: p.255-261
20. *Service-Life Prediction / - State of the Art Report/ Reported by ACI Committee 365// ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. 2001*
21. *Steen Rostam* “Service life design – The European Approach”. Concrete
22. *Takewaka, K. and Mastumoto, S.*, “Quality and Cover Thickness of Concrete based on the Estimation of Chloride Penetration in Marine Environments”, ACI SP 109-17, American Concrete Institute, 1988, pp. 381-400.

Петрович В.В., к.т.н.

Артеменко В.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЧАСОВОГО РЯДУ КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ МЕТОДОМ РЕКУРРЕНТНИХ ГРАФІКІВ

Анотація. Проведені дослідження часових рядів кліматичних даних за допомогою нової та ефективної розробки нелінійного аналізу – рекуррентних графіків.

Ключові слова: часовий ряд кліматичних даних, рекуррентні графіки.

Аннотация. Проведенны исследования временных рядов климатических данных с помощью новой и эффективной разработки нелинейного анализа – рекуррентных графиков.

Ключевые слова: временной ряд климатических данных, рекуррентные графики.

Abstract. The research climate data time series using a new and effective development of nonlinear analysis – recurrent graphs.

Keywords: time series of climatic data, recurrent graphs.

Вступ. Різноманітні природні явища та процеси у більшості випадків являють собою динамічні системи зі складною поведінкою. При цьому складність таких явищ та процесів проявляється на різних просторових та часових масштабних рівнях.

Як правило, природні явища та процеси не можуть бути описані за допомогою лінійних моделей, ні навіть за допомогою надмірно ідеалізованих нелінійних моделей.

Сучасний апарат нелінійної динаміки має багато методів аналізу часових рядів зі складною поведінкою [1]. Однак більшість таких методів вимагає достатньо довгих та стаціонарних рядів експериментальних даних, що не є характерним для серій натурних вимірів багатьох природних процесів, у тому числі і кліматичних.

Зважаючи на це, особливо актуальним є застосування достатньо простих, але в той же час і глибоких методів дослідження часових рядів кліматичних даних для подальшої побудови прогнозової моделі їх поведінки.

Одним із таких сучасних методів аналізу, що використовується в останнє десятиріччя, є метод рекуррентних графіків (далі RP-recurrent plots). Методика побудови RP базується на фундаментальних властивостях динамічних систем, але при цьому може оперувати досить короткими часовими рядами.

Крім того, виконання умови стаціонарності для часових рядів, що досліджуються, не є обов'язковим.

RP також досить зручні для виявлення різного роду нестационарностей у достатньо складних часових рядах. Тобто за допомогою RP можна виявляти зміну якісної поведінки короткого ряду з часом (визначати можливі фазові переходи).

Як відомо, навіть досить малі збурення у складній динамічній системі можуть викликати експоненціальне відхилення від її попереднього стану. Однак з часом така система намагається або повернутися до стану, який є достатньо близьким до її попереднього стану, або проходить подібні ступені розвитку. RP дозволяє також візуалізувати таку рекуррентну поведінку (поведінку, що повторюється у часі).

Незважаючи на те, що складні динамічні системи містять декілька змінних, а поведінка таких систем визначається великим числом різних взаємодій, навіть одна із змінних вже дає істотну інформацію про динаміку системи в цілому. Тому за допомогою побудови фазової траєкторії, використовуючи навіть одну змінну, можна відновити топологію повної фазової траєкторії (ніби використовувались всі змінні даної системи). Зважаючи на те, що складні динамічні системи, як правило, багатомірні, перевага RP-аналізу саме й полягає в тому, що з'являється можливість дослідження M -розмірної траєкторії фазового простору за допомогою двох- або трьохвимірних підпросторів.

Методологія інтерпретації рекуррентних графіків

Побудова RP обґрунтована класичною теоремою рекуррентності Пуанкаре.

За останній час з'явилося багато літератури щодо методів побудови та використання RP у різних областях науки та техніки [2, 3 та ін.]. Згідно фундаментальних основ RP-аналізу, рекуррентність стану в момент I при різних значеннях часу J відтворюється всередині двохвимірної квадратної

матриці з чорними та білими точками, де чорні точки визначають присутність рекуррентності.

Значення часу на графіках відкладається вздовж обох осей.

Математично це визначається як

$$\begin{aligned}\vec{R}_{I,J} &= H(E_I - \|\vec{X}_I - \vec{X}_J\|); \\ \vec{X}_I &\in \overline{\mathfrak{R}^M}; \\ \vec{X}_J &\in \overline{\mathfrak{R}^M}; \\ I &= 1, \dots, N; \\ J &= 1, \dots, N,\end{aligned}\tag{1}$$

де $H(\cdot)$ – функція Хевісайда;

$\|\cdot\|$ – норма (відстань);

N – довжина ряду, що досліджується;

$\mathfrak{R}^M$ – M -вимірний (лінійний простір).

Діагональ, що повністю складається з чорних точок та розміщена під кутом $\pi/4$, носить назву лінія тотожності.

Особливо слід зазначити, що окремі рекуррентні точки $\vec{R}_{I,J}$ не несуть певної інформації про стани у моменти часу I та J відповідно, і лише у своєму зібранні (узорі) дозволяють реконструювати властивості процесу (динамічної системи).

Зрозуміло, що на практиці неможливо виявити абсолютно рекуррентні стани $\vec{X}_I \equiv \vec{X}_J$, тому звичайно вважається, що стан $\vec{X}_I$, буде рекуррентним стану $\vec{X}_J$, якщо вони опиняються достатньо близько один до одного.

Так, вектори $\vec{X}_J$, що попадають у M -вимірне оточення (окіл), наприклад, куля у L_2 -нормі радіуса E_i з центром на значенні $\vec{X}_I$, вважаються рекуррентними і, відповідно, утворюють рекуррентні точки.

При визначенні M -вимірного оточення у формі кулі фіксованого радіуса RP будуть симетричні відносно $\frac{\pi}{4}$ -діагоналі, оскільки, якщо $\vec{X}_I$ є близьким до $\vec{X}_J$, то справедливе і зворотне.

Для зручності в інтерпретації RP величину E_I у даному дослідженні приймали постійною та рівною $E_I = 0,1$, або 10% згідно (1).

В RP виділяють два основних класи структур – топологію та текстуру. Топологія відповідає крупномасштабним структурам, а текстура – мілкмасштабним.

Топологію підрозділяють на топологію однорідну, дрейф, діагонально-орієнтовані періодичні структури (так звана “шахматна” топологія) та топологію контрастну (див. рис. 1).

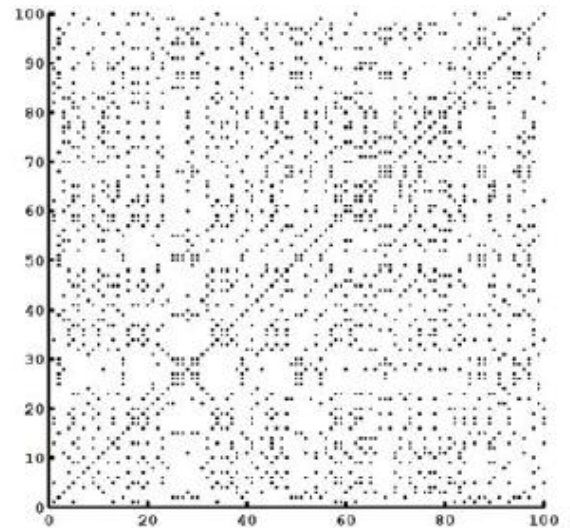
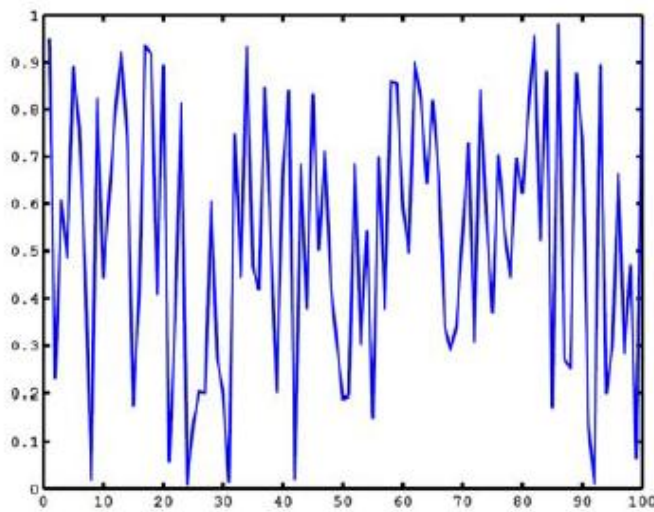


Рис. 1а

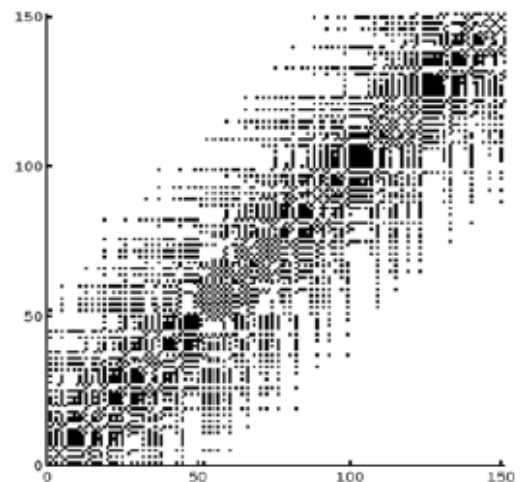
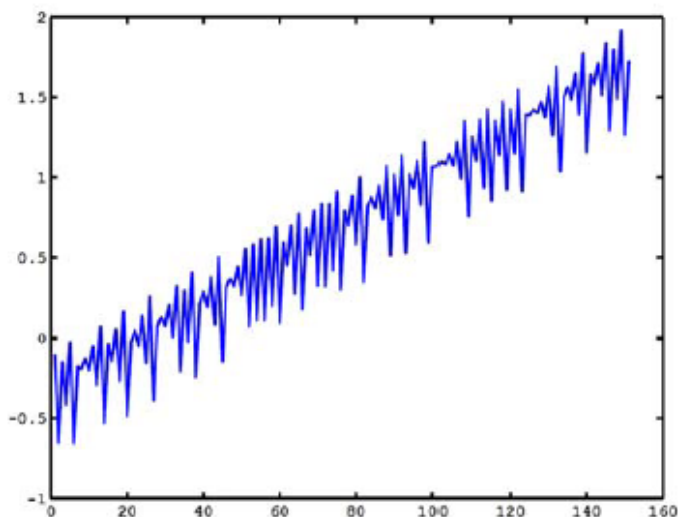


Рис. 1б

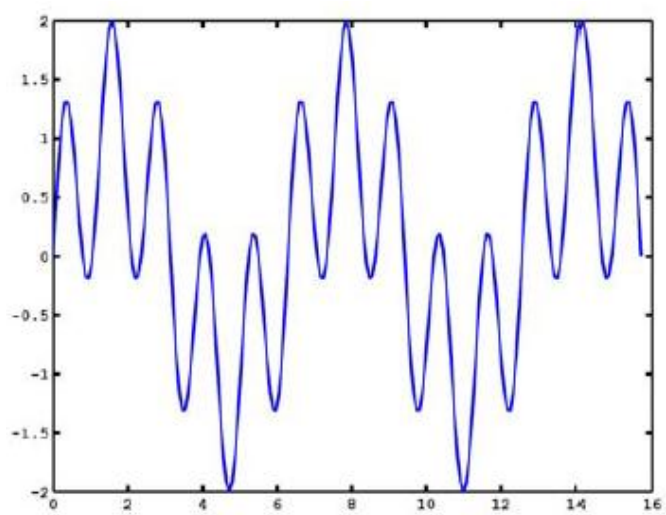


Рис. 1в

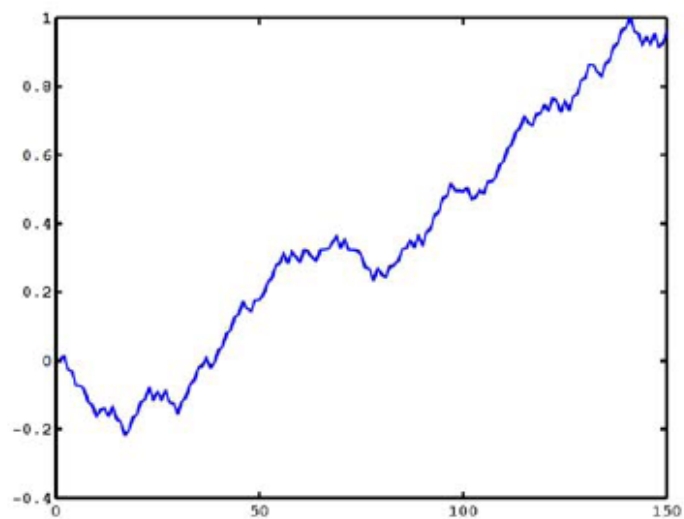
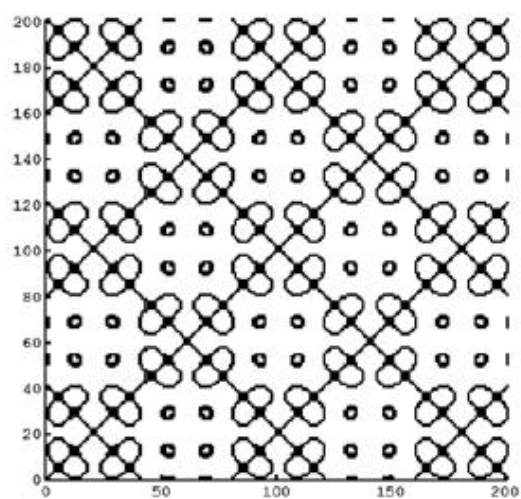


Рис. 1г

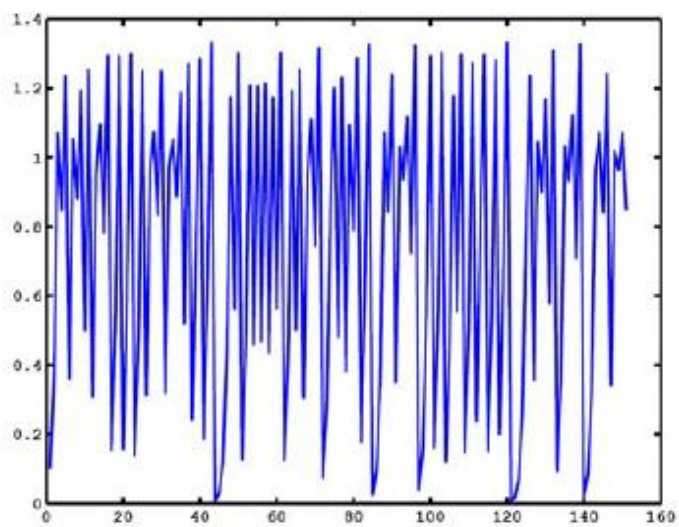
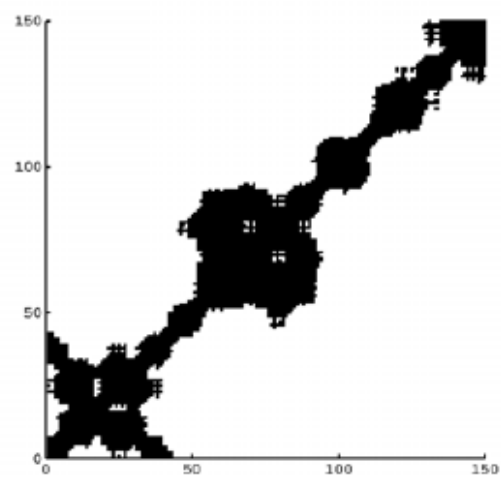
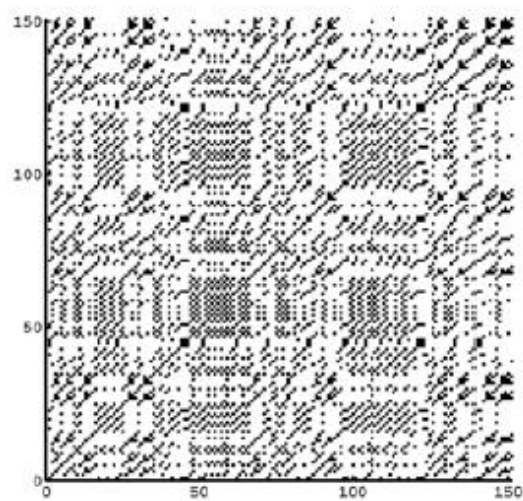


Рис. 1д



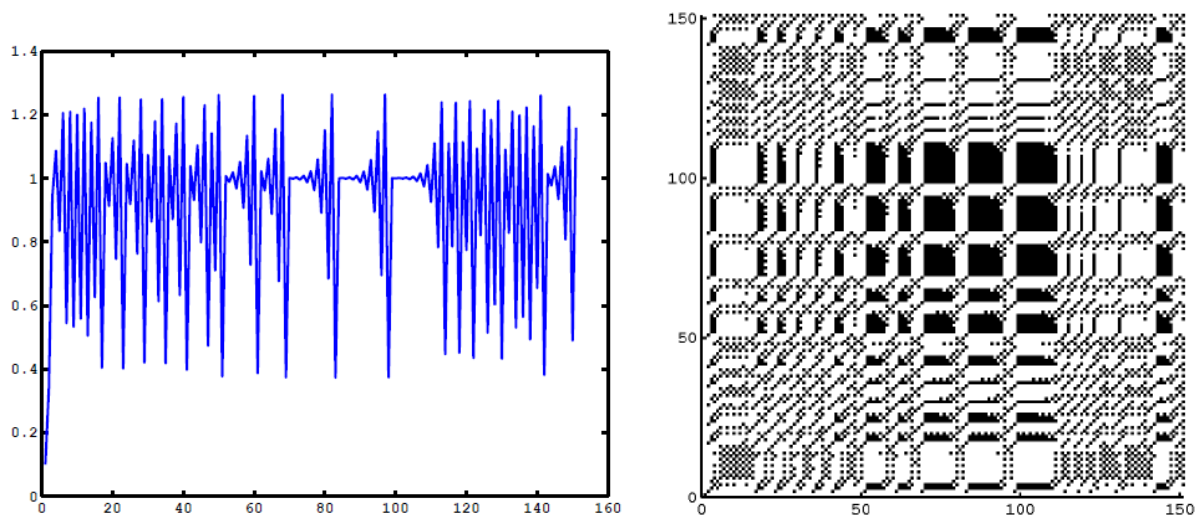


Рис. 1е

Однорідна топологія (рис. 1а) є характерною для стаціонарних та автономних динамічних систем, коли всі характеристичні часи (часи релаксації) досить незначні по відношенню до довжини ряду (є невеликими у порівнянні із інтервалом часу, що задіяний у побудові RP). Дрейф (рис. 1б) є характерним для динамічних систем, які не володіють абсолютною однорідністю, але містять параметри, які змінюються дуже повільно. У цьому випадку на RP має місце характерна зміна “яскравості” зображення від нижнього правого та верхнього лівого кутів. Діагонально-орієнтовані періодичні структури (рис. 1в) звичайно характеризують осцилюючі системи. Контрастна топологія (рис. 1г) характерна для різких змін динаміки процесу, нестаціонарності. У цьому випадку на RP з’являються характерні “білі” зони, що дає можливість говорити про появу екстремальних та рідких подій.

Текстури на RP можуть бути як у вигляді окремих точок, так і у вигляді ліній (вертикальних, горизонтальних та діагональних).

Окрема точка характеризує стан, що нетривало існує у часі (характеризує окремий, рідкий стан). Тому якщо RP повністю складається із окремих точок, процес є випадковим (див. рис. 1а).

Діагональні лінії довжиною L математично визначаються як

$$\vec{R}_{I+K, J+K} = 1, \quad (2)$$

де $K = 1, \dots, L$,

та відповідають ситуації, коли деяка частина фазової траєкторії пролягає паралельно іншій (траєкторія повторює саму себе, проходячи по одній і тій самій області фазового простору у різні відрізки часу).

Довжина діагональної лінії відповідає часовому масштабу локальної близькості ділянок траєкторії, а її нахил – часовому рознесенню, характеризуючи внутрішній час даного процесу.

Якщо діагональна лінія паралельна діагоналі $\pi/4$ (див., напр., рис. 1в), то частини траєкторії паралельні одна до одної в однакові відрізки внутрішнього часу для двох даних частин траєкторії, а якщо діагональна лінія перпендикулярна діагоналі $\pi/4$ – напрямки розвитку частин траєкторії протилежні.

Нерегулярні прояви діагональних ліній характеризують хаотичний процес (див. рис. 1д), а вертикальні (горизонтальні) лінії та їх скупчення відповідають інтервалам часу, за які стан системи практично не змінюється (спостерігається певна “ламінальність” системи), що видно з рис. 1е.

Нерегулярні прояви “чорних” або “білих” зон може означати кореляцію шумів (рис. 1г).

RP-аналіз часового ряду метеорологічної інформації

Як свідчать багаторічні натурні спостереження, втрата міцності ґрунтів верхньої частини земляного полотна, значні деформації укосів високих насипів та глибоких виїмок безпосередньо пов’язані з агресивною дією атмосферних вод [4,5,6].

Атмосферні опади викликають активізацію зсувів схилів, що загрожує нормальному функціонуванню гірських автомобільних доріг.

Тому інформація щодо зміни кількості атмосферних опадів у часі та її подальший аналіз має практичне значення і може бути використана при плануванні спеціальних заходів щодо підвищення стійкості земляного полотна в складних інженерно-геологічних та гідрологічних умовах.

Проаналізуємо систему, що генерує ряд опадів у часі.

Як методичний приклад, розглянемо річні (сумарні за рік) значення кількості атмосферних опадів у м. Києві, починаючи з 1860 року та закінчуючи 2000 роком включно ($T = 140$ років). Графік часового ряду опадів наведений на рис. 2.

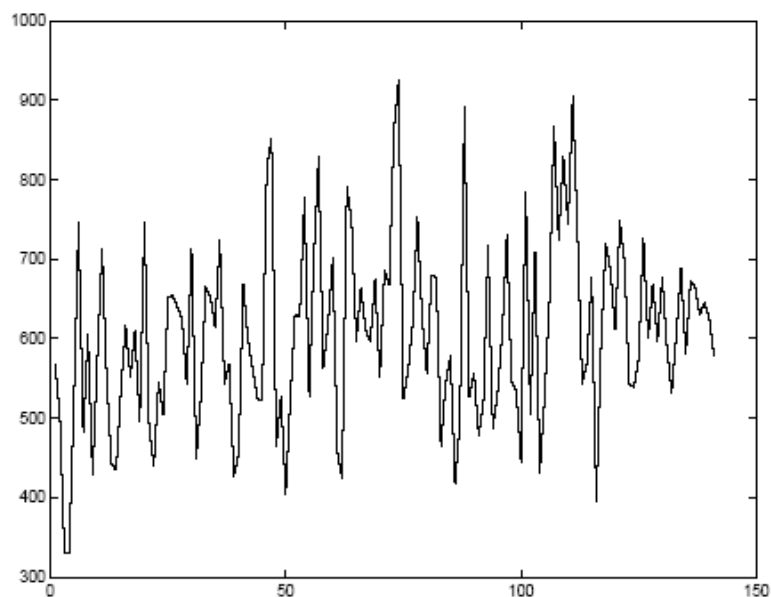


Рис. 2

Як бачимо, з вигляду цього графіка неможливо зробити певних висновків стосовно одержаної інформації, хіба що відмітити складність процесу, що аналізується. Фур'є-аналіз та вейвлетний аналіз у даному випадку дають мало, що пов'язане перш за все з недостатньою довжиною ряду.

Рекуррентний графік для цих же даних наведений на рис. 3.

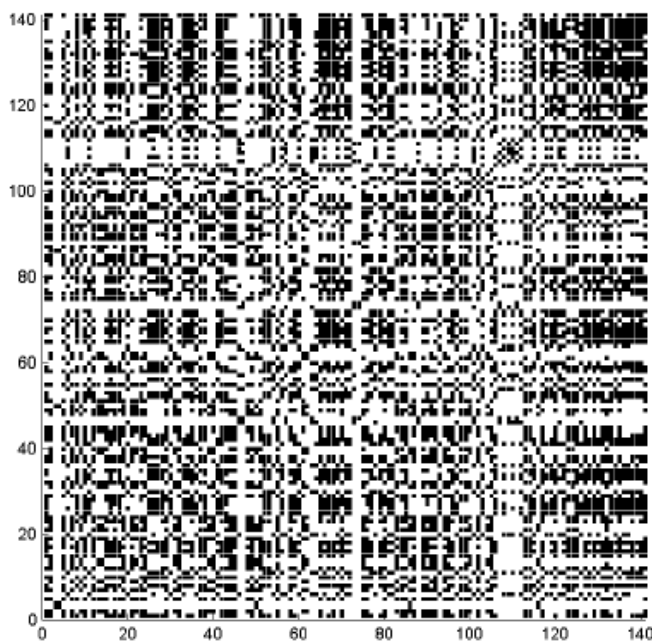


Рис. 3

Побудову RP (рекуррентних картин) здійснювали за програмою, що реалізує основні положення RP-аналізу даних згідно (1). Програма складена на мові MATLAB.

Перед побудовою RP вихідний ряд даних підлягав рівномірному нормуванню до одиниці. З цією метою у ряді знаходили максимальне значення, а далі значення всіх складових цього ряду ділили на це максимальне значення.

Як було зазначено вище, якщо два значення ряду відрізняються на 10% або менше, вони вважаються рекуррентними, а якщо вони відрізняються більше, ніж на 10% – не рекуррентними. Безпосередньо перший висновок, який можна зробити з попереднього аналізу цього RP-процес опадів у часі не є випадковим. Зазначимо, що за допомогою інших методів аналізу так просто неможливо встановити той факт, що даний часовий ряд не породжується випадковим процесом, тобто маємо певні закономірності у поведінці ряду (нехай і достатньо складні).

З метою перевірки цього факту порівнюємо графіки даних, що були згенеровані за допомогою функцій MATLAB `rand( )` і `randn( )` та наведені на рис. 4 та рис. 5.

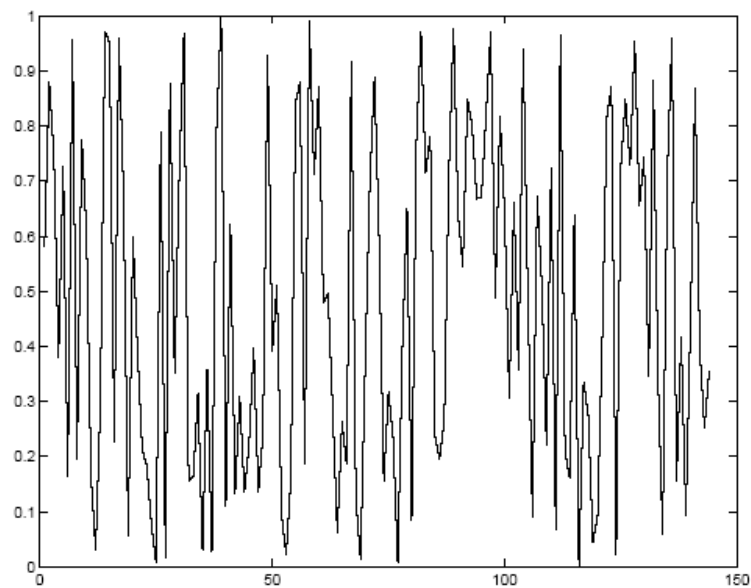


Рис. 4

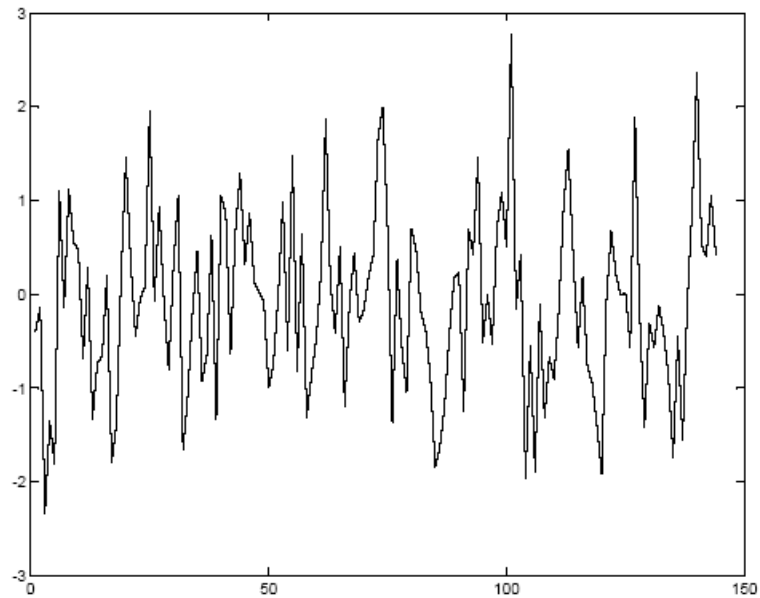


Рис. 5

Відповідні RP для цих даних наведені на рис. 6 та на рис. 7. Функції `rand( )` та `randn( )` генерують випадкові числа за різними алгоритмами.

Як бачимо, RP (рис. 6 та рис. 7) відповідають графіку, наведеному на рис. 1а, тобто свідчать про випадковість процесу, але не мають нічого спільного з RP, що характеризує часовий ряд атмосферних опадів (див. рис. 3).

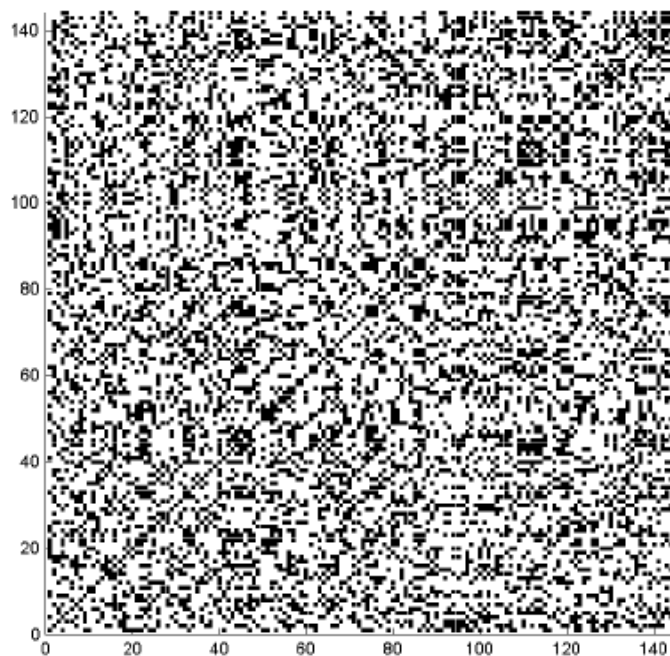


Рис. 6

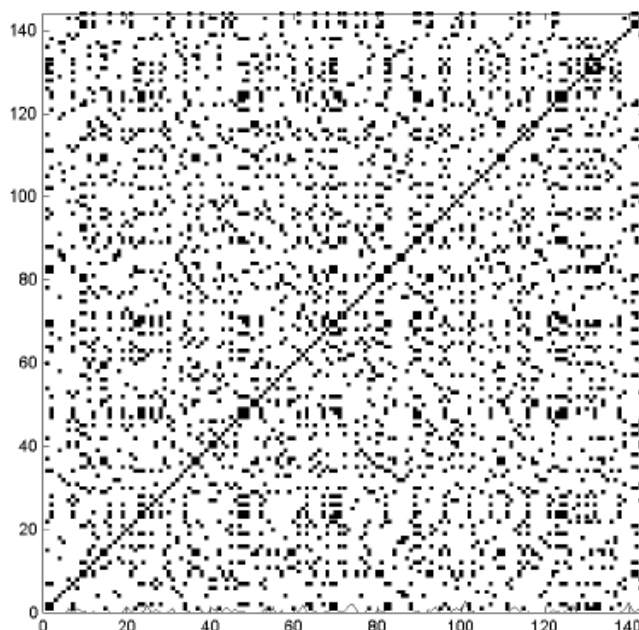


Рис. 7

Аналізуючи більш детально RP на рис. 3, відмічаємо чіткий фазовий перехід, тобто якісну зміну поведінки даної динамічної системи з часом (середнє значення складає біля 110 років), що відповідає $1860+110=1970$ року. При цьому зміна поведінки системи йде поступово, охоплюючи проміжок часу у 7...8 років. Таким чином, другий важливий висновок відносно часового ряду атмосферних опадів полягає у тому, що за допомогою RP можна визначати якісну зміну (або зміни) у поведінці даної системи. У нашому випадку зміна відбулась у період 1965...1966 і до 1973...1974 років.

Так, RP “білий хрест” шириною біля 8 років чітко розділяє дві якісно різних за поведінкою ділянки цього часового ряду. При цьому білий колір “хреста” ясно вказує на те, що у перехідний період рекуррентність відсутня.

Підтвердженням цього висновку є результати масштабної обробки даних метеостанцій України з метою оцінки взаємозв’язку кліматичних умов окремих регіонів і появою та розвитком деформацій земляного полотна [4].

Згідно цих досліджень, абсолютний максимум опадів також припадав на середину 60-х років минулого сторіччя (так званий віковий максимум). У цей період спостерігалися масові деформації земляного полотна у Карпатах та у Криму, локальні руйнування високих насипів. Про важливість правильної оцінки та подальшого прогнозу кількості атмосферних опадів у часі свідчать прорахунки, що були зроблені при проектуванні ділянок автомобільної дороги

Полтава – Кишинів. Були прийняті помилкові рішення щодо дренажу, що у подальшому спричинило появу значних деформацій укосів насипів та виїмок [4].

Якщо у період з 1965 і до 1974 років поведінка часового ряду опадів якісно змінилась, при побудові прогнозової моделі буде помилковим використання цілого ряду спостережень (1860-2000 роки). Починаючи з 1974 року така модель може бути розроблена тільки за даними 1974-2000 років.

Слід також відмітити певний глобальний прояв фазового переходу, що спостерігався у період середини 60-х років у більшості регіонів України [4] та в Молдавії.

Далі розглянемо інше, теж дуже важливе, питання обробки даних натурних спостережень. Як відомо, у більшості випадків експериментальні дані не можуть бути одержані з абсолютною точністю. Іноді похибка може бути достатньо великою. Прослідкуємо, як впливають неточності (спотворення) даних натурних спостережень на процес появи фазових переходів, що визначаються за допомогою РР.

Перш за все відквантуємо вихідні дані. Для цього всім значенням від нуля до 100 присвоїмо значення 100, всім значенням від 101 і до 200 – значення 200, і тому подібне до значення 1000.

Оскільки вихідні значення у даному часовому ряді не перевищували 1000, максимальне значення квантування теж буде дорівнювати 1000.

Таким чином, квантовані вихідні дані будуть приймати 10 значень: перше дорівнює 100, друге – 200, ... десяте – 1000.

Графік квантованих вихідних даних наведений на рис. 8.

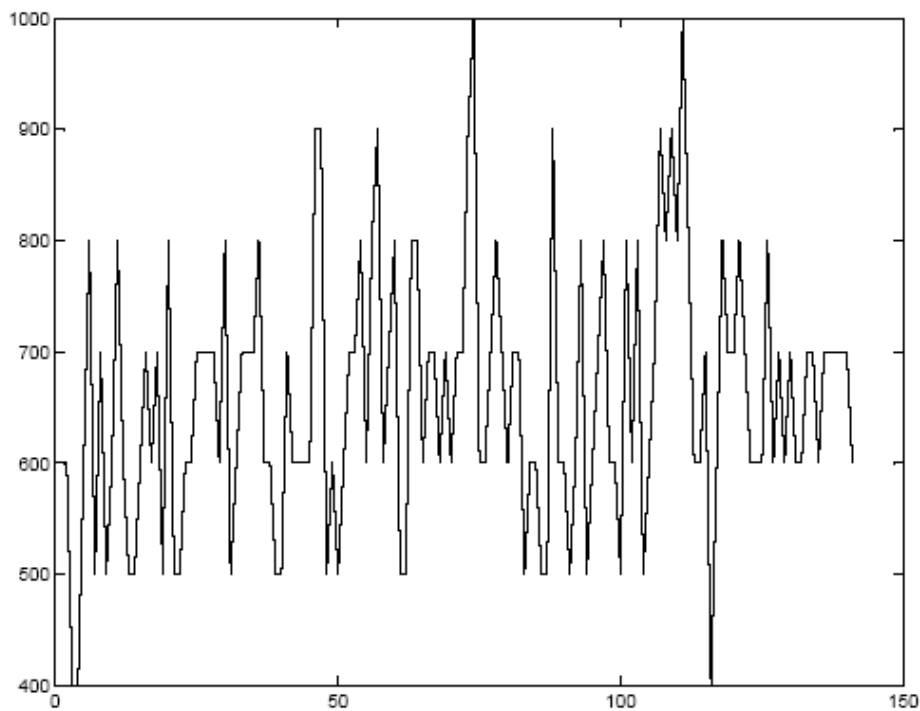


Рис. 8

Як бачимо, цей графік несе ще менше інформації, ніж графік на рис. 2. Побудуємо для квантованих даних відповідний RP з $E_i = 10\%$ (див. рис. 9).

Навіть для відквантованих певним чином даних чітко можна визначити фазовий перехід, що спостерігається при тому ж значенні 110 років (“білий хрест” знаходиться у тому самому проміжку часу, як і на рис. 3). Тобто спотворення вихідних даних (навіть значні, як у даному методичному прикладі) все ж дозволяють досить чітко одержувати картину якісної зміни у поведінці системи з часом.

З точки зору практичного застосування методу RP така зовсім невелика чуттєвість до помилок у вхідних даних дає можливість вважати цей метод досить перспективним при вивченні складних кліматичних та гідрологічних процесів.

Враховуючи відомий факт, що на атмосферні явища певним чином впливають зміни у поведінці Сонця, проаналізуємо також часовий ряд середньорічних чисел Вольфа, починаючи з 1860 року і до 2000 року включно (рис. 10).

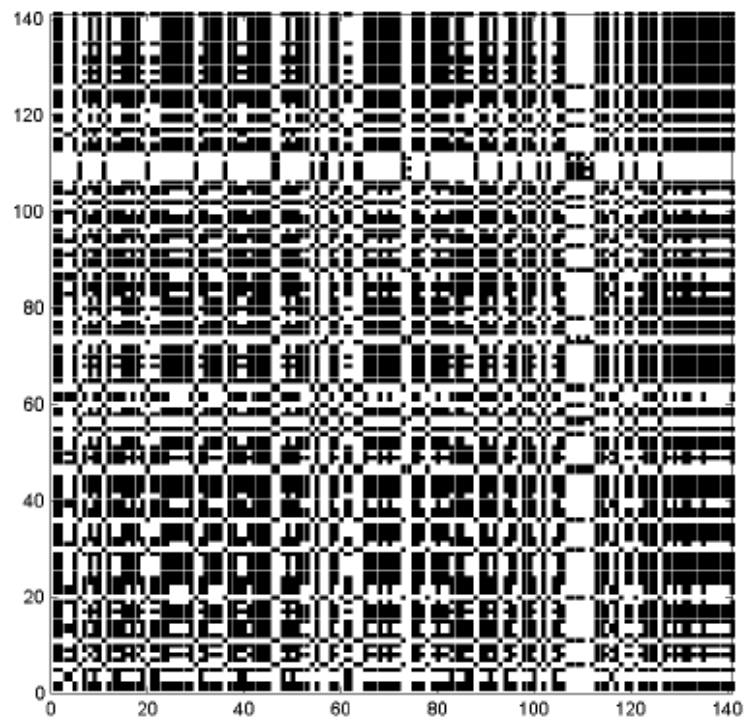


Рис. 9

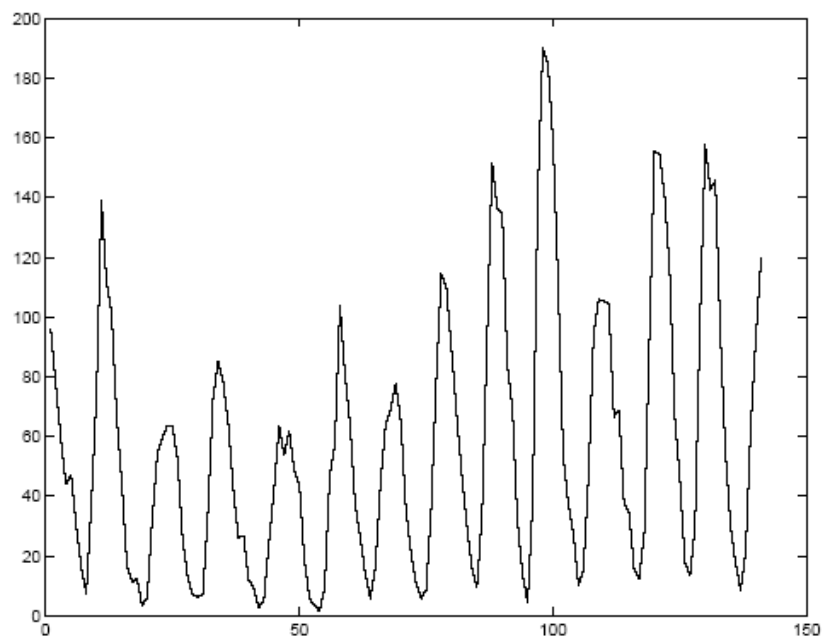


Рис. 10

Побудований RP для цього часового ряду ($T=140$ років) наведений на рис. 11.

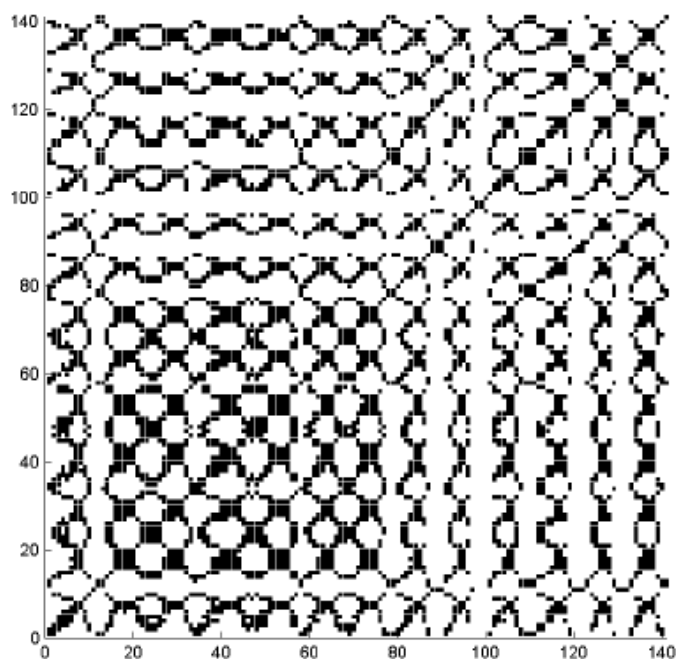


Рис. 11

Як видно, графік на рис. 11 підтверджує відому картину сталої періодичності процесу зміни значень чисел Вольфа.

Проведений в [7] аналіз різких змін сонячної активності та переломів ходу річних сум атмосферних опадів лише дав підставу для утвердження реальності зв'язків цих процесів. Однак конкретний вплив коливань сонячної активності на процеси зміни кількості атмосферних опадів у часі не обговорювався.

При сумісному аналізі RP (див. рис.3 та рис. 11) слід відмітити згущення чорних точок у вигляді характерних “квадратів” вздовж лінії тотожності, що дає певні підстави говорити про наявність деякого зв'язку між значеннями опадів і сонячною активністю у часі.

Найбільш чітко це видно при значенні $T=110$ років, тобто у період вікового максимуму атмосферних опадів.

Зазначимо лише, що такий зв'язок досить складний та має певну “затримку” у часі. Цю “затримку” можна визначати на RP при сумісному їх порівнянні.

Висновки

1. Проведені дослідження часових рядів кліматичних даних за допомогою нової та ефективної розробки нелінійного аналізу – рекуррентних графіків.
2. При дослідженні часового ряду гідрометеорологічних даних по м. Києву чітко фіксується фазовий перехід на новий рівень динамічної поведінки цієї кліматичної системи починаючи з 1974 року. У зв'язку з цим подальша

побудова прогнозової моделі цієї системи повинна базуватись тільки на даних спостережень за 1974...2010 роки відповідно.

3. Нелінійний аналіз часового ряду сонячної активності (чисел Вольфа) за допомогою графічного інструмента рекуррентних графіків теж виявив фазовий перехід, що приблизно припадає на той самий часовий інтервал, як і у ряді атмосферних опадів.
4. Процес опадів у часі не є періодичним (у класичному розумінні цього поняття), але також не є випадковим, і говорити про “циклічність” цього процесу слід з позицій динамічного хаосу. Для встановлення закономірностей у поведінці часового ряду атмосферних опадів необхідно провести додаткові дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малинецкий Г.Г., Пономов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС. – 2000. – 336 с.
2. *Norbert Marwan.* Encounters with Neighbours. Current Developments of Concepts Based on Recurrence Plots and their Applications. – Diss. ... Dr. Rer. Nat. – Institut fur Physik, Universitat Potsdam, 2003. – 159 p.
3. *Norbert Marwan, M. Carmen Romano, Marco Thiel, Jurgen Kurths.* Recurrence Plots for the Analysis of Complex Systems. – Physics Reports, 2007, 438, p. 237-329.
4. *Литвиненко А.С., Заворицкий В.И., Артеменко А.В.* Цикличность изменения погодноклиматических условий и эксплуатация земляного полотна // Автомобильные дороги. – 1989. – №11. – С.10-12.
5. *Заворицкий В.И., Петрович В.В., Касків В.І.* Дослідження впливу дії атмосферних опадів на земляне полотно автомобільних доріг для різних регіонів України // Таврійський вісник. – 1996. – Вип. 1. – С. 488-489.
6. *Савенко В.Я., Касків В.І.* Вплив опадів на розподіл вологості ґрунтів верхньої частини земляного полотна // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1997. – Вип. 54. – С.10-16.
7. *Дружинин И.П., Хамьянова Н.В.* Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле. Статистический анализ. – М.: Наука, 1969. – 224 с.

ШТУЧНІ ТА ПІДЗЕМНІ ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

УДК 625.745.2

Чечуга О.С., Каськів В.І., Грабчук С.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ВОДОПРОПУСКНОЇ ТРУБИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЇЇ ОБПИРАННЯ

Анотація. У статті наведені результати досліджень згинальних моментів, що виникають в елементах труби при різних умовах її обпирання.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; водопропускна труба; основа.

Аннотация. В статье приведены результаты исследований изгибающих моментов, возникающих в элементах трубы при различных условиях ее опирания.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; водопропускная труба; основание.

Abstract. This article presents the results of bending moments arising in the culverts elements under different conditions it based.

Key words: road; embankment; culverts; basis.

Проблема розрахунку труб, укладених тим чи іншим способом у землю, вже давно привертає до себе увагу численних дослідників, що присвятили їй велике число робіт і створили ряд різних методів розрахунку. Більшість публікацій датується серединою і другою половиною минулого сторіччя. Складність проблеми полягає у великій кількості чинників, що впливають на величину і розподіл навантажень, що передаються на трубу, а також чинників, від яких залежить несуча здатність труби. На відміну від наземних конструкцій розрахункова схема підземної споруди, зокрема труби, що знаходяться у земляному середовищі, повинна відображати взаємодію цієї споруди з оточуючим її ґрунтом, оскільки вони працюють спільно. Ґрунт є не тільки навантаженням, але також і середовищем, в якому протікають деформації

труби, і передається тиск від автотранспорту, що рухається. Крім того, це середовище саме деформується разом із спорудою.

У статті виконано дослідження впливу на роботу системи “насип - водопропускна труба - основа” жорсткості основи системи та наявності фундаменту, а також величини обхвату труби спланованим ложем або фундаментом. У дорожньому будівництві можна виділити два способи обпирання водопропускної труби (варіювання показників яких прийнято до розрахунків):

а) трубу укладають на спрофільовану за формою труби основу з природного (часто на з'їздах) або насипного піщаного або піщано-гравійного ґрунту.

б) труба обпирається на фундамент. Трубу укладають на лекальні залізобетонні блоки або монолітний бетонний фундамент, під яким влаштовують підготовку (подушку) з утрамбованого щебеню або гравію.

Дослідження виконували за залежностями запропонованими М.В. Малишевим у [1] з врахуванням отриманих авторами залежностей (1), (2) і (3).

Розрахункова схема наведена на рис. 1.

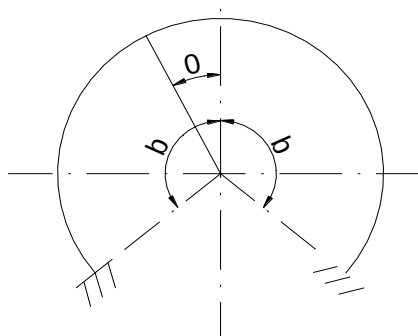


Рис. 1. Розрахункова схема

$$p_0 = \frac{1 + \xi}{1 + \nu_1 + \alpha_2} \gamma h. \quad (1)$$

$$p_2 = \frac{1 - \xi}{2} \gamma h \frac{(k_4 k_3 - 2k_1 k_6)(k_2 - k_1) + (k_3 + k_1)}{k_1(k_5 k_1 - k_2 k_4)}. \quad (2)$$

$$t_2 = -\frac{1 - \xi}{2} \gamma h \left[3 \left(\frac{k_2}{k_1} \left(\frac{k_4 k_3 - 2k_1 k_6}{k_5 k_1 - k_2 k_4} \right) + \frac{k_3}{k_1} \right) - 0,5 \left(\frac{k_4 k_3 - 2k_1 k_6}{k_5 k_1 - k_2 k_4} \right) - 1 \right], \quad (3)$$

де складові формул (1) – (3) детально розглянуті і описані у роботі: "Розробка математичної моделі системи "насип – водопропускна труба – основа" на основі теорії пружності" автор О.С. Чечуга.

Якщо труба, яка має кільцевий переріз, влаштована на бетонному фундаменті, то визначення згинаючих моментів у нижньому напівкільці у перерізі $\frac{\pi}{2} \geq \theta \geq \beta$ виконують за формулами:

$$M_{\theta \geq \beta} = K_1 N_1 R . \quad (4)$$

$$N_1 = R \left(\frac{p_2 + 2t_2}{3} + p_0 \right), \quad (5)$$

де K_1 – коефіцієнт отриманий у [50].

При обпиранні труби на сплановане ложе:

$$M_{\theta \geq \beta} = K_2 N_1 R , \quad (3.4)$$

де K_2 – коефіцієнт отриманий у [50].

Деякі характерні результати розрахунків наведені на рис. 2 – рис. 6.

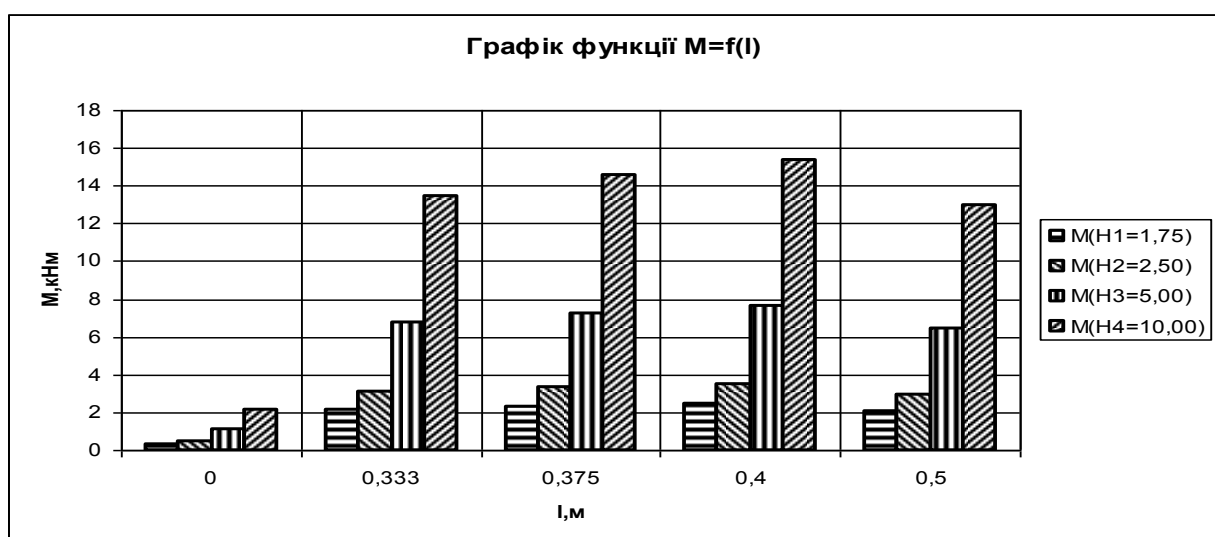


Рис. 2. Залежність згинальних моментів від висоти насипу та кута обхвату при нежорсткій основі

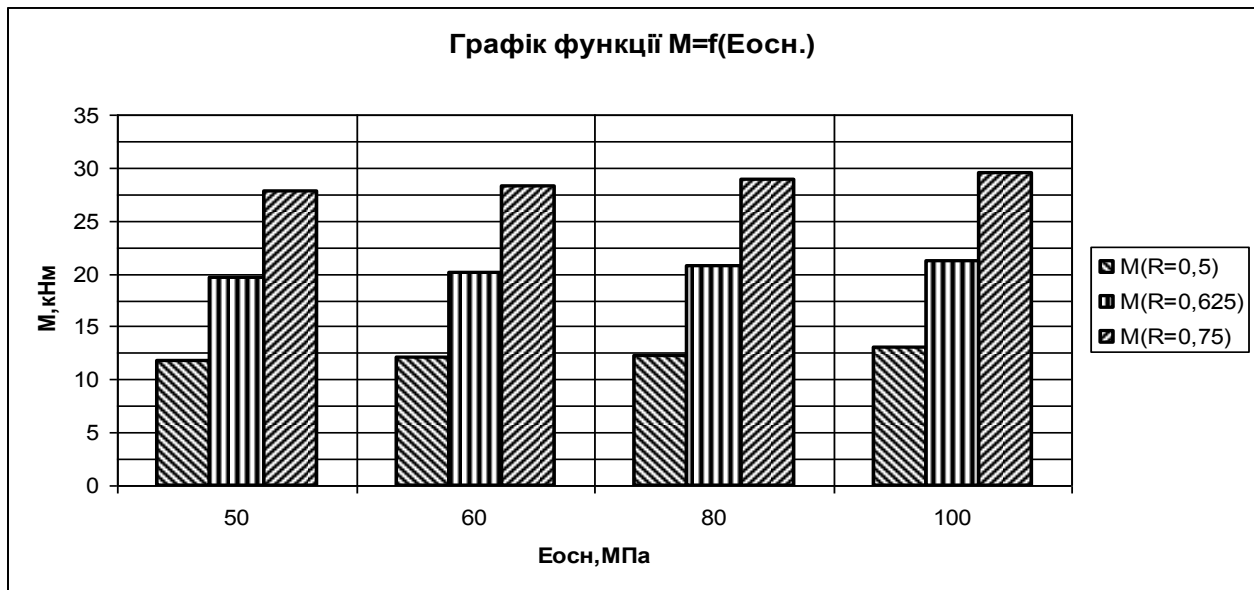


Рис. 3. Залежність згинального моменту від модуля деформації основи та радіуса труби при нежорсткій основі

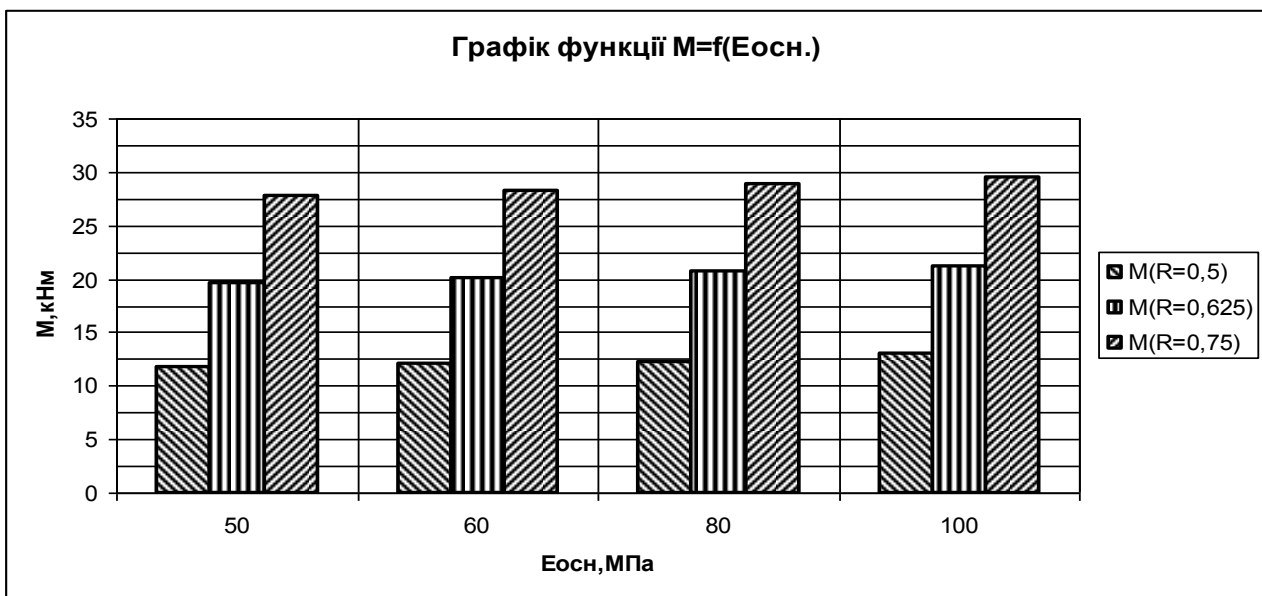


Рис. 4. Залежність згинального моменту від модуля деформації основи та радіуса труби при нежорсткій основі

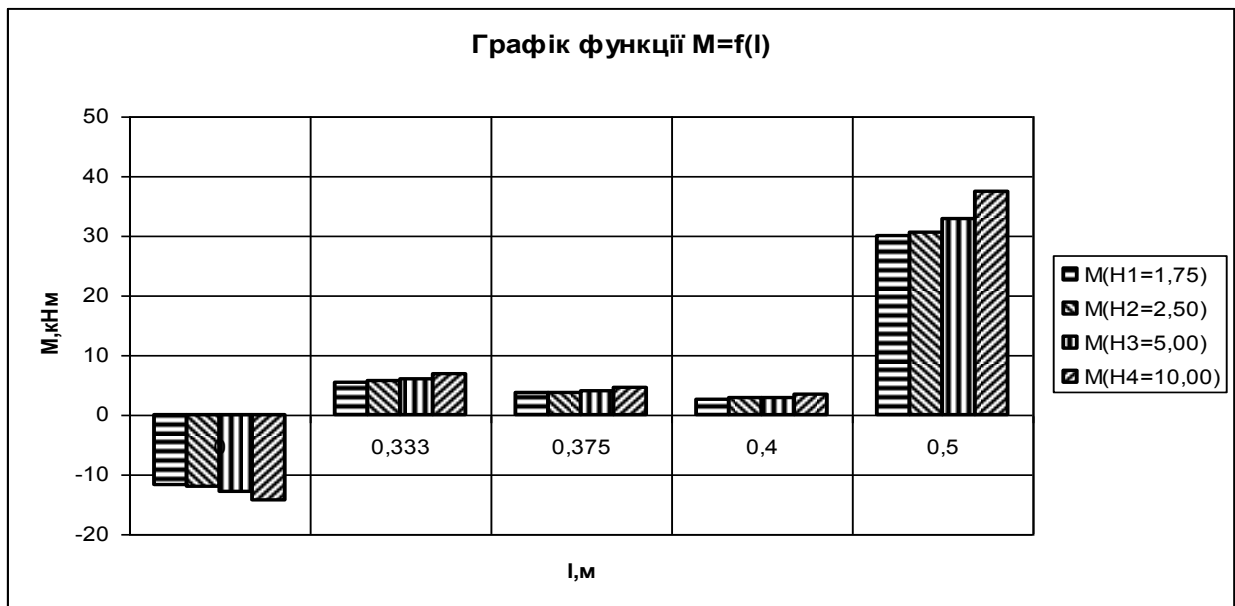


Рис. 5. Залежність згинальних моментів від висоти насипу та кута обхвату при жорсткій основі

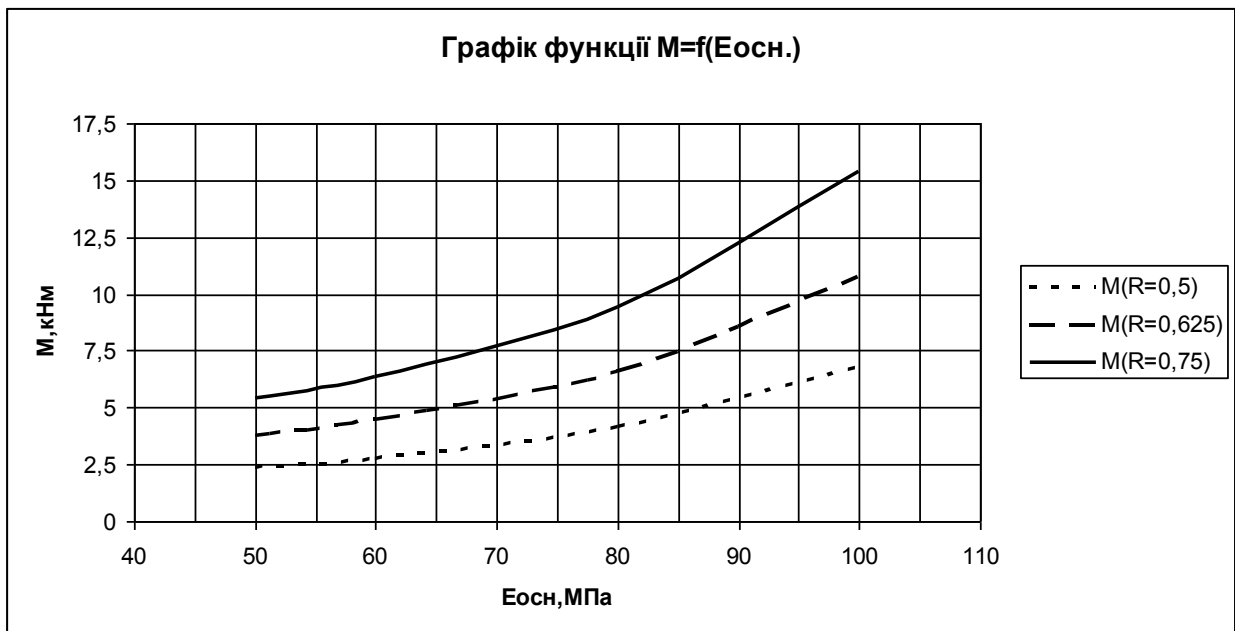


Рис. 6. Залежність згинального моменту від модуля деформації основи та радіуса труби при жорсткій основі

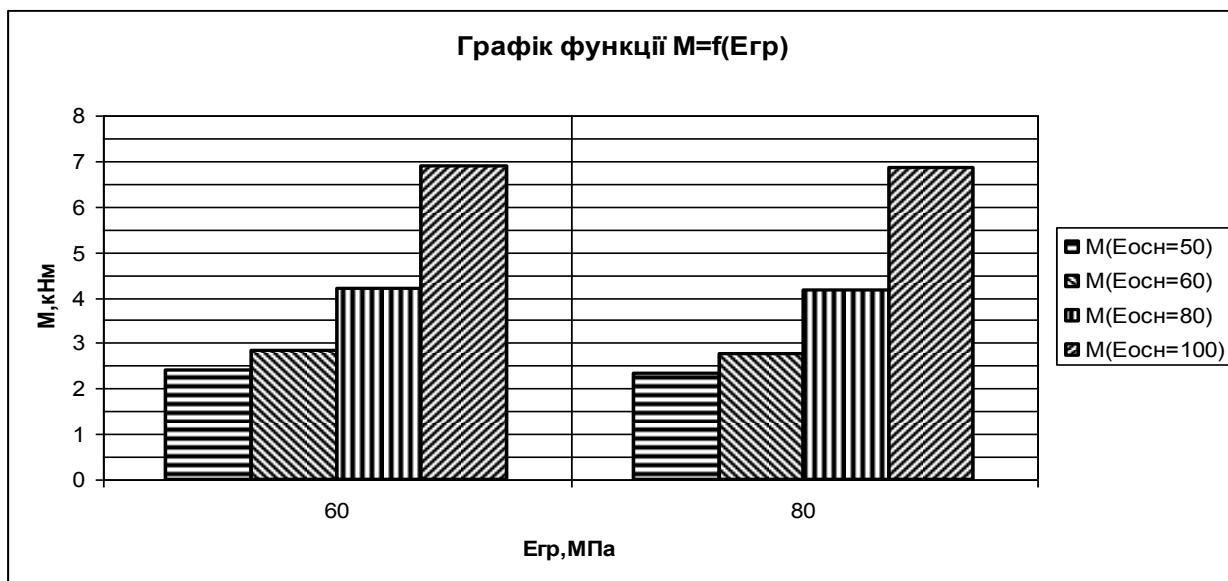


Рис. 7. Залежність згинальних моментів від виду засипки та радіуса труби при жорсткій основі

Висновки

1. При одній і тій же висоті засипки труби з меншим діаметром знаходяться у кращому НДС (всі компоненти менші) порівняно із трубами більших діаметрів.
2. Раціональним кутом обхвату труби при нежорсткій основі є кут 180° в незалежності від висоти насипу і діаметра труби. При жорсткій основі раціональним є кут обхвату близький до 90° і при цьому ґрунт засипки немає значення.
3. Для засипки труби краще використовувати ґрунт, що має більші модуль пружності (деформації) і кут внутрішнього тертя (наприклад пісок), про що свідчать менші величини компонентів НДС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малышев М.В.* Методика статического расчета коллекторов хвостохранилищ и трубопроводов, укладываемых под высокими насыпями / М.В. Малышев // Труды ВОДГЕО. – 1963. – Вып. 4. – С. 3–40 с.

Кірічек Ю.О., д.т.н., Балашова Ю.Б., к.т.н., Легка Н.В.

ЗАСТОСУВАННЯ АРМУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ОРГАНОГЕННИХ ГЛИНИСТИХ ГРУНТАХ

Анотація. Розглядається питання підвищення стійкості земляного полотна автомобільних доріг на слабких органогенних глинистих ґрунтах за допомогою різноманітних методів посилення. На основі кошторисних даних проведений економічний порівняльний аналіз вказаних трьох технологічних варіантів зміцнення основи.

Ключові слова: земляне полотно, армування, геосинтетичні матеріали.

Аннотация. Рассматривается вопрос о повышении устойчивости земляного полотна автомобильных дорог на слабых органогенных глинистых грунтах с помощью различных методов усиления. На основе сметных данных проведен экономический сравнительный анализ указанных трех технологических вариантов усиления основания.

Ключевые слова: земляное полотно, армирование, геосинтетические материалы.

Abstract. In the paper the problems of raise stability subgrade automobile roads on the soft clayey soils reinforced with various materials are explained. The economic comparative analyses three technological variants of reinforced basements are determined.

Key words: subgrade, reinforce, geosynthetic materials.

Постановка проблеми. За останні роки в Україні спостерігається суттєве зростання обсягів будівництва автомобільних доріг. Також активно впроваджуються новітні технології для вирішення різних проблем, які виникають при будівництві та експлуатації автодоріг. Однією з основних умов впровадження таких технологій є здешевлення робіт з будівництва, ремонту та експлуатації без втрати їх якісних показників [2, 4]. Проблема підсилення властивостей основ насипів із слабких ґрунтів є однією з найбільш актуальних при спорудженні земляного полотна автомобільних доріг [3]. Просідаючи

грунти виявлені майже на 75% території України, а у Вінницькій, Дніпропетровській, Миколаївській, Одеській, Харківській, Херсонській областях вони покривають практично усю територію. Грунти на території України дуже різноманітні, переважають піщані і піщано-мулисті, хрящові, глинисті, галечні, лесові, а місцями кам'яністі.

Найбільш поширеним методом зміцнення слабких ґрунтів є армування геосинтетичними матеріалами [1, 5]. Геосинтетичні матеріали легкі в транспортуванні і монтажі, мають високу стійкість до агресивних дій середовища, довговічні, екологічно безпечні, ефективні, рентабельні і мають низьку собівартість, що в наші дні є необхідною якістю і гідністю будівельних матеріалів. Ці та багато інших властивостей геосинтетиків роблять їх незамінними при укріпленні ґрунту і захисту його від ерозії.

Аналіз. Геосинтетичні матеріали є досить перспективним сегментом будівельних матеріалів, особливо враховуючи активізацію дорожнього будівництва, де обійтися без застосування сучасних високотехнологічних матеріалів неможливо. Використання геоматеріалів на сьогоднішній день вельми актуально для будівельної галузі України.

Ґрунти мають відносно низьку межу міцності, тому вони не здатні витримувати всі види зусиль, що діють на ґрунтову конструкцію під впливом зовнішнього навантаження. Використання геосинтетичних матеріалів - георешіток, геотекстильних полотен або геокомпозиційних матеріалів дозволяє витримувати створювані граничні стани структури. Геосинтетичні продукти використовують як армуючий елемент, тому що їх властивості покращують умови роботи земляного полотна.

Георешітки використовують при роботі з інертними матеріалами, що мають грубу гранульовану структуру і погану когезію (пісок і гравій), тоді як ткани геотекстильні або армуючі геокомпозиційні матеріали застосовують в дрібнозернистих ґрунтах з хорошою когезією (глина, лес).

Застосування нетканих синтетичних матеріалів для підвищення міцності і стійкості земляного полотна приводить до наступного:

- підвищується коефіцієнт запасу міцності земляного полотна, тим самим запобігають його зрушенню;
- знижується осідання земляного полотна при влаштуванні дренажів з синтетичного матеріалу, оскільки ґрунтові шари захищаються від рясного зволоження і замерзання шляхом влаштування горизонтальних і вертикальних фільтрів;
- захищається земляне полотно від зволоження;

- відповідає необхідність у виторфовуванні боліт при їх глибині до 3 м;
- запобігає розмиву укосів;
- армується земляне полотно при влаштуванні у ньому прошарку з синтетичного матеріалу.

При укладанні полотен синтетичних матеріалів на природну ґрунтову основу насипу спостерігаються незначні, переважно рівномірні осідання, а чергування полотен нетканого синтетичного матеріалу і шарів ґрунту в тілі насипу значно збільшує тертя між ними і тим самим підвищує його стійкість. Укладання синтетичного матеріалу у відповідний перетин насипу протидіє сповзанню укосів. Нетканий синтетичний матеріал грає і роль зворотного фільтру, що виключає розмив укосу і вимивання піщаних часток з-під елементів зміцнення насипів, що споруджуються на слабких основах.

Використання синтетичних матеріалів при зведенні насипів дозволяє поліпшити умови ущільнення ґрунтів земляного полотна, досягти рівномірного осушення узбіч і укосів земляного полотна, створити можливість зведення насипів на слабких ґрунтах при значному полегшенні виробництва робіт.

Земляне полотно на ділянках слабких ґрунтів також може зміцнюватись георешіткою або геосіткою. Застосування геосинтетичних матеріалів - це нові рішення і нові технології в будівництві, які дозволяють:

- забезпечити довготривалу і надійну експлуатацію будівельних об'єктів, земляного полотна і дорожніх покриттів;
- запобігти руйнуванню земляного і дорожнього полотна, розмиванню ґрунту, утворенню тріщин і вибоїн, просіданню ґрунту;
- спростити технологію проведення будівельних робіт;
- скоротити терміни проведення будівельних робіт;
- підвищити якість споруд, що зводяться.

Економічний ефект від використання геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві складає 6-8%, при цьому економія досягає до 40% мінеральних матеріалів.

В результаті застосування геосинтетичних матеріалів досягається зниження приведених витрат, за рахунок:

- економії будівельних матеріалів, зниження об'єму земляних робіт і загальної матеріаломісткості дорожньої конструкції у зв'язку із зменшенням товщини окремих шарів дорожнього одягу, висоти насипу, зміною крутизни укосів;

- зниження витрат по експлуатації машин і основної заробітної плати у зв'язку із зменшенням витрат на транспортування дорожно-будівельних матеріалів, їх укладання, ущільнення;

- зниження витрат на ремонт (наприклад, збільшення терміну служби між середніми ремонтами) і утримання дорожньої конструкції у зв'язку з її більшою експлуатаційною надійністю.

Додатковими перевагами використання геосинтетичних матеріалів є зручність в транспортуванні і зберіганні, простота при укладанні (без застосування спеціального устаткування), низька собівартість і рентабельність. Зведене до мінімуму втручання в навколишнє середовище робить геоматеріали екологічно безпечними і ефективними, що в наші дні є необхідною якістю і гідністю будівельних матеріалів.

Основний матеріал. У роботі було розглянуте будівництво автомобільної дороги на органогенних глинистих ґрунтах.

У відповідності з постановою Кабінету Міністрів України від 24 квітня 2006 р. № 865 “Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення” автомобільна дорога Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам’янка (через Вінницю (М-12) відноситься до міжнародних доріг, пролягає по території Львівської, Тернопільської, Хмельницької, Вінницької, Черкаської та Кіровоградської областей.

Автомобільна дорога пов’язує між собою промислові та адміністративні центри України, перетинає ряд державних доріг (міжнародних, національних, регіональних) та місцевого значення.

Дорога пролягає по транспортному коридору Балтійське море – Чорне море, який забезпечує зв’язок країн Скандинавії, Балтії, Росії, Білорусі та країн західної Європи з Україною, Молдовою та Румунією.

Запроектована ділянка дороги розташована в межах Уманського району Черкаської області.

У теперішній час ділянка дороги проходить через с. Бабанка, в межах якого спостерігаються великі транспортні потоки з низькою швидкістю, що приводить до забруднення навколишнього середовища, створюються несприятливі умови для роботи водіїв та мешканців села. Крім того, існуючі параметри та технічний стан дороги не задовольняють вимогам дорожнього руху, внаслідок чого значно знижується ефективність роботи автотранспорту, збільшується кількість та тяжкість дорожньо-транспортних пригод. У зв’язку з цим виникла необхідність будівництва ділянки дороги за новим напрямком в обхід с. Бабанка.

У зв'язку з очікуваним зростанням перевезень пасажирів та вантажів інтенсивність руху на даній ділянці дороги до 2030 року зросте до 5,7 тис.авт./добу, що відповідає 9,0 тис.авт./добу. приведених до легкового автомобіля. Після будівництва дороги за новим напрямком інтенсивність руху на обході с.Бабанка на 2030 рік складатиме 5,1-5,2 тис.авт/добу, або 8,2-8,4 тис.авт/добу приведених до легкового автомобіля.

Траса автомобільної дороги перетинає заплаву р. Ревуха, яка є притокою р. Синюха і належить до басейну річки Південний Буг. Заплава річки заболочена та замулена, шириною біля 700 м. Траса перетинає заплаву вздовж на протязі 1600 м. В геологічній будові основи насипу ґрунти представлені суглинками з домішками органічних речовин від твердої до текучої консистенції, з залишками рослин та прошарками слабозаторфованого ґрунту; пісками крупними середньої щільності, насиченими водою; жорствяно-щебенистим ґрунтом із суглинистим заповнювачем; гранітами середньозернистими, середньої міцності, тріщинуватими. Ґрунтові води пробуреними свердловинами зустрінуті на глибині 1,0-3,2 м. Рівень ґрунтових вод гідравлічно пов'язаний з рівнем води в р. Ревуха і підлягає сезонним коливанням на 1,0-1,5 м.

Аналізуючи технологічні варіанти зміцнення основи на слабких ґрунтах слід звернути увагу, що окрім геологічних і кліматичних труднощів, будівництво було ускладнене додатковими вимогами замовника:

- забезпечити в період будівництва безперервний проїзд техніки;
- забезпечити до завершення повного профілю дороги провезення важкого бурового устаткування;
- забезпечити високі темпи будівництва.

В роботі було застосовано три технологічні варіанти зміцнення основи дороги на слабких ділянках. За станом конструкції здійснювався постійний моніторинг, що включав геодезичні спостереження за осіданням. Першим варіантом пропонувалося замінити слабкі ґрунти основи (виторфовування), укласти геоткань, і потім відсипати сам насип. Другий варіант передбачав улаштування лежневого настилу з колод, відсипання вирівнюючого шару з місцевого ґрунту, укладання геоткані, відсипання насипу. Третім варіантом, який і виявився головним, пропонувалося в основі збудувати геоматрас з використанням одно- та двохвісної решітки, висотою 1,0 м із засипкою його відсівом щебеню з місцевих кар'єрів.

При спорудженні земляного полотна на слабких ґрунтах виконувались спеціальні контрольні спостереження за деформаціями основи. Основними завданнями спостережень було:

- контроль за величиною осідання і затухання її у часі;
- фіксування можливих горизонтальних зсувів;
- виявлення (утворення) горбів випирання.

На основі кошторисних даних від генпідрядної організації був проведений економічний порівняльний аналіз вказаних трьох технологічних варіантів. До вартості перших двох варіантів увійшли всі роботи і матеріали, не враховуючи витрат на геотканину. У вартість третього варіанту включені всі матеріали, зокрема георешітка, і роботи, включаючи підготовку і монтаж геоматрацу. Різниця на користь нової технології виявилася вельми істотною (рис. 1).

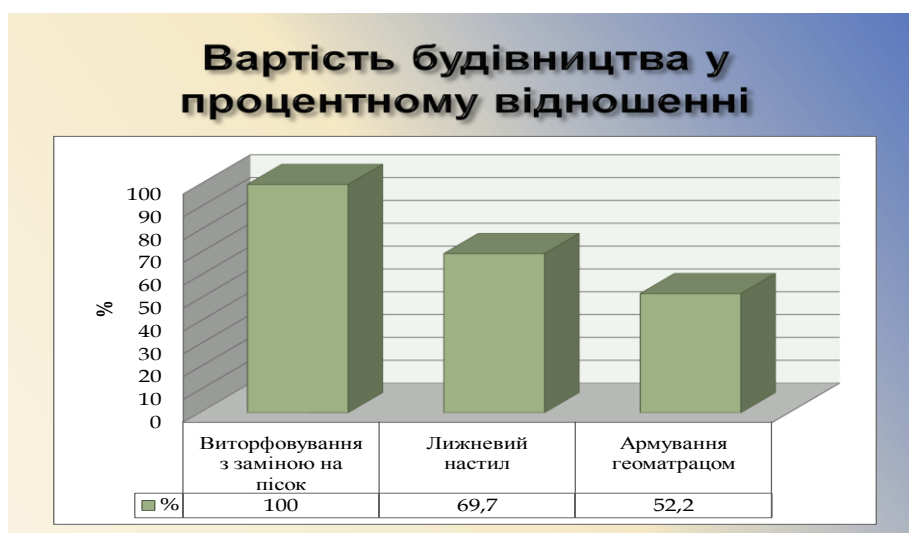


Рис. 1. Діаграма вартості будівництва

Для оцінки технологічності тих же варіантів зміцнення основи об'єктивним чинником є швидкість будівництва. На рис. 2 показані середньостатистичні показники швидкості робіт по зведенню земляного полотна на болотистих ділянках. Діаграма темпів будівництва показала значні переваги третього варіанту зміцнення основи.

Таким чином, доцільність застосування геосинтетичних матеріалів для зміцнення слабких основ виправдана. Використання армуючих геосинтетиків в транспортному будівництві, зокрема високоміцних тканин Geolon, розумне і необхідне, і обумовлено це, перш за все, економічними і технологічними перевагами таких рішень.



Рис. 2. Середньостатистичні показники швидкості робіт по зведенню земляного полотна на болотистих ділянках

Висновки. 1. Геодезичні спостереження за осіданням насипу на ділянках, де використовувалися різні варіанти зміцнення основи, показали явні переваги третього варіанту. Там, де застосовувалося влаштування геоматрацу, осідання було дуже рівномірним, а його величина менше прогнозованої. Спостерігалось значне зниження осідань, майже до 35%.

2. Проведений економічний порівняльний аналіз вказаних трьох технологічних варіантів, показав, що при використанні третього варіанту був досягнутий економічний ефект.

3. Темпи будівництва із застосуванням армогрунтової конструкції більш ніж в три рази вище в порівнянні з швидкістю будівництва з використанням звичних технологій зміцнення основи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондарева Э.Д., Киселев О.Е., Ладыженский И.С. Опыт проектирования армогрунтовых конструкций на Санкт-Петербургской КАД // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, № 71. – 2004. – С. 6-11.
2. Инструкция ИН 218 УССР 040-87. Повышение устойчивости высоких насыпей автомобильных дорог Украинской УССР, 1987. - 63 с.
3. Кірічек Ю.О., Балашова Ю.Б., Розбицький Б.Л. Підвищення стійкості високих насипів автодоріг у складних інженерно-геологічних умовах // Вісник ПДАБА. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. - №4-5. – С.13-17.
4. Савенко В.Я., Гайдукевич В.А. Транспорт і шляхи сполучення. – Рівне: УДУВГП, 2004. – 259 с.
5. Тимофеева Л.М. Армирование грунтов. Теория и практика применения. Ч.1. Армированные основания и армогрунтовые подпорные стены. – Пермь: ППИ, 1991. – 478 с.

Кузьмінець М.П., к.т.н.

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Анотація. В роботі доведено можливість моделювання напружено-деформований стану середовища від дії робочого органа в процесі копання ґрунту як єдиної підсистеми «середовище – робоче обладнання – тягач». Результат такого дослідження дозволяє оцінити найбільш ефективну, з огляду на мінімальну енергоємність процесу копання ґрунту, схему розташування ріжучих елементів відвала бульдозера та оцінити найбільш навантажені елементи конструкції, встановити їх запаси міцності та прийняти рішення щодо удосконалення землерийного обладнання.

Ключові слова: середовище, матриця, функції, напруження.

Аннотация. В работе доказана возможность моделирования напряженно-деформированное состояния среды от воздействия рабочего органа в процессе копания как единой подсистемы «среда - рабочее оборудование – тягач». Результат такого исследования позволяет оценить наиболее эффективную, с точки зрения минимальной энергоемкости процесса копания грунта, схему расположения режущих элементов отвала бульдозера и оценить наиболее нагруженные элементы конструкции, установить их запасы прочности и принять решение по усовершенствованию землеройного оборудования.

Ключевые слова: среда, матрица, функции, напряжение.

Abstract. We prove the possibility of modeling the stress-strain state of the environment from the effects of the working body in the process of digging as a single subsystem «environment - operating equipment – tractor». The result of this study to evaluate the most effective in terms of minimum energy of the process of digging the soil, the layout of the bulldozer blade cutting elements and to assess the most loaded elements of design, set their reserves of strength and take action to improve the earthmoving equipment.

Key words: environment, matrix, function of tension.

Вступ. Для підвищення якості проектування робочого обладнання машин та скорочення термінів на його виконання, широко застосовують інженерно-розрахункові комплекси типу Ansys, SolidWorks, Inventor та інш., які дозволяють не лише розробити візуально якісний проект, але й виконати швидкий розрахунок та аналіз обладнання на міцність.

Аналіз досліджень. Останнім часом на кафедрі дорожніх машин НТУ виконується низка теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з проектуванням просторових металоконструкцій робочого обладнання землерийних машин для капітального ремонту магістральних трубопроводів. В роботах [1...4] наведено оцінку напружено-деформованого стану просторової моделі металоконструкції стріли машини для ущільнення ґрунту під трубопроводом. Це дозволило отримати рекомендації для створення надійної конструкції з мінімальною металомісткістю та забезпечення стійкості й керованості тягача, встановити закономірності накопичення похибки результатів чисельного моделювання напруженого стану металоконструкції залежно від кількості скінченних елементів моделі та запроектувати надійну конструкцію машини. Також окреслено можливість використання результатів дослідження для розрахунку подібного робочого обладнання коробчастого перерізу багатьох дорожньо-будівельних машин.

Проблема. Тривимірне моделювання має за основну мету виявити допущені недоліки плоского геометричного проектування робочого обладнання машин, кінематичних можливостей його руху, силового навантаження та міцнісних характеристик елементів обладнання під заданим навантаженням. Це дає можливість об'єктивно оцінити раціональні перерізи та підібрати матеріали робочого обладнання для забезпечення рівномірної конструкції з мінімальною металоємкістю. Однак відкритою залишається проблема раціональності установки робочого обладнання землерийних машин (схем розташування ріжучих елементів) та його ефективної взаємодії з середовищем, з огляду на мінімальну енергоємність процесу копання ґрунту.

Мета дослідження – підвищення ефективності робочих процесів та забезпечення рівномірних конструкцій землерийно-транспортних машин шляхом тривимірного моделювання підсистеми «середовище – робоче обладнання – тягач» (рис. 1).

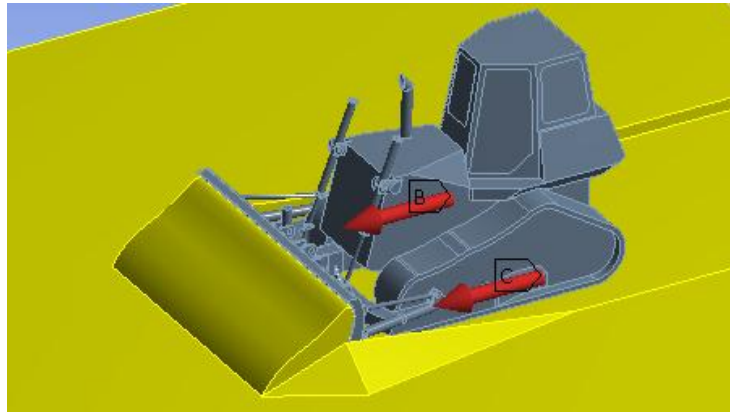


Рис. 1. Моделювання взаємодії робочого обладнання машини з середовищем на прикладі бульдозера

Задачі дослідження: встановити можливість оцінки напружено-деформованого стану середовища від дії робочого органа в процесі копання ґрунту як єдиної підсистеми «середовище – робоче обладнання – тягач».

Основна частина. Робочим положенням машини (на прикладі бульдозера) вважається різання та переміщення призми ґрунту перед відвалом. Екстремальним, з точки зору навантаження, вважається випадок (рис. 1), коли під час копання ґрунту при максимальній глибині різання, перед відвалом сформувалася призма ґрунту, а до робочого обладнання прикладене максимальне тягове зусилля. Наприклад, для даного тягача $P_m = 250$ кН.

Модель бульдозера з середовищем виконана в середовищі Inventor, фізико-механічні властивості середовища та металоконструкції, навантаження, контакти та граничні умови до вирішення задачі виконано в середовищі Ansys (рис. 2). Там же здійснено розбивання моделей на сітку скінченних елементів у вигляді тетраедрів.

Алгоритм аналітичного опису задачі. Для вирішення задачі у тривимірному просторі опишемо основні параметри тетраедра [5] (рис. 2). Три компонента переміщення u , v , та w апроксимуються в середині елемента співвідношеннями:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 \\ 0 & 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{3i-2} \\ U_{3i-1} \\ U_{3i} \\ U_{3j-2} \\ U_{3j-1} \\ U_{3j} \\ U_{3k-2} \\ U_{3k-1} \\ U_{3k} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

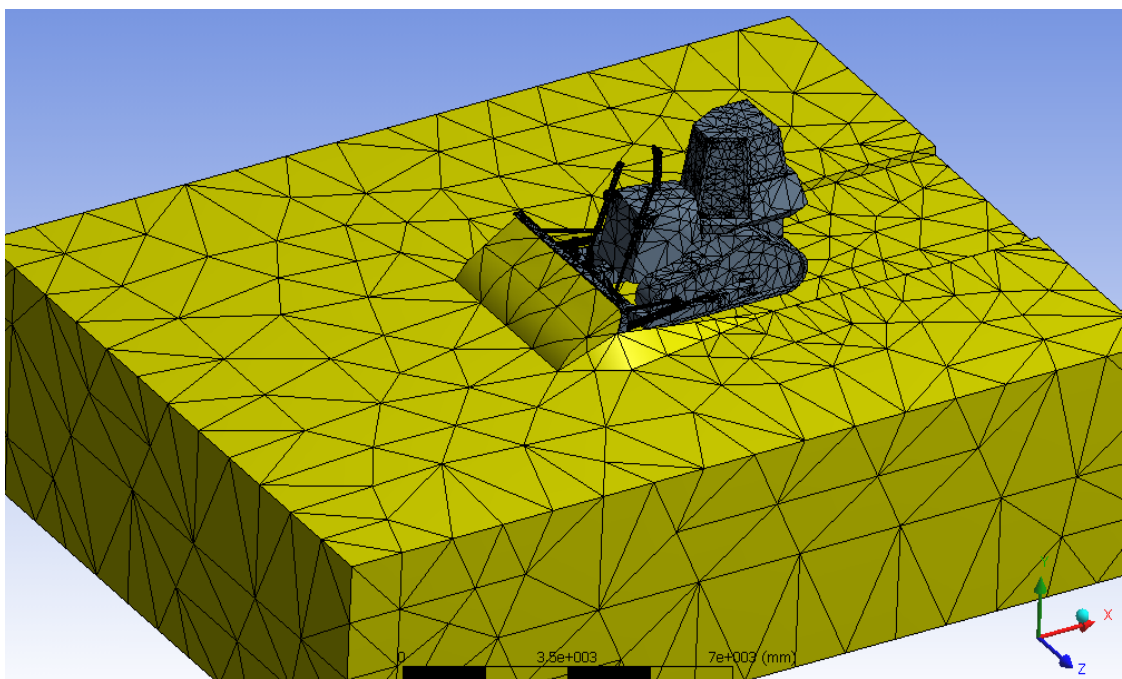


Рис. 2. Розбивання моделей на сітку скінченних елементів

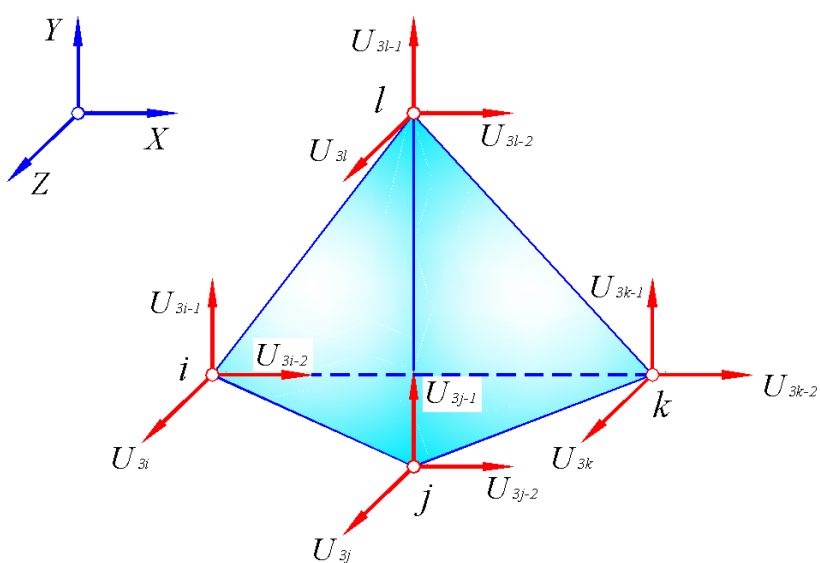


Рис. 3. Компоненти переміщення для вузлів об'ємного скінченного елемента

Функції форми [5] для дванадцяти вузлових значень в загальному вигляді записують як:

$$N_{\beta} = \frac{1}{6V}(a_{\beta} + b_{\beta}x + c_{\beta}y + d_{\beta}z), \quad (2)$$

де a_{β} , b_{β} , c_{β} і d_{β} виражаються через координати вузлів.

Співвідношення зв'язку між переміщеннями та деформаціями в даному випадку мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, & \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y}, & \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z}, \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, & \gamma_{xz} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, & \gamma_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Матриця градієнтів $[B]$ у формулі $\{\varepsilon\} = [B]\{U\}$ легко обчислюється диференціюванням (1) з наступним використанням залежності (3).

У кінцевому результаті отримаємо:

$$B = \frac{1}{6V} \begin{bmatrix} b_i & 0 & 0 & b_j & 0 & 0 & b_k & 0 & 0 & b_l & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 & 0 & c_j & 0 & 0 & c_k & 0 & 0 & c_l & 0 \\ 0 & 0 & d_i & 0 & 0 & d_j & 0 & 0 & d_k & 0 & 0 & d_l \\ c_i & b_i & 0 & c_j & b_j & 0 & c_k & b_k & 0 & c_l & b_l & 0 \\ d_i & 0 & b_i & d_j & 0 & b_j & d_k & 0 & b_k & d_l & 0 & b_l \\ 0 & d_i & c_i & 0 & d_j & c_j & 0 & d_k & c_k & 0 & d_l & c_l \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Запишемо компоненти вектора деформацій $\{\varepsilon\}$:

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_{xx} \varepsilon_{yy} \varepsilon_{zz} \gamma_{xy} \gamma_{xz} \gamma_{yz}]. \quad (5)$$

Компоненти вектора напружень $\{\sigma\}$ повинні розташовуватись в такій самій послідовності. Матриця пружних характеристик $[D]$ для тривимірного ізотропного матеріалу має вигляд:

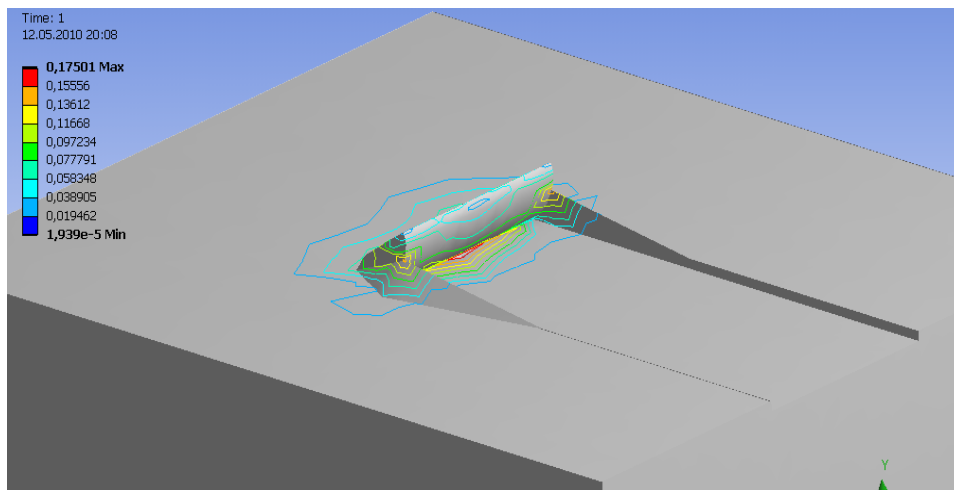
$$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \mu/(1-\mu) & \mu/(1-\mu) & 0 & 0 & 0 \\ - & 1 & \mu/(1-\mu) & 0 & 0 & 0 \\ - & - & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Симетрично

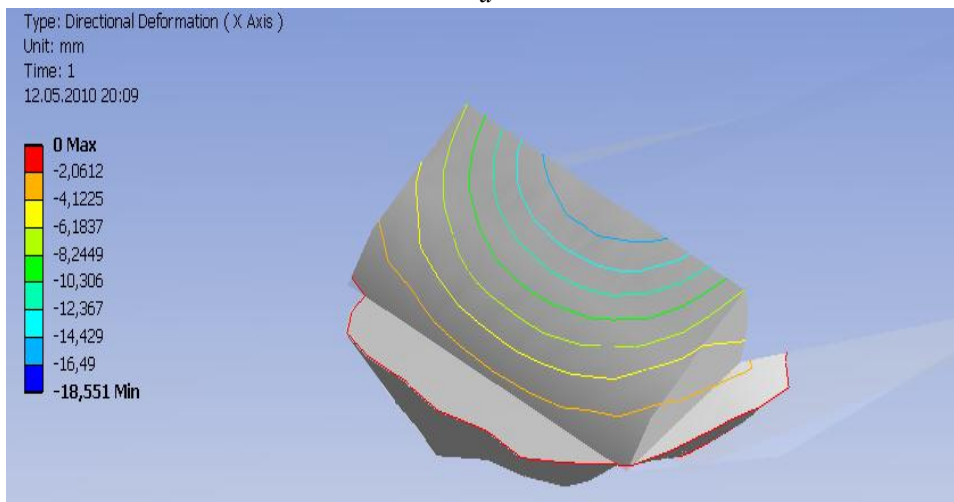
Аналітичне рішення подібної задачі для одного елемента розглянуто в [4]. Розв'язок задачі для тривимірної підсистеми виконано в середовищі Ansys.

Результати оцінки взаємодії відвалу бульдозера з ґрунтом при копанні наведено на рис. 4. Їх аналіз вказує на те, перед відвалом формується призма волочіння ґрунту, напружено-деформований стан якої максимальний у зоні різання ножами відвалу (рис. 4, а). На рис. 4, б вдалося отримати поля деформацій перед відвалом бульдозера та оцінити зону руйнування ґрунту. Зі зміною кута різання вона буде видозмінюватися. Задачею наступних досліджень є оптимізувати кут різання бульдозерного відвалу з огляду забезпечення максимальної зони руйнування середовища при одиничному навантаженні, що дозволить підвищити енергоємність процесу розробки ґрунту.

На рис. 5. наведено результати зміни еквівалентних напружень в металоконструкції робочого обладнання бульдозера, що дозволило оцінити найбільш навантажені елементи конструкції обладнання, встановити їх запаси міцності та прийняти рішення щодо підсилення окремих елементів обладнання для запобігання руйнуванню, а також, навпаки, зменшити товщини елементів конструкції з завищеними (більш ніж у 2 рази) коефіцієнтами запасу міцності, зменшивши тим самим металомісткість обладнання.



a



б

Рис. 4. Результати розрахунку: *a* – поля деформацій призми ґрунту; *б* – зони руйнування перед призмою

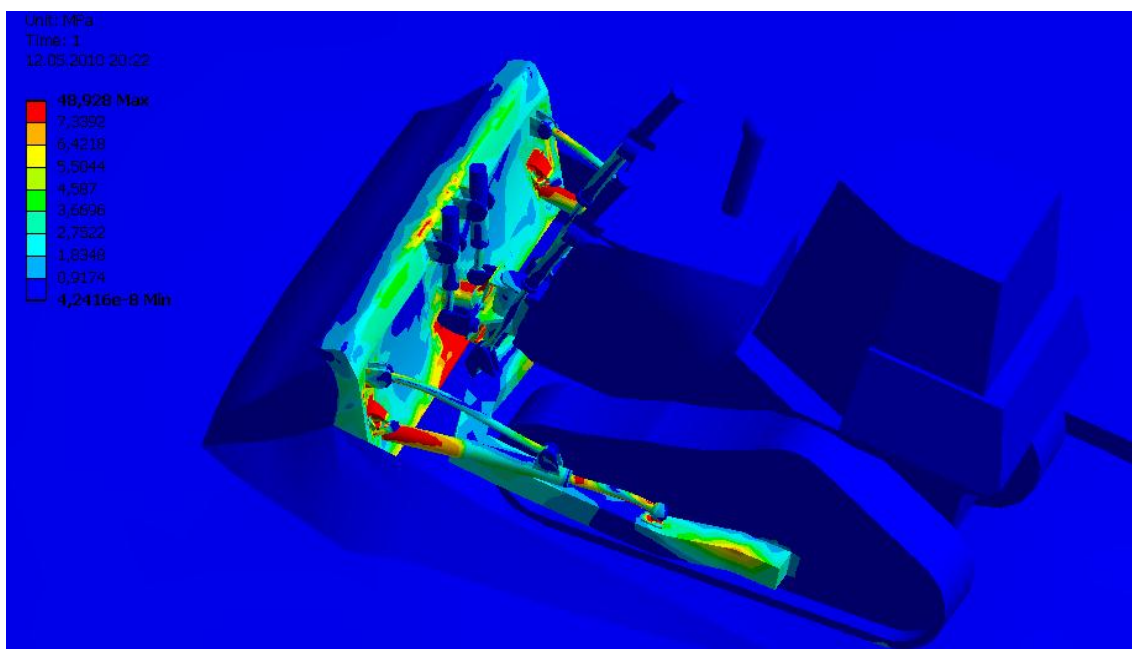


Рис. 5. Еквівалентні напруження в металоконструкції робочого обладнання

Висновки

1. Встановлено можливість оцінки напружено-деформований стану середовища від дії робочого органа в процесі копання ґрунту як єдиної підсистеми «середовище – робоче обладнання – тягач».

2. Намічено шляхи оптимізації кута різання бульдозерного відвалу з огляду забезпечення максимальної зони руйнування середовища при одиничному навантаженні, що дозволить підвищити енергоємність процесу розробки ґрунту.

3. Наведено результати зміни еквівалентних напружень в металоконструкції робочого обладнання бульдозера, що дозволило оцінити найбільш навантажені елементи конструкції, встановити їх запаси міцності та прийняти рішення щодо удосконалення обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузьмінець М.П. Оцінка достовірності результатів чисельного моделювання напруженого стану металоконструкції стріли машини для ущільнення ґрунту під трубопроводом / Сб. науч. тр. Строительство, материаловедение, машиностроение Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Вып. № 46. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. 2008. – С.84-91.

2. Кузьмінець М.П. Чисельне моделювання та раціональне проектування металоконструкції стріли машини для ущільнення ґрунту під трубопроводом / Сб. науч. тр. Строительство, материаловедение, машиностроение Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Выпуск № 46. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. 2008. – С. 92-99.

3. Кузьмінець М.П. Особливості визначення напруженого стану складних просторових металоконструкцій з оцінкою достовірності результатів обчислень / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2008. – № 75. – С.315 – 323.

4. Прикладна механіка робочих процесів машин: Монографія / Сівко В.Й., Кузьмінець М.П. – К.: НТУ, 2009. – 349 с.

5. Larry J. Segerling. Applied Finite Element Analysis // Jon Wiley and Sons, Ins. New York/London/Sydney/Toronto. 1976. – 195 p.

ДОРОЖНІ УМОВИ ТА БЕЗПЕКА РУХУ

УДК 625.7/.8

Резник В.М., к.т.н, Вознюк А.Б.

Дудник Н.М., Титенко О.Г.

ПРОЕКТ ЗМІН ДО ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Анотація. Внесення Змін до Правил дорожнього руху, для зниження аварійності на дорогах і вулицях.

Ключові слова: Правила дорожнього руху, ДТП, транспортний засіб.

Аннотация. Внесение Изменений в Правила дорожного движения, для снижения аварийности на дорогах и улицах.

Ключевые слова: Правила дорожного движения, ДТП, транспортное средство.

Annotation. Changes to the traffic rules, to reduce accidents on roads and streets.

Key words: traffic rules, accident vehicle.

Необхідність внесення до діючих Правил дорожнього руху (далі – Правил) змін та доповнень спричинена тим, що окремі положення Правил не мають чітко вираженої вимоги, чим утруднюють прийняття водієм правильного рішення у процесі руху та адекватного висновку при судовому розгляді ДТП.

Для введення у дію Змін до Правил не потрібні особливі витрати. Виконання запропонованих вимог сприятиме зниженню аварійності на дорогах і вулицях, збереженню життя і здоров'я людей.

1. Пункт 2.8 доповнити абзацом:

“е) керувати або передавати керування транспортним засобом особам, які мають тимчасові вади із зором: не бачать число дорожнього кілометрового знака 5.60 згідно з ДСТУ 4100–2002 з відстані 100 м.”

Часто при дослідженні обставин виникнення ДТП водії запевняють що вони **не бачили** перешкоду, небезпеку або побачили її на відстані 10 м чи 15 м (при відсутності перешкод видимості). Нами запропонований для водіїв тест його

органу зору, який адекватний вимозі щодо відстані видимості дорожніх знаків згідно з ДСТУ 4100–2002.

2. Пункт 12.1 доповнити реченням:

“За виявленими самостійно водієм незадовільними дорожніми та несприятливими погодними умовами для руху на ділянці дороги, вулиці необхідно дотримуватись безпечної швидкості, наведеної у таблиці 1.”

Таблиця 1

у км/год

Дозволена швидкість Правилами дорожнього руху	На ділянці, де діють дорожні знаки згідно з ДСТУ 4100-2002		В ожеледь, ожеледицю, щільний туман	В тумані середньої щільності, в снігопад, на початку дощу	В темний період доби, у сутінках	В дощ, на мокрому, вологому покритті
	1.1-1.26, 1.39	1.27-1.38				
1	2	3	4	5	6	7
120-130	80	70	40	60	90	80
100-110	70	60	40	60	90	80
80-90	60	50	40	60	70	70
50-60	40	30	30	40	40	50
40	30	30	20	30	30	40
20	20	20	10	20	10	10

Примітка. У графі 6 надана безпечна швидкість за умов відсутності на ділянці дороги, вулиці стаціонарного освітлення

В останні роки у довідках про деякі ДТП працівники ДАІ (дізнавачі) зазначають **НЕВИЗНАЧЕНУ** її причину, застосовуючи нетехнічний вислів: “не справився з керуванням” – без посилання на невиконання вимоги Правил.

Дослідження, виконані за власною ініціативою авторів, показали, що водії “не справились з керуванням” через те, що рухаючись з дозволеною швидкістю, вони не знали, яким чином урахувувати незадовільні дорожні умови та несприятливі погодні умови, які були виявлені у процесі руху. У пункті 12.1 Правил йому (водієві) тільки поставлене завдання “повинен урахувувати...” “щоб мати змогу постійно контролювати...та безпечно керувати...”, рішення ж, як, **яким чином урахувувати – відсутнє**. Крім цього, у Правилах відсутня згадка про фактор, який істотно впливає на безпеку руху: **несприятливі погодні умови**.

Особливе занепокоєння викликає рух на автомобільних дорогах загального користування у темну пору доби: в цей час відбувається більше ніж 50 % ДТП відповідна кількість загиблих та поранених). Аналіз причин виникнення таких ДТП показав, що дозволена швидкість у темну пору доби та у сутінках не може бути реалізована – безпечна швидкість повинна бути на 10 км/год – 20 км/год менша.

Для виправлення становища пропонуємо ввести до тексту Правил таблицю 1, у якій надані, розраховані за різними дорожніми та погодними умовами, значення безпечної швидкості руху.

3. Внести зміни щодо дозволеної швидкості руху:

- в пункті 12.4 число “60” замінити на **“50”** та продовжити речення: **“маршрутних пасажирських – не більше ніж 40 км/год. Тут і далі перевищення водієм дозволеної швидкості не повинне виходити за межі похибки спідометра транспортного засобу”;**
- в пункті 12.6 а) число “80” замінити на **“70”** та продовжити речення: **“маршрутних пасажирських – не більше ніж 60 км/год”;**
- в пункті 12.6 г) число “90” замінити на **“80”;**
- в пункті 12.6 г) число “130” замінити на **“120”**, число “110” – на **“100”**. Речення після **“100 км/год”** продовжити: **“на дорогах з розділювальною смугою – не більше ніж 90 км/год, на інших дорогах – не більше ніж 80 км/год. ”**

У проекті змін до Правил застосовані прийняті у країнах ЄС (крім Іспанії) дозволені швидкості руху (50 км/год у населеному пункті, 80 км/год – за його межами). Зменшення дозволеної швидкості на 10 км/год., за даними досліджень науковців Північних країн, дає зниження на 10 % кількості загиблих при ДТП.

4. Внести зміни до пункту 12.9 б): слово “максимальну” замінити на **“безпечну швидкість, визначену у таблиці 1 та дозволену”** і далі за текстом.

Зміна до пункту 12.9 б) має редакційний характер – урахування попередніх змін та доповнень до Правил.

5. Доповнити пункт 14.7 абзацами:

“ж) у світлу і темну пору доби (у тому числі за наявності штучного освітлення ділянки дороги, вулиці) за визначеними водієм несприятливими погодними умовами: в ожеледицю, ожеледь, туман, снігопад, на початку дощу;

з) у темну пору доби, якщо на ділянці дороги, вулиці діють попереджувальні дорожні знаки.”

Аналіз причин виникнення ДТП, пов'язаних з виконанням обгону на автомобільних дорогах загального користування у темну пору доби, показав, що в умовах зміни напрямку дороги у плані і профілі наступні ділянки світлом фар транспортних засобів не освітлюються. Особливу небезпеку для здійснення обгону створюють несприятливі погодні умови.

6. Внести зміни до пункту 15.8:

- підпункт 15.8 б) викласти в редакції: **“на наземних пішохідних переходах і ближче ніж 15 м у населеному пункті, ближче ніж 30 м – за його межами”**;
- у підпункті 15.8 г) після слова “перехрестях” речення доповнити: **“і ближче ніж 15 м у населеному пункті, ближче ніж 30 м – за його межами,”**

Визначена у підпункті 15.8 б) відстань від пішохідного переходу до зони, де дозволяється зупинка і стоянка, не забезпечує видимість пішоходам транспорту, що наближається до переходу, і видимість пішоходів, які ступили на перехід. Аналогічно у підпункті 15.8 г), де розташований поблизу перехрестя ДТЗ стає перешкодою для видимості транспорту, який рухається по головній дорозі.

7. Продовжити речення щодо визначення дорожнього знака 2.2 у розділі 33 Правил: **“та відновлювати рух, якщо це може примусити інших учасників дорожнього руху, які мають перевагу, змінити напрямок руху або швидкість”**

Під час судового розслідування ДТП, які були скоєні у межах перехрестя та перед залізничним переїздом, водії запевняють, що вони повністю виконали вимоги дорожнього знака 2.2: зупинились перед розміткою 1.12 або перед знаком. Однак зіткнення було скоєне через передчасне відновлення руху водієм транспортного засобу, що зупинився. Створюється ситуація, коли і вимога Правил виконана і ДТП скоєно. Зміна уточнює необхідні дії водія, які виключають аварійної ситуації.

Зміни рекомендується включити в електронні екзаменаційні білети для здачі (перездачі) екзамену з Правил або, що краще, перевіряти знання усно. Водій повинен знати наведену **табл. 1** як таблицю множення.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Правила дорожнього руху*, редакція від 08.10.2008 р.

Дехтярук М. Т., к.ф.-м.н.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ

Анотація. Вирішення задачі аналізу й оптимізації режиму роботи автозаправної станції із застосуванням сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.

Ключові слова: Імітаційне моделювання, програмне забезпечення, автозаправна станція.

Аннотация. Решение задачи анализа и оптимизации режима работы автозаправочной станции с применением современных компьютерных информационных технологий.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, программное обеспечение, автозаправочная станция.

Abstract. Solving the problem analazu and optimization mode petrol station with modern computer technologies.

Key words: simulation, software, filling station.

Транспортні споруди технічного обслуговування (автомобільні заправні станції (АЗС), станції технічного обслуговування (СТО), вагоноремонтні заводи) можна розглядати, як транспортні системи масового обслуговування. Вирішення задач аналізу й оптимізації режимів роботи транспортних споруд технічного обслуговування є досить актуальним і здатним значно підвищити ефективність використання транспорту в різних галузях народного господарства.

Транспортна система масового обслуговування - це сукупність послідовно зв'язаних між собою вхідних потоків вимог на обслуговування (машин, літаків, користувачів і т. д.), накопичувачів, черг, каналів обслуговування (АЗС, СТО, аеродромів, і т. д.) і вихідних потоків вимог після обслуговування [1, 2].

Величезна кількість додатків теорії масового обслуговування (ТМО) визначає постійно зростаючий інтерес до неї, а складність існуючих задач не завжди дозволяє одержати вичерпні рішення на основі аналітичних методів навіть при чисельній реалізації останніх [3]. У таких ситуаціях доводиться використовувати імітаційне моделювання, яке, в багатьох випадках, являє собою незамінний інструмент аналізу експлуатаційних, технологічних і багатьох інших проблем [3, 4].

Метою даної статті є застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій - комп'ютерної системи імітаційного моделювання GPSSW - для моделювання і аналізу роботи автомобільної заправної станції, яка в даному випадку розглядається як система масового обслуговування (СМО).

Імітаційне моделювання - це чисельний метод визначення параметрів функціонування різноманітних систем за численними реалізаціями, з урахуванням імовірнісного характеру протікання процесу. Основою імітаційного моделювання є метод статистичних іспитів. Реалізації процесу роботи СМО моделюються на ЕОМ за допомогою серій випадкових або псевдовипадкових величин. Усереднення результатів моделювання за час функціонування моделі або за числом реалізацій процесу дозволяє, методами математичної статистики, одержати шукані характеристики системи.

Імітаційна модель СМО - це модель, що відображає поведінку системи і зміни її стану в часі при заданих потоках вимог, що надходять на вхід системи. Параметри вхідних, потоків вимог - зовнішні параметри СМО. Вихідними параметрами є величини, що характеризують властивості системи і якість її функціонування. Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати СМО при різних типах вхідних потоків і різній інтенсивності надходження вимог у систему, а також різних дисциплінах обслуговування вимог.

У даний час, у світі програмного забезпечення, самим універсальним середовищем імітаційного моделювання, призначеним для професійного моделювання найрізноманітніших процесів і систем, є система GPSSW (General Purpose Simulation System World - всесвітня система імітаційного моделювання загального призначення) [4, 5]. Система GPSSW призначена для моделювання дискретних (в основному систем масового обслуговування) і безперервних систем і є досить ефективним інструментом імітаційного моделювання, вільним від обмежень аналітичних і чисельних методів, досить "прозорим", які

допускають нестандартну обробку даних і знімають із програміста безліч нетривіальних проблем програмування і налагодження моделей.

Модель у системі GPSSW - це послідовність операторів моделювання. Оператор моделювання може бути або оператором GPSSW, або процедурою мови PLUS. Система моделювання GPSSW заснована на переході вимог (транзактів) від блоку до блоку (від оператора до оператора) у певні моменти часу, що називається подією.

Система GPSSW досить проста й універсальна в застосуванні. Інтерфейс системи GPSSW максимально орієнтований на користувача. На рис. 1 показано головне вікно системи GPSSW. У першому рядку (рядку заголовка) головного вікна вказана назва вікна - GPSSW. У другому рядку розташовуються пункти головного меню, у третьому - стандартна панель інструментів. Нижній рядок головного вікна - рядок стану системи, у якому дається короткий опис виділеної команди. У центрі головного вікна знаходиться вікно вихідної моделі системи GPSSW, яке призначене для ефективного розробки, перевірки і налагодження програм в GPSSW. Це вікно викликається автоматично при відкритті файлу з програмою на мові GPSS.

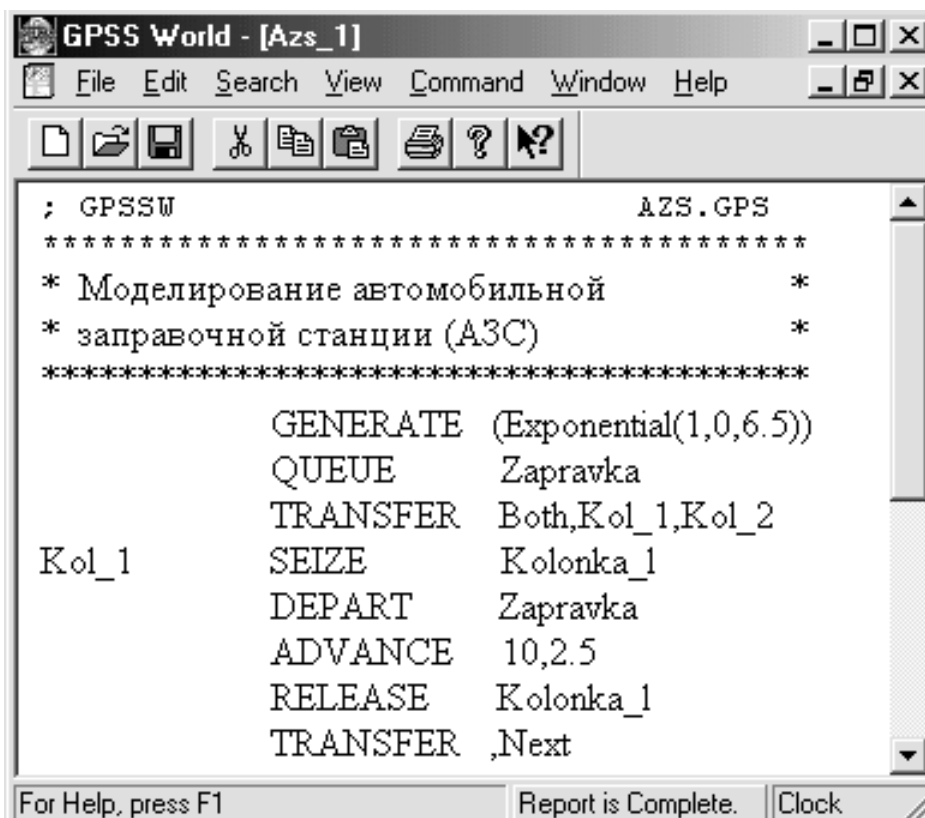


Рис. 1. Головне вікно системи GPSSW

GPSSW дозволяє бачити процес імітації і взаємодіяти з ним за допомогою графічних вікон, багато з яких мають більше одного режиму. Десять вікон обновляються в процесі моделювання, а інші є вікнами знімків (Snapshots), які дозволяють фіксувати миттєвий стан імітації.

Розглянемо роботу автомобільної заправної станції, що має дві заправні колонки. Система характеризується наступними особливостями:

- надходження вимог у систему на обслуговування відбувається по одному, тобто ймовірність надходження двох і більше вимог в один момент часу дуже мала, і нею можна знехтувати (потік вимог ординарний);
- ймовірність надходження наступних вимог у будь-який момент часу не залежить від ймовірності їхнього надходження в попередні моменти потік вимог без післядії;
- потік вимог стаціонарний.

Потрібно змоделювати роботу АЗС протягом робочої зміни - 8 год - і визначити параметри функціонування АЗС:

- коефіцієнт завантаження кожної колонки;
- середній час обслуговування в кожній колонці;
- максимальне, середнє й поточне число автомобілів у черзі до кожної колонки;
- середній час знаходження автомобіля в черзі та ін.

Для моделювання роботи АЗС необхідно сформувати вхідний потік автомобілів, які під'їжджають на заправлення з інтервалом часу $\lambda=6,5$ хв і описується експонентним законом розподілу ймовірностей. Час заправлення на першій колонці становить $10\pm 2,5$ хв, а на другий - 13 ± 4 хв. За одиницю виміру часу приймемо хвилину.

Моделювання потоку машин, що надходять на заправлення, будемо виконувати за допомогою оператора **GENERATE** (Генерувати). Нам необхідно сформувати потік машин, які надходять на обслуговування на АЗС і підпорядковується експонентному розподілу ймовірностей. Це можна зробити двома способами, використовуючи:

- емпіричні розподіли, які можна створити за допомогою команди **FUNCTION** (Функція) мови GPSS, використовуючи дискретні (тип D) або безперервні (тип C) випадкові функції;

- убудовані розподіли ймовірностей.

У системі GPSSW у бібліотеку процедур включено більше 20 убудованих розподілів ймовірностей. Ці розподіли мають широкий діапазон використання.

Кожний виклик процедури розподілу ймовірностей вимагає, щоб були визначені параметр потоку та номер генератора випадкових чисел.

У даному випадку оператор **GENERATE** запишеться в такому виді:

GENERATE (Exponential(1,0,6.5))

У полі операнда А вказується звертання до бібліотечної процедури - експонентному розподілу ймовірностей.

Автомобіль, що під'їжджає на заправлення, спочатку стає в чергу, якщо вона існує. Це можна змодельовати оператором **QUEUE** (Черга), який тільки в сукупності з оператором **DEPART** (Вийти) накопичує статистичну інформацію про роботу черги, що моделюється.

У даному прикладі оператор **QUEUE** буде виглядати так:

QUEUE Zapravka

У полі операнда А вказується символічне або числове ім'я черги. Таких черг у системі може бути дуже багато. У нашому прикладі черга на заправку має ім'я Zapravka (Заправлення). Бажано, щоб ім'я, що присвоюється, відбивало суть описуваного елемента системи.

Оскільки на АЗС є дві колонки для заправлення, то автомобіль під'їжджає до першої колонки, якщо вона вільна, і до другого, якщо перша зайнята. Якщо обидві колонки зайняті, то автомобіль чекає їхнього звільнення в загальній черзі. Направлення автомобілів на ту або іншу колонку може бути забезпечене оператором **TRANSFER** (Передати). У даному випадку він запишеться так:

TRANSFER Both,Kol_1,Kol_2

Слово Both (Обоє) означає можливість передачі вимоги (машини) по двох напрямках: до оператора з міткою Kol_1, якщо перша колонка не зайнята, і до оператора з міткою Kol_2, якщо зайнята.

Виходячи з логіки, автомобіль може вийти із черги тільки тоді, коли звільниться перша або друга колонка. Для моделювання використовуються два

сегменти. Перший з них пов'язаний з роботою першої колонки, а другий - з роботою другої. Обидва сегменти починаються з оператора **SEIZE** (Зайняти), і кожний з них має свою мітку, відповідно Kol_1 і Kol_2, які визначають зайнятість першої або другої колонки (каналу обслуговування). При звільненні однієї з них вимога, що перебуває попереду, виходить із черги і йде в канал на обслуговування.

Початок першого сегмента записується так:

Kol_1 SEIZE Kolonka_1

У полі операнда А вказується символічне або числове ім'я об'єкта. У нашому завданні каналу обслуговування дано ім'я Kolonka_1 (Колонка_1).

Вихід автомобіля із черги фіксується оператором **DEPART** з відповідною назвою черги. У даному прикладі це буде виглядати так:

DEPART Zapravka

Далі необхідно змодельовати час заправлення автомобіля. У нашому прикладі він становить $10 \pm 2,5$ хв. Для моделювання цього процесу використовується оператор **ADVANCE** (Затримати), що у даному завданні буде виглядати так:

ADVANCE 10,2.5

Потім необхідно повідомити про звільнення колонки під номером 1. Це можна зробити за допомогою оператора **RELEASE** (Звільнити). Він у нашому прикладі записується так:

RELEASE Kolonka_1

Далі використовується оператор **TRANSFER** (Передати) у режимі безумовної передачі вимоги до оператора із зазначеною міткою в полі операнда В. У даному прикладі це буде виглядати так:

TRANSFER ,Next

Початок другого сегмента запишеться так:

Kol_2 SEIZE Kolonka_2

У полі операнда А вказується символічне ім'я об'єкта - Kolonka_2.

Вихід автомобіля із черги фіксується оператором **DEPART** з відповідною назвою черги. У даному прикладі це буде виглядати так:

```
DEPART Zapravka
```

Далі необхідно змоделювати час заправлення автомобіля. У нашому прикладі він становить 13 ± 4 хв. Для моделювання цього процесу використовується оператор **ADVANCE**, що у даному завданні буде виглядати так:

```
ADVANCE 13,4
```

Після заправлення автомобіль залишає колонку. Це можна зафіксувати оператором **DEPART**, що у нашому завданні запишеться так:

```
DEPART Total_time
```

Далі необхідно повідомити про звільнення колонки під номером 2. Це можна зробити за допомогою оператора **RELEASE**. Він у даному завданні записується так:

```
RELEASE Kolonka_2
```

Потім використовуємо оператор **SAVEVALUE** (величина, що зберігається) з міткою Next (Наступний) для збереження середнього часу знаходження автомобіля в черзі під ім'ям Zapravka у збережуваній величині під ім'ям Ave_Queue. Це буде виглядати так:

```
Next SAVEVALUE Ave_Queue,QT$Zapravka
```

Далі автомобіль залишає АЗС. Для цього використовується оператор **TERMINATE** (Завершити):

```
TERMINATE
```

І нарешті, ми повинні створити сегмент, що буде моделювати роботу АЗС протягом робочої зміни, що дорівнює 8 год. Оскільки моделювання роботи АЗС проводиться у хвилинах, то час моделювання системи буде дорівнює $8 \times 60 = 480$ хв. Цей сегмент буде виглядати так:

```
GENERATE 480
```

```
TERMINATE 1
```

```
START 1
```

Варто особливо підкреслити, що парні оператори **QUEUE** і **DEPART** для кожної черги повинні мати те саме, але своє унікальне ім'я. Це ж відноситься і до операторів **SEIZE** і **RELEASE3+**

Завершальним оператором у нашому завданні є оператор **START**, який дає команду почати моделювання:

START I

Остаточно програма буде мати такий вигляд.

	GENERATE	Exponential(1,0,6.5))
	QUEUE	Zapravka
	TRANSFER	Both,Kol_1,Kol_2
Kol_1	SEIZE	Kolonka_1
	DEPART	Zapravka
	ADVANCE	10,2.5
	RELEASE	Kolonka_1
	TRANSFER	,Next
Kol_2	SEIZE	Kolonka_2
	DEPART	Zapravka
	ADVANCE	13,4
	RELEASE	Kolonka_2
Next	SAVEVALUE	Ave_Queue,QT\$Zapravka
	TERMINATE	
	GENERATE	480
	TERMINATE	1
	START	1

Після створення імітаційну модель необхідно відтранслювати і запустити на виконання. Перед початком моделювання необхідно встановити вивід тих параметрів моделювання, які потрібні користувачеві. У нашому прикладі буде виведена інформація з наступних об'єктів:

Facilities (Канали обслуговування).

Queues (Черги);

Savevalues (Збережувані величини);

Після виконання програми з'явиться вікно **REPORT** (Звіт), з результатами роботи програми, як показано на рис. 2.

У верхньому рядку вказується:

START TIME (Початковий час) - 0.000;

END TIME (Час закінчення) - 480.000;

BLOCKS (Число блоків) - 16;

FACILITIES (Число каналів обслуговування) - 2;

STORAGES (Число накопичувачів) - 0.

Нижче вказуються результати моделювання каналів обслуговування відповідно під призначеними нами іменами KOLONKA_1 і KOLONKA_2:

ENTRIES (Число входів) - 45 і 33;

UTIL. (Коефіцієнт використання) - 0.901 і 0.875;

AVE. TIME (Середній час обслуговування) - 9.608 і 12.734;

AVAIL. (Доступність) - 1 і 1;

OWNER (Можливе число входів) - 78 і 79;

PEND-0 і 0;

INTER-0 і 0;

RETRY (Повтор) - 5 і 5;

DELAY (Відмова) - 0 і 0.

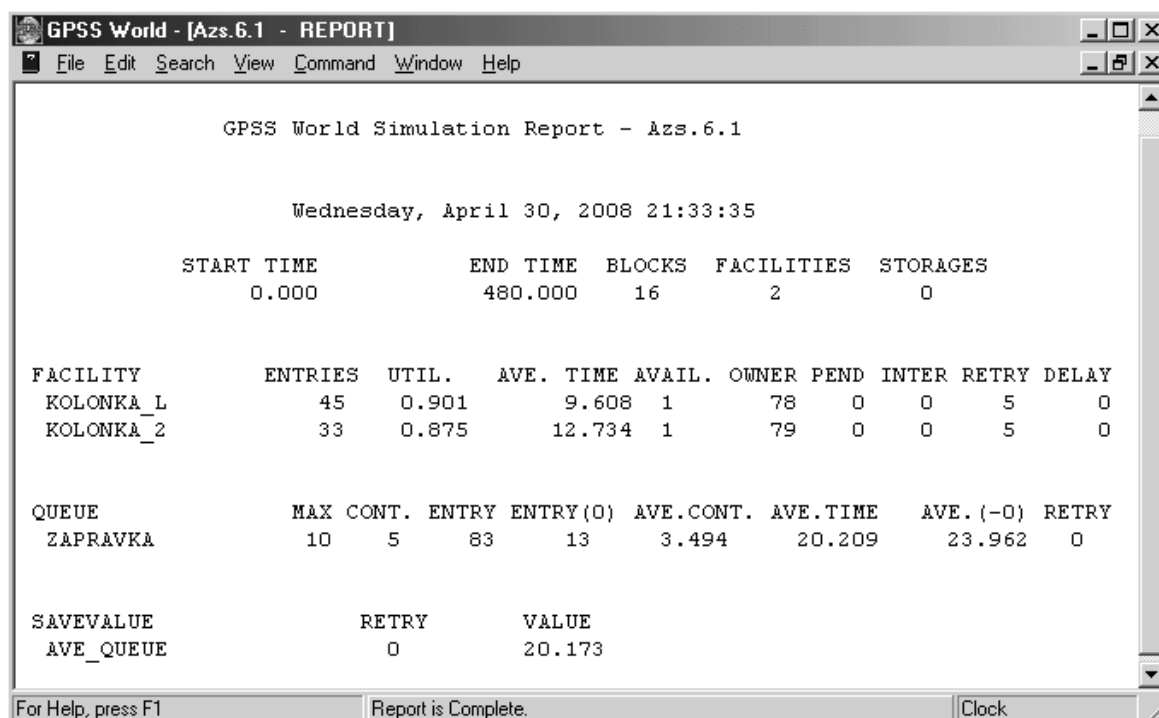


Рис 2. Вікно REPORT з результатами моделювання

Ще нижче вказуються результати моделювання черги під ім'ям ZAPRAVKA:

- **MAX** (Максимальний вміст) - 10;
- **CONT.** (Поточний вміст) - 5;
- **ENTRY** (Число входів) - 83;

- **ENTRY(O)** (Число нульових входів) - 13;
- **AVE.CONT.** (Середнє число входів) - 3.494;
- **AVE.TIME** (Середній час перебування в черзі) - 20.209;
- **AVE.(-0)** - 23.962;
- **RETRY-0.**

В самому низу наведені параметри збереженої величини, під ім'ям AVE_QUEUE:

RETRY-0;

VALUE (Значення) - 20.173.

З результатів моделювання видно, що за час моделювання, який дорівнює 480.00 хвилинам, у систему на обслуговування (заправлення) надійшло 78 вимог (автомобілів), з яких першою колонкою під ім'ям KOLONKA_1 було обслуговано 45 автомобілів і другою під ім'ям KOLONKA_2 – 33 автомобілі. Середня зайнятість каналів обслуговування (колонок) відповідно дорівнює 0.901 і 0.875, а середній час обслуговування першою й другою колонками становить - 9.608 і 12.734 хвилин відповідно. Максимальна довжина загальної черги на заправлення становить 10 автомобілів. Вся ця інформація досить повно ілюструє ефективність роботи системи.

Таким чином, імітаційний метод моделювання, є ефективним методом для аналізу ефективності роботи автомобільної заправної станції, як системи масового обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Четверухін Б. М., Бакуліч О. О., Радкевич С. Д. Дослідження операцій в транспортних системах. Частина 2. Системи масового обслуговування: Навчальний посібник. – Київ: НТУ, 2001.-141 с.
2. Чернов В. П., Ивановский В. Б. Теория массового обслуживания. – М.: ИНФРА, 2000.-158 с.
3. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс-А. 2004. – 384 с.
4. Томашевский В. Н., Жданова Э. Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. - М.: Бестселлер, 2003.-416 с.
5. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.– 368 с.

Писанко А.О., к.т.н.

Макарчев О.О.

Стьожка В.В.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ

Анотація. У статті виконано аналіз нормативних документів, а також узагальнено досвід ДНТЦ «Дор'якість» щодо проведення контролю якості горизонтальної дорожньої розмітки. Зроблено висновки та запропоновано основні положення Порядку контролю якості дорожньої розмітки – нормативного документу, який регламентуватиме процес взаємодії між учасниками контролю якості розмітки на автомобільних дорогах загального користування.

Ключові слова: дорожня розмітка, якість.

Аннотация. В статье выполнен анализ нормативных документов, а также обобщен опыт ГНТЦ «Доркачество» по проведению контроля качества горизонтальной дорожной разметки. Сделаны выводы и предложены основные положения Порядка контроля качества дорожной разметки - нормативного документа, который будет регламентировать процесс взаимодействия между участниками контроля качества разметки на автомобильных дорогах общего пользования.

Ключевые слова: дорожная разметка, качество.

Abstract. In the article the analysis of regulations, as well as the experience SSTC "Dor'yakist" for quality control of horizontal road marking. The conclusions and proposed the main provisions of the Procedure for quality control of road marking - official documents that regulate the process of interaction between participants of the quality control markings on the roads of public use.

Keywords: road marking, quality.

В умовах обмеженого фінансування пріоритетними напрямками для підтримання автомобільних доріг, зокрема дорожньої розмітки, у належному стані можуть стати науковий підхід до виконання робіт, впровадженням нових (більш продуктивних, ресурсозберігаючих та ін.) розробок та жорсткий, об'єктивний контроль всього процесу виконання робіт.

Існуюча нормативна база містить достатньо інформації щодо проведення контролю якості дорожньої розмітки, методів проведення вимірювань. Проте недостатньо уваги приділено організації даного процесу, не визначено порядок взаємодії між його учасниками.

Мета роботи – проаналізувати чинні нормативні документи, а також досвід ДНТЦ «Дор'якість» щодо проведення контролю якості горизонтальної дорожньої розмітки; запропонувати основні положення Порядку контролю якості розмітки.

Дорожньою розміткою називаються лінії, написи та інші позначення на проїзній частині (з удосконаленням покриттям), бордюрах, елементах дорожніх споруд, обстановки вулиць і доріг, що застосовуються самостійно і у поєднанні з дорожніми знаками або світлофорами. Вона покликана забезпечувати візуальну орієнтацію учасників дорожнього руху при виборі траєкторії, напрямку і режимів руху в різних дорожніх умовах.

Роботи із контролю якості розмітки при її влаштуванні та у процесі експлуатації регламентуються ДСТУ 2587, ДСТУ 3587, СОУ 45.2-00018112-018, СОУ 45.2-00018112-028, СОУ 45.2-00018112-006, РВ. 3.2 - 218 - 03450778 – 682, РВ.3.2-218-21476215- 479, РВ.3.2 – 218 – 21476215 – 663, РВ.2.3-218-0344929261-308.

Взагалі, метою проведення контролю якості є визначення відповідності матеріалів, виробів, конструкцій, сировини і робіт вимогам нормативних, технологічних і проектних документів, що чинні в Україні, і зниження рівня відхилень від них, підвищення оперативності та ефективності усунення дефектів і недоліків, а також запобігання їх виникненню в подальшому.

Контроль якості складається з трьох обов'язкових видів: вхідного, операційного (технологічного) і приймального. Крім того, за дорученням замовника або вищестоящої організації проводиться інспекційний контроль.

На сьогоднішній день регулювання відносин між учасниками контролю якості дорожньої розмітки відбувається через вимоги чинних нормативних документів, наведених вище, та через накази Державної служби автомобільних доріг України. Наказами визначено пріоритетні напрямки та показники, яким слід приділяти особливу увагу при проведенні обстежень.

Серед наказів щодо горизонтальної розмітки можна виділити наступні:

1. Наказ № 119 від 05.04.2006 року «Про підвищення якості робіт з улаштування дорожньої розмітки».
2. Наказ № 135 від 12.04.2006 року «Про галузевий орган із сертифікації».
3. Наказ № 109 від 19.03.2009 року «Про забезпечення якості виконання дорожніх робіт та поліпшення стану автомобільних доріг».
4. Наказ № 187 від 28.04.2009 року «Про підвищення якості робіт з улаштування дорожньої розмітки».

Як видно із наведених вище наказів, особлива увага приділяється використанню сертифікованих матеріалів та застосуванню атестованої техніки для влаштування горизонтальної дорожньої розмітки; дотриманню гарантійних строків служби розмітки; контролю коефіцієнтів яскравості та світлоповертання.

За участю фахівців ДНТЦ “Дор’якість” у 2009 році проведено роботи з визначення коефіцієнтів яскравості та світлоповертання горизонтальної дорожньої розмітки в 15 областях (таблиця 1). І, підводячи підсумки, хочеться виділити один із основних недоліків – для обстежень ділянки представниками Служб автомобільних доріг надаються вибірково (рисунок 1), тому перевірки не охоплюють весь обсяг влаштованої за рік розмітки.

Ще одним фактором, що суттєво підвищить якість робіт, може стати чітке визначення відповідальності підрядників за їх неякісне виконання. Тобто слід чітко визначитися із строками виправлення виявлених у процесі проведення обстежень недоліків та проводити повторний контроль якості на даних ділянках із залученням незалежної контролюючої організації.

Таблиця 1 – Результати оцінки якості дорожньої розмітки представниками ДНТЦ “Дор’якість” у 2009 році

№ п/п	Область	Протяж-ність доріг державного значення, км	Обстежено за участю ДНТЦ “Дор’якість”			Виявлено невідповідність вимогам норм	
			км доріг	км лінії	у % від доріг держ. значення	км лінії	у % від обстеженого
1	2	3	4	5	6	7	8
1	АР Крим	1183	559,45	559,45	47	0,00	0,0
2	Вінницька	788	777,43	882,00	99	37,80	4,3
3	Волинська	753	95,00	95,00	13	9,70	10,2
4	Донецька	665	650,10	1730,20	98	8,55	0,5
5	Запорізька	697	697,00	1125,00	100	0,00	0,0
6	Ів.-Франківська	819	40,20	168,60	5	7,50	4,4
7	Кіровоградська	732	231,70	231,70	32	12,39	5,3
8	Луганська	847	561,21	1570,37	66	33,90	2,2
9	Львівська	1039	472,38	511,39	45	15,20	3,0
10	Миколаївська	594	454,71	576,31	77	38,82	6,7
11	Одеська	777	306,158	1025,00	39	65,20	6,4
12	Севастополь	125	16,00	16,00	13	0,00	0,0
13	Сумська	912	975,00	1546,60	100	63,78	4,1
14	Херсонська	705	405,47	835,03	58	22,00	2,6
15	Чернівецька	407	197,12	296,72	48	4,55	1,5

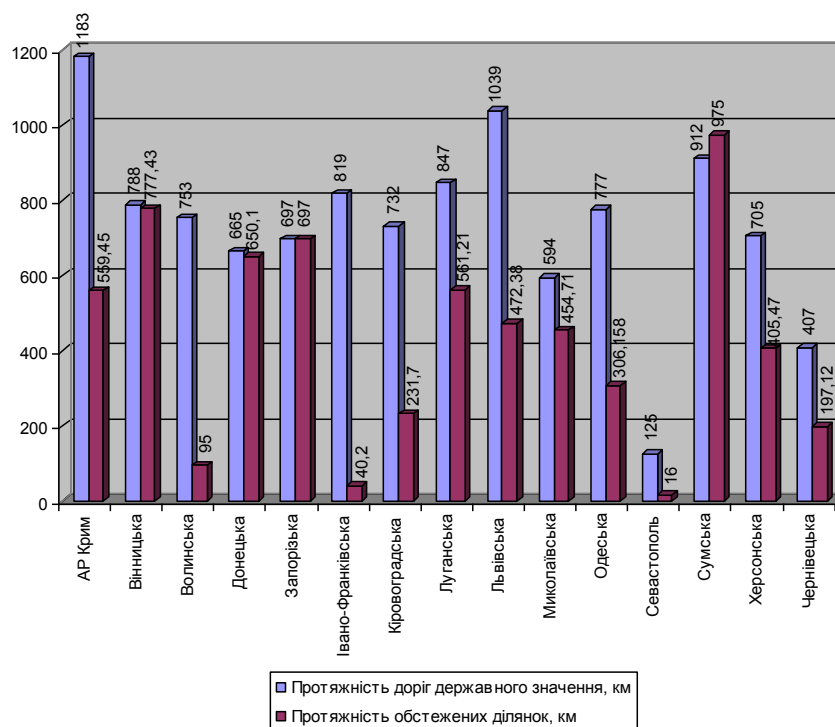


Рисунок 1 – Протяжність ділянок доріг державного значення, де у 2009 році проведено контроль якості розмітки

З іншого боку є проблема високої вартості робіт із контролю коефіцієнтів яскравості та світлоповертання (таблиця 2). Тому необхідно розглянути можливість визначення даних показників за участю незалежної контролюючої

організації не на всій протяжності влаштованої лінії розмітки, а на певній її частині. Основний обсяг контролю слід покласти на замовника робіт, тобто на Служби автомобільних доріг, а незалежний контролюючий орган слід залучати лише тоді, коли необхідне спеціальне обладнання, чи коли виникають суперечливі ситуації.

Таблиця 2 – Орієнтовна вартість робіт із визначення коефіцієнтів яскравості та світлоповертання*

Область	Протяжність доріг державного значення, км	Протяжність доріг I категорії, км	Орієнтовна протяжність лінії розмітки, км	Відстань від м. Києва до обласного центру, км	Вартість визначення показників Rl та Qd, грн.	Вартість переміщення при виконанні робіт, грн.
1	2	3	4	5	6	7
Крим	1 183	32	3 645	801	320 432	21 328
Донецька	665	228	2 679	699	235 511	17 346
Київська	1 471	379	5 550	0	487 901	14 007
Кіровоградська	732	0	2 196	295	193 050	10 009
Львівська	1 039	46	3 255	535	286 147	16 316
Одеська	777	216	2 979	468	261 884	14 605
Разом для доріг державного значення	21 082	2 523	70 815	11 645	6 225 347	355 051

* - орієнтовна протяжність доріг взята з Бюлетеня доріг за 2009 рік, вартість визначення коефіцієнту яскравості 1 км лінії становить 87,91 грн., вартість переміщення при виконанні даного виду робіт на 100 км – 757,12 грн. (згідно з розрахунками УДВТП «Укрдортехнологія»)

За даними таблиці 1 легко зробити висновок, що економічно вигідно затратити на контроль якості суму, яка не перевищує вартість неякісно виконаних робіт при умові, що замовник зобов'язує підрядника виправляти недоліки за власні кошти. Середній відсоток виявлених недоліків розмітки (рисунки 2) на обстежених в 2009 році ділянках по Україні наводиться у таблиці 1. І це лише при перевірці двох показників розмітки. При комплексному підході значення можуть суттєво зрости.

Для того, щоб учасники проведення контролю не дублювали функції один одного, що є причиною необґрунтованих витрат, необхідно у Порядку контролю якості дорожньої розмітки визначити весь перелік показників, які необхідно контролювати, а також розділити їх між підрядником, замовником і незалежною контролюючою організацією.

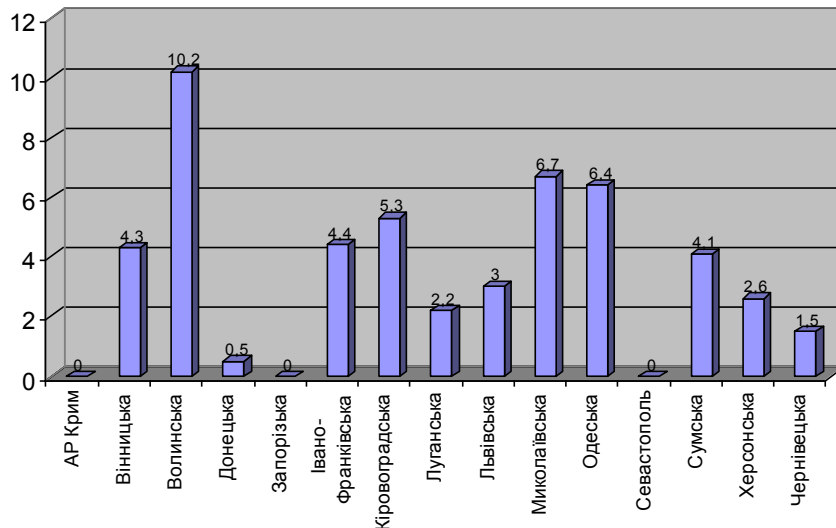


Рисунок 2 – Недоліки, виявлені при проведенні обстеження розмітки

При цьому слід враховувати складність визначення того чи іншого показника, наявність обладнання та спеціалістів відповідного рівня. Процес повинен будуватись таким чином, щоб підрядник проводив операційний контроль проведення робіт, приймальний контроль матеріалів; на замовника слід покласти основну частину контролюючих функцій, як на найбільш зацікавлену у забезпеченні якості сторону. Незалежна контролююча організація має залучатися для робіт із використанням спеціального обладнання, яке відсутнє у замовника, при виникненні суперечливих ситуацій між замовником та підрядником, а також для інспекційного контролю результатів роботи служби якості замовника.

Із сказаного вище можна зробити висновок, що доцільно було б діяти наступним чином:

- визначити наказом Державної служби автомобільних доріг України незалежну контролюючу організацію, яка мала б все необхідне обладнання, кваліфікованих фахівців та досвід роботи для участі у контролі якості горизонтальної дорожньої розмітки;
- заборонити приймання робіт із влаштування дорожньої розмітки без підтвердження її якості із залученням представників замовника та незалежної контролюючої організації;

- зобов'язати замовників робіт повідомляти незалежну контролюючу організацію і Укравтодор про перелік ділянок, на яких передбачено виконання робіт та довжину осьової і крайової ліній розмітки, інформувати їх про хід виконання робіт щомісяця;
- у разі виявлення недоліків, забезпечувати їх виправлення за кошти виконавців робіт.

Висновки

Проведений аналіз дає змогу зробити наступні висновки щодо організації та порядку проведення контролю якості розмітки на автомобільних дорогах загального користування:

- нормативні документи та накази Укравтодору містять достатній обсяг інформації щодо методів контролю та показників, які необхідно визначати на всіх його стадіях;
- доцільно було б визначити порядок взаємодії та обміну інформацією між учасниками контролю якості розмітки;
- необхідно розмежувати функції підрядника, замовника та незалежної контролюючої організації у процесі проведення контролю якості;
- для підвищення якості робіт слід посилити контроль за дотриманням гарантійних строків, зобов'язати підрядника повторно виконувати роботи, які були проведені неякісно.

ЛІТЕРАТУРА

1. *ДСТУ 2587-94*. Розмітка дорожня. Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування.
2. *ГСТУ 218-03450778-105-2003*. Фарба для розмічання проїзної частини автомобільних доріг. Технічні вимоги.
3. *ДСТУ 3587-97*. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану.
4. *Р В.2.3-218-0344929261-308-2004*. Рекомендації з влаштування дорожніх розміток.
5. *СОУ 45.2-00018112-018-2007*. Безпека дорожнього руху. Матеріали для горизонтальної розмітки із світлоповертальними властивостями. Загальні технічні вимоги.
6. *СОУ 45.2-00018112-028:2008*. Забезпечення якості при будівництві, ремонті та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг та мостових споруд.

Процик О.П., к.т.н.

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕРИТОРІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ НА СЕРЕДНЮ ВІДСТАНЬ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Анотація. У статті наведено визначення оптимальної відстані розташування пункту перевантаження у напрямку від центру круга до його межі, та проведений його аналіз.

Ключові слова: перевезення, місце розташування.

Аннотация. В статье приведено определение оптимального расстояния расположения пункта перегрузки в направлении от центра круга к его границе, и проведен их анализ.

Ключевые слова: перевозки, место расположения.

Abstract. The article presents the determination of optimal distance location of the item transfer in the direction from the center of a circle to its boundary, and conducted its analysis.

Keywords: transportation, location.

В багатьох випадках при виборі місця розташування транспортних підприємств, виникає необхідність забезпечення мінімальної транспортної роботи, дотримуючись існуючих вимог якості виконання робіт. В тих випадках, коли територія обслуговування має форму кола, а планувальна забудова дозволяє вибрати місце розташування даних об'єктів пропонується знаходити їх місце розташування наступним чином.

Нехай об'єкти обслуговування розташовані рівномірно на території, що має форму круга з радіусом R . Вся площа території рівномірно розподілена між N виробничих підрозділів, кожний з яких обслуговує територію, що має форму сектору. Місце розташування пункту в кожному секторі – точка його рівноваги за критерієм виконання мінімальної транспортної роботи. Перевезення вантажів автомобільним транспортом між об'єктами обслуговування та виробничим підрозділами виконується за маятниковою схемою. Необхідно визначити середню відстань перевезень.

В фаховій літературі [1] показано, що обсяг транспортної роботи пропорційний добутку площі елементарної частини круга на відстань до точки, відносно якої виконується розрахунок. Тоді еквівалент транспортної роботи по сектору відносно центру вписаного в сегмент кола з мізерним відхиленням становить:

$$W_c \cong \omega_k + 2\omega_{OPN} + 4\omega_{NBT} + 2\omega_{EBZF} , \quad (1)$$

де ω_k – еквівалент транспортної роботи по колу;

ω_{OPN} , ω_{NBT} , ω_{EBZF} - еквівалент транспортної роботи відповідно до позначення індексу геометричної фігури (рис. 3.2)

Еквівалент транспортної роботи по колу складає:

$$\omega_k = \int_0^{r_o} 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_o^3}{3} . \quad (2)$$

Еквівалент транспортної роботи по трикутнику $\triangle OPN$ з криволінійною стороною PN визначався за процедурою одержання наближеного результату довжини криволінійної сторони через те, що в процесі встановлення параметрів трикутника виникає випадок, який унеможливорює одержання точного рішення [2].

Еквівалент транспортної роботи стосовно частини сегменту $\triangle ONP$ з урахуванням залежностей (3.25), (3.26), (3.29), (3.31), (3.33) визначаємо:

$$\begin{aligned} \omega_{OPN} = \int_{r_o}^a r^2 \cdot \gamma \cdot dr = \int_{r_o}^a r \cdot (c - b \cdot (r - r_o)) \cdot (a - r) \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot dr = a^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \left(\frac{c + a \cdot b \cdot \sin \alpha}{2} \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \alpha - \frac{c + a \cdot b \cdot (1 + \sin \alpha)}{3} \cdot (1 - \sin^3 \alpha) + \frac{a \cdot b}{4} (1 - \sin^4 \alpha) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогічно визначаємо еквівалент транспортної роботи стосовно частини сегменту $\triangle NBT$:

$$\begin{aligned} \omega_{NBT} = a_1^3 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \left(\frac{c_1 + a_1 \cdot b_1 \cdot \sin \beta}{2} \cdot \cos^2 \beta - \frac{c_1 + a_1 \cdot b_1 \cdot (1 + \sin \beta)}{3} \times \right. \\ \left. \times (1 - \sin^3 \beta) + \frac{a_1 \cdot b_1}{4} \cdot (1 - \sin^4 \beta) \right) \end{aligned} . \quad (4)$$

Еквівалент транспортної роботи для сегменту $EBZF$ визначали наближеним розрахунком за залежністю:

$$\omega_{EBZF} = \left(2 \cdot \arcsin \frac{1 + \sin \alpha - \cos \alpha}{1 + \sin \alpha} - \sin \left(2 \cdot \arcsin \frac{1 + \sin \alpha - \cos \alpha}{1 + \sin \alpha} \right) \right) \times$$

$$\times \frac{R^3}{4 \cdot (1 + \sin \alpha)} \left(\sin \alpha + \sqrt{1 + (1 + \sin \alpha) \cdot (1 + \sin \alpha - 2 \cdot \cos \alpha)} \right) \quad (5)$$

Еквівалент обсягу перевезень по всій площі сектору має вид:

$$Q_c = R^2 \cdot \alpha . \quad (6)$$

Середню відстань перевезень розраховують за формулою

$$l_c = \frac{W_c}{Q_c} . \quad (7)$$

Перевірка достовірності результатів розрахунку за запропонованою схемою виконувалась шляхом порівняння значень безпосереднього виміру параметрів різних за величиною секторів та даними одержаними розрахунком. Місце розташування виробничих підрозділів, що забезпечує мінімальне значення еквіваленту транспортної роботи, виконували на основі результатів безпосередніх вимірів параметрів секторів з різними величинами центрального кута шляхом варіюванні відстані між центром круга та місцем розташування пункту. Результати дослідження наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунку та безпосередніх замірів параметрів секторів
для круга радіусом 10 см**

Кількість виробничих підрозділів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Еквівалент транспортної роботи, см ³										
- за розрахунком	2094	-	1257	1092	983	916	875	853	843	841
- за вимірюванням	-	1600	1270	1119	1006	901	860	826	807	796
- відхилення результатів, %	-	-	-1,0	-2,5	-2,3	1,6	1,8	3,3	4,5	5,6
- мінімальний	2094	1576	1270	1119	1006	901	850	826	788	786
Оптимальна відстань від кола до місця розташування пункту перевалки (з відхиленням ±0,5), см	0	6,0	4,6	4,1	3,7	3,3	3,5	2,8	3,6	3,4
Зміна транспортної роботи при відхиленні від оптимального місця розташування пункту перевалки на відстань до 0,1R від оптимальної, %	-	1,5	3,5	2,5	2,4	1,9	0,5	1,0	2,4	1,9
Оптимальна відстань від центру круга до місця перевалки, см	0	4,0	5,4	5,9	6,3	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7

В основу визначення оптимальної відстані розташування пункту перевантаження у напрямку від центру кола до його межі покладені гіпотези: при поділі території круг від 3 до 6 секторів мінімальна транспортна робота спостерігається, якщо місце перевантаження розташоване на відстані рівній радіусу вписаного в сектор кола, а при поділ на 6 і більше секторів – оптимальна відстань дорівнює середній відстані перевезень визначеній за кругом. Цей твердження обґрунтоване значенням коефіцієнту кореляції 0,972, що з надійністю висновку 0,99 вказує на наявність зв'язку між теоретичними значеннями та даними спостережень.

Аналіз результатів виконаного дослідження свідчить:

- запропонована методика розрахунку забезпечує отримання результатів у межах від 1,0 % до 5,6 % від дійсних значень, що дозволяє її використання в інженерних розрахунках;
- виявлено, що при поділі міста на зони обслуговування за секторами з геометричної точки зору темпи падіння транспортної роботи очікується незначними при розділі території більше чим на вісім частин (до 2,3%);
- порівнянням результатів в області допустимих значень параметрів ділянок ($N_{\text{пер}} > 2$) розрахункової схеми доведена гіпотеза про місце оптимального розташування перевантажувального майданчика, яке при $2 < N_{\text{пер}} \leq 6$ співпадає з центром вписаного в сектор кола, а при $N_{\text{пер}} \geq 6$ – співпадає зі значенням середньої відстані перевезень визначеної за кругом;
- зміна транспортної роботи при відхиленні від оптимального місця розташування пункту перевалки на відстань до 10% від радіуса міста припустима з інженерної точки зору, що надає широкі можливості проектувальникам для визначання місця будівництва перевантажувального пункту.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Правдин Н.В.* Взаимодействие различных видов транспорта / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев. — М. : Транспорт, 1989. — 208 с.
2. *Рывкин А.А.* Справочник по математике / А. А. Рывкин, А. З. Рывкин, Л. С. Хренов. — М. : Высшая школа, 1975. — 554 с.
3. *Процик О.П.* Підвищення ефективності перевезень твердих побутових відходів : автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / О. П. Процик. — К.; 2009. — 17 с.
4. *Говорущенко Н.Я.* Основы теории эксплуатации автомобилей / Н. Я. Говорущенко. — К.: Вища шк., 1971. — 232 с.