

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7/.8

Дзюба П.П., канд. техн. наук, Шкіт М.А.

УДОСКОНАЛЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ДОРОЖНІХ РОЗВ'ЯЗОК В ОДНОМУ РІВНІ

Анотація. Наведені теоретичні передумови, які дозволяють забезпечити комфортний та безперешкодний проїзд автопоїздів на перехрещенні доріг в одному рівні.

Ключові слова: автомобільна дорога, перехрещенні доріг в одному рівні, автопоїзд.

Аннотация. Приведены теоретические предпосылки, которые позволяют обеспечить комфортный и беспрепятственный проезд автопоездов на пересечении дорог в одном уровне.

Ключевые слова: автомобильная дорога пересечение дорог в одном уровне, автопоезд.

Annotation. The theoretical background to ensure a comfortable and unhindered travel trailers at the intersection of roads at the same level.

Keywords: road, intersection of roads at the same level, artic.

Ділянки перехрещення автомобільних доріг в одному рівні між собою більш завантаженні, ніж прямолінійні ділянки, оскільки інтенсивність руху по перехрещенню дорівнює сумі інтенсивностей по дорогам, які перехрещуються. Умови руху на пересіченні для автомобілів, які прямують по прямим маршрутам перешкоджають іншим автомобілям, які здійснюють маневри повороту. Особливо це помітно при русі автопоїздів, економічна ефективність використання яких цілком беззаперечна при перевезенні великогабаритних вантажів.

Крива, яку описує задня вісь автопоїзда не відповідає кривій, яка нормується в нормативних документах. Враховуючи, що форма і розміри смуги криволінійного руху являються головними при проектуванні проїздів, з'їздів та

інших елементів дорожніх розв'язок потрібно більш детально проаналізувати смугу криволінійного руху автопоїзда.

Модель кривої будується при русі автопоїздів на малих швидкостях. Це обумовлено незабезпеченістю проїздів для даних видів транспорту.

Описати єдину форму кривої заднього моста автопоїзда не можливо, за рахунок різних довжин та габаритів. Тому найбільш доцільно є побудова кривої для транспортних засобів, які найбільш часто зустрічаються в нашій країні. Для розрахунку був прийнятий: 120-а сцепка, яка складається з тягача, довжиною 8,60 м та причеп, довжиною 15,20 м, а загальна довжина в складі автопоїзда 23,69 м, та вантажопід'ємністю 20 т, вантажна місткість 120 м³.

При побудові моделі руху цього автопоїзда на 180⁰ (рис. 1).

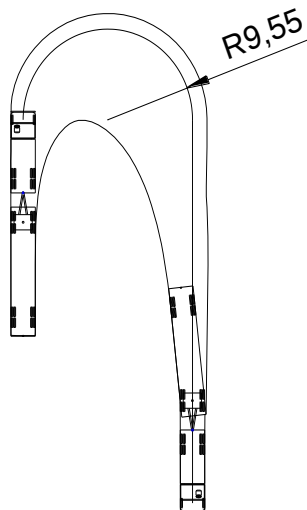


Рисунок 1 – Схема повороту 120-ої сцепки на 180⁰

З (рис. 1) видно, що радіус в верхній точці траєкторії тягача можливо визначити за формулою:

$$R_0 = L_0 \operatorname{ctg} \gamma_0, \quad (1)$$

де R_0 – миттєвий радіус основної траєкторії;

L_0 – величина бази тягача;

γ_0 – кут повороту ведучих коліс.

Крива опису траєкторії руху заднього моста має вигляд подібний до параболи. Розбивши цю криву на дві вітки: праву та ліву, можливо математично описати.

Ліва вітка



Рисунок 2 – Графік для опису кривої (ліва вітка) траєкторії заднього мосту автопоїзда

Рівняння цієї кривої має вигляд

$$y_1 = 0.046 \cdot x^3 - 0.348 \cdot x^2 + 0.974 \cdot x - 0.722, \quad (2)$$

Права вітка

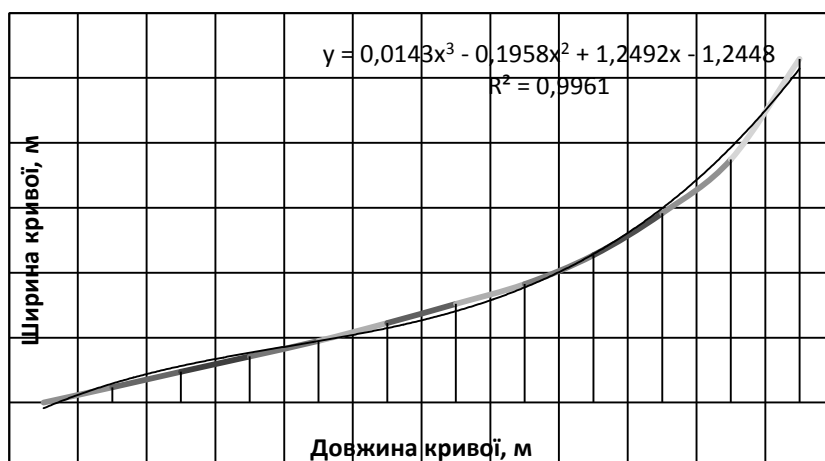


Рисунок 3 – Графік для опису кривої (права вітка) траєкторія руху заднього мосту автопоїзда

Рівняння цієї кривої має вигляд

$$y_2 = 0.014 \cdot x^3 - 0.195 \cdot x^2 + 1.249 \cdot x - 1.244. \quad (3)$$

Основна траєкторія ділить габаритну смугу руху на дві частини. Зовнішню частину траєкторії і зовнішньою габаритною кривою, внутрішня частина – основною траєкторією і внутрішньою габаритною кривою (рис. 4).

Дві частини рівні між собою по ширині при русі на прямолінійних ділянках, але ця рівність порушується при здійсненні маневрів; крім того, кожна із складових частин смуги руху робиться ширше в порівнянні з її величиною при прямолінійному русі.

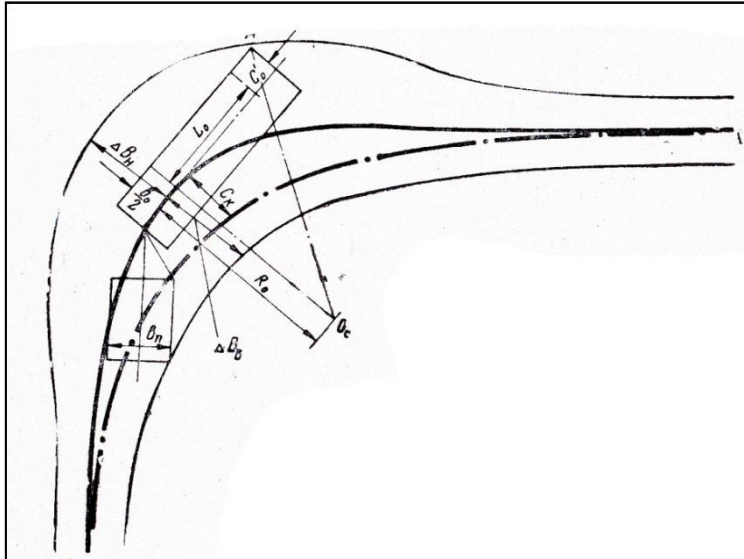


Рисунок 4 – Схема типової смуги руху автопоїзда

Ширина зовнішньої складової смуги руху автопоїзда, як видно із схеми приблизно рівна:

$$\Delta B_H \cong \sqrt{\left(R_0 + b_0/2\right)^2 + (L_0 + C_0)^2} - R_0, \quad (4)$$

де ΔB_H – ширина зовнішньої складової смуги руху, м;

R_0 – миттєвий радіус основної траєкторії, м;

b_0 – габаритна ширина причепа, м;

L_0 – величина бази тягача, м;

C_0 – передній звіс, м.

Як видно з формули (4) величина ΔB_H залежить від миттєвого радіуса основної траєкторії R_0 , а також від геометричних розмірів ведучого тягача. При збільшенні R_0 , ΔB_H – зменшується.

Ширина внутрішньої складової смуги руху автопоїзда дорівнює:

$$\Delta B_B \cong C_K + b_n/2, \quad (5)$$

де ΔB_B – ширина внутрішньої складової смуги руху;

C_k – здвиг траєкторії середини ходової осі причепа і задньої осі причепа по відношень до основної траєкторії;

b_{Π} – габаритна ширина тягача.

Здвиг траєкторії C_k залежить в основному від кількості причепів (напівпричепів), конструкції поворотного пристрою.

Виходячи з формул (4) і (5) можливо визначити максимальну ширину смуги руху для даного автопоїзда за рахунок теоретичної побудови при куті повороту на 90^0 і залежність від мінімального радіуса R_0 повороту.

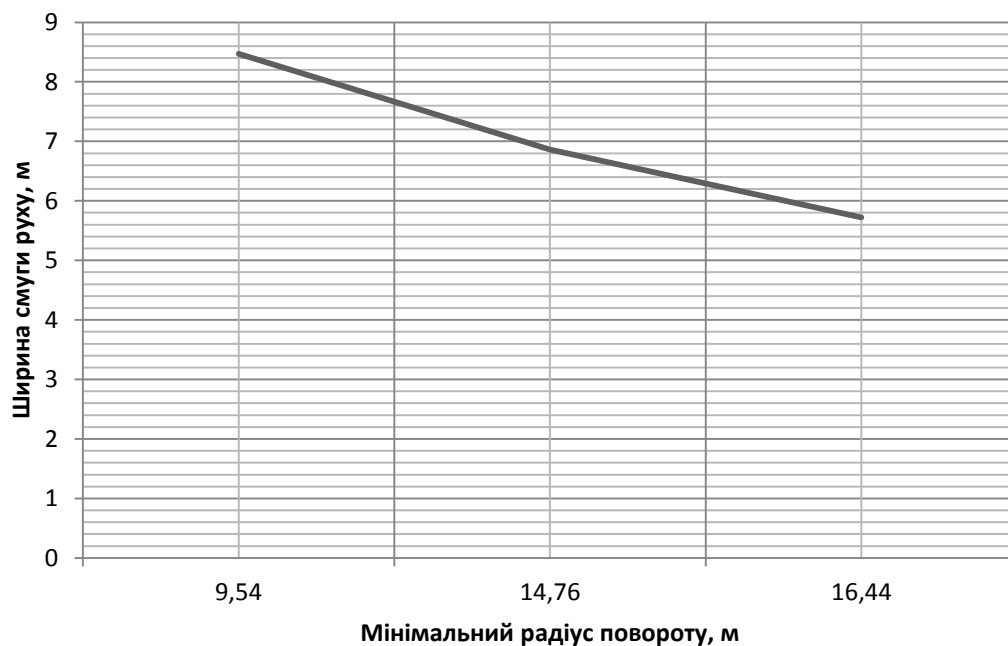


Рисунок 5 – Ширина смуги руху в залежності від мінімального радіуса повороту

Висновок

При використанні теоретичних побудов можливо забезпечити комфортний та безперешкодний проїзд на перехрещенні автопоїздів, надавши перехрещенням відповідних геометричних розмірів.

Література

1. Закин Я.Х. Геометрические параметры сооружений автомобильного транспорта при использовании автопоездов. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 44 с.
2. Резник В.Н. Исследование транспортных потоков и организация движения на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в одном уровне. – К.: Высшая школа, 1974. – 27 с.

Мусяненко И.В., канд. техн. наук, Ткаченко А.Е.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПО МАКСИМАЛЬНЫМ РАДИУСАМ

Аннотация. В статье был предложен подход к оптимизации трассы автомобильной дороги по максимальным радиусам. Цель данного подхода – автоматизировано найти максимально возможные радиусы для тангенциального хода. Предложен метод единого максимального радиуса при котором разбивка расстояния между углами поворота осуществляется пропорционально величинам углов поворота.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования автомобильных дорог, трасса, радиус в плане, тангенс, угол поворота.

Анотація. У статті було запропоновано підхід щодо оптимізації траси автомобільної дороги за максимальними радіусами. Мета даного підходу автоматизовано знайти максимально можливі радіуси для тангенціального ходу. Запропоновано метод єдиного максимального радіуса при якому розбивка відстані між кутами повороту здійснюється пропорційно величинам кутів повороту.

Ключові слова: система автоматизованого проектування автомобільних доріг, траса, радіус в плані, тангенс, кут повороту.

Annotation. The approach of road route optimization using maximum radius has been proposed. The purpose of this approach – is to automated find possible maximum radius in plan for tangential course. The method of common maximum radius has been proposed. According to this method, break down of distance between angles of turn is proportional to the angles turn values.

Keywords: computer-aided design of roads, road route, radius in plan, tangent, the angle of turn.

Введение

В дорожно-строительной отрасли в наибольшей степени компьютеризирована сфера проектирования дорог. Компьютеризация этой сферы осуществляется путём внедрения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР АД). Современные САПР АД включают:

- CAD(англ. computer-aided design/drafting)– технологии автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования;

- CAE (англ. computer-aided engineering) – технологии автоматизации инженерных расчётов;

- CAM (англ. computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства.

Современная САПР АД – это организационно-техническая система, которая не замыкается на прикладной программе, а изменяет уровень организации производства проектного продукта.

Следует выделить два основных преимущества внедрения САПР АД в производство:

- 1) улучшение качества проектных решений;
- 2) сокращение сроков проектно – изыскательских работ.

Второе преимущество очевидно, и не требует пояснений. Понятие «качества» проектных решений необходимо рассмотреть более подробно.

Под качеством проектных решений целесообразно понимать проектирование такой пространственной линии трассы, которая бы наибольшим образом отвечала требуемым критериям.

Можно выделить три базовых критерия проектирования пространственной линии трассы автомобильной дороги:

- 1) экономический критерий;
- 2) критерий безопасности движения;
- 3) экологический критерий.

Анализируя, современные наиболее используемые на территории СНГ САПР АД [1-3], можно констатировать тот факт, что, направление улучшения качества проектных решений является очень актуальным. На наш взгляд это связано с тем, что развитие технического обеспечения САПР АД опережает развитие методического обеспечения, вследствие чего должна меняться постановка задачи. Производительность вычислительной техники растёт, и это не может не отражаться на внутренней структуре алгоритмов.

Проектирование трассы автомобильной дороги – многоэтапный процесс. Вариативность прохождения трассы автомобильной дороги между исходным и конечным пунктом зависит от двух базовых факторов:

- 1) необходимость изменения положения оси трассы в горизонтальной плоскости (ситуация, геология);
- 2) необходимость изменения положения оси трассы вследствие рельефных факторов.

Изменение положения оси трассы в горизонтальной плоскости при использовании принятых методов трассирования осуществляется с

использованием принципа полигонального трассирования или принципа «гибкой линейки».

Первый принцип предполагает создание магистрального хода, в изломы которого вписываются круговые и переходные кривые. Проектировщик должен принять решение относительно:

- 1) расстояний между вершинами углов поворота S_i ;
- 2) величин углов поворота Θ_i ;
- 3) радиусов углов поворота R_i .

Величины расстояний между вершинами углов поворота и сами углы поворота зачастую имеют большую зависимость от ситуационных и геологических факторов; что же касается радиусов углов поворота, здесь из условия безопасности движения есть требование максимизации. Проектировщик должен знать, какой максимальный радиус он может вписать в данный угол поворота. Эта, а также нормативная информация может быть отправной точкой принятия дальнейших проектных решений. Украинские нормы регламентируют минимальные радиусы (в зависимости от типа рельефа и технической категории автомобильной дороги), а также регламентируют рекомендуемый радиус (3000 м) [4].

В данной статье предлагается рассмотрение метода единого максимального радиуса:

- 1) общий подход – итерационное приближение к искомой величине;
- 2) радиус двух смежных углов поворота одинаковый;
- 3) итерационное увеличение радиуса на двух углах поворота приводит к пропорциональному увеличению тангенсов до определённой **точки стыковки** (рис. 1);
- 4) радиус, при котором достигается точка стыковки и будет максимальным.

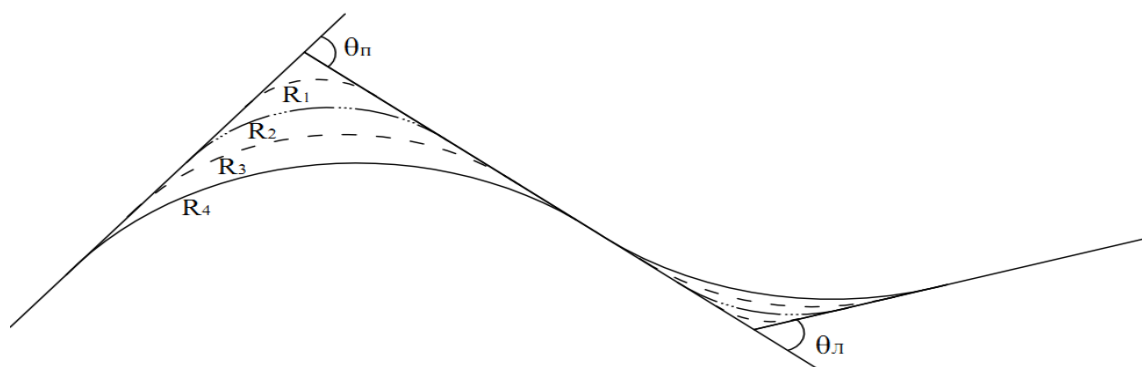


Рисунок 1 – Схема нахождения единого максимального радиуса

Результат: такой подход даёт возможность получить пропорциональные величинам углов поворота плечи разгона радиусов. Эта пропорциональность

может служить критерием оптимальности для построения более сложных схем оптимизации.

Практическую реализацию данного метода целесообразно осуществлять через программирование. Схема алгоритма реализации метода единого максимального радиуса приведена на рис. 2.

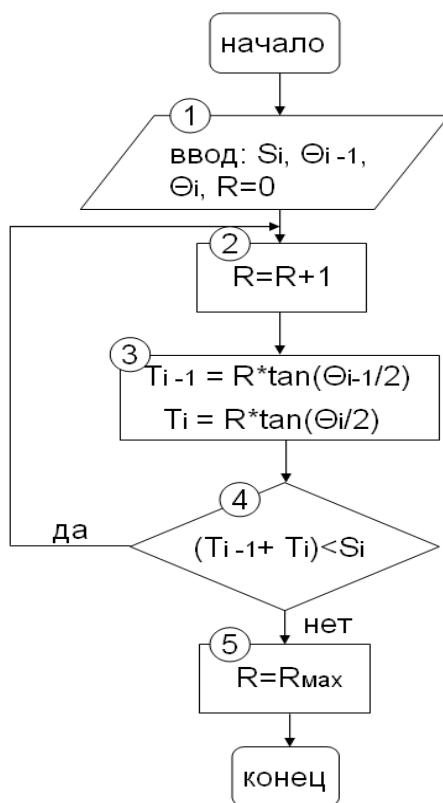


Рисунок 2 – Схема алгоритма реализации метода единого максимального радиуса

Поэтапное рассмотрение схемы алгоритма:

1) ввод исходных данных: расстояние между вершинами углов поворота S , величины двух смежных углов поворота, начальный радиус инициализируем через нуль;

2) присваиваем радиусу значение 1 м;

3) рассчитываем для этого значения радиуса тангенсы первого и второго углов поворота;

4) проверяем условие: сумма тангенсов первого и второго углов поворота меньше расстояния между вершинами углов поворота, если «да» - увеличиваем радиус ещё на один метр;

5) если «нет» - наш последний радиус является максимальным.

Данный цикл, например в языке программирования C++, целесообразно реализовывать написав соответствующую функцию с использованием оператора цикла `while` (поскольку количество итераций не известно).

Общая схема оптимизации трассы по максимальному радиусу состоит из следующих этапов:

1) максимальные радиусы в первой и последней вершине углов находятся по вышеприведенной схеме, но условие будет другим: тангенс угла поворота меньше расстояния от начала трассы до первого угла поворота (меньше расстояния от последнего угла поворота до конца трассы);

2) на каждом расстоянии между вершинами углов поворотов (кроме S первого и S последнего) находится максимальный радиус вышеприведенным методом;

3) последующий радиус корректирует предыдущий с пересчётом плечей разгона радиусов;

4) при необходимости можно поставить ограничение максимального радиуса 3000 м.

В том случае, если необходимо расположить на расстоянии S отрезок прямой вставки (либо по требованию норм, либо при вписании моста, путепровода и т.д.), максимальный радиус находится по требуемому тангенсу.

Подводя итог, следует выделить следующие основные моменты:

1) в данной статье был предложен подход к оптимизации трассы автомобильной дороги по максимальным радиусам;

2) цель данного подхода – автоматизировано найти максимально возможные радиусы для тангенциального хода (ограничив их при надобности 3000 м);

3) предложен метод единого максимального радиуса при котором разбивка расстояния между углами поворота осуществляется пропорционально величинам углов поворота;

4) для описания метода были введены две геометрические характеристики: точка стыковки – точка, расположенная на отрезке S (между вершинами углов поворота), в которой состыкуются тангенсы смежных углов поворота при условии равных радиусов; плечо разгона радиуса – отрезок вдоль которого автоматически вписывается радиус;

5) на следующем этапе необходимо рассмотреть оптимизацию трассы автомобильной дороги по максимальным биссектрисам.

Литература

1. <http://www.credo-dialogue.com>
2. <http://www.indor.ru/>
3. <http://topomatic.ru/>
4. ДБН В.2.3-4-2007. Автомобільні дороги. – К.: Мінрегіонбуд України – 91 с.

Петрович В.В., канд. техн. наук., Артеменко В.А.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ ПРИРОДНИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ SVD – РОЗКЛАДЕННЯ

Анотація. Наведено процедуру прогнозування часових рядів спостережень на базі методу SVD – розкладення. Можливості програмного комплексу прогнозування розглянуті на прикладі подовження часових рядів середньорічних значень чисел Вольфа.

Ключові слова: часові ряди спостережень, метод прогнозу на базі SVD – розкладення, попередня обробка даних, довгостроковий прогноз середньорічних значень чисел Вольфа.

Аннотация. Приведена процедура прогнозирования временных рядов наблюдений на основе метода SVD – разложения. Возможности программного комплекса прогнозирования рассмотрены на примере продления временных рядов среднегодовых значений чисел Вольфа.

Ключевые слова: временные ряды наблюдений, метод прогнозирования на основании SVD – разложения, предварительная обработка исходных данных, долгосрочный прогноз среднегодовых значений чисел Вольфа.

Annotation. In article is given procedure is used for forecasting of the time series. Given procedure is based on Singular Value Decomposition (SVD). On base given procedure was created programme complex for forecasting of the time series. The work of the programme complex was demonstrated on example of the forecast mean year values of the Wolf's numbers.

Keywords: Singular Value Decomposition (SVD), programme complex for forecasting of the time series, mean year values of the Wolf's numbers.

Вступ

Часові ряди різних природних явищ та процесів підпорядковуються дуже складним законам.

Найкращий прогноз поведінки таких рядів можливий лише при умові, якщо відомі всі причинно-наслідкові зв'язки, що породжуються цими явищами або процесами. Але якщо такі зв'язки у повній мірі невідомі, виникають труднощі з прогнозом. Дуже спрощено із цих позицій можна, наприклад, пояснити, чому методи прогнозу погоди задовільно працюють лише на інтервалі часу 3-5 діб, тоді як прогнози температури та атмосферних опадів на певні періоди наступного року взагалі лише вельми умовні.

Починаючи з кінця минулого сторіччя почали розробляти методи прогнозування, що використовували лише часовий ряд спостережень. При цьому відповідні причинно-наслідкові зв'язки та закони, що формують цей часовий ряд, на першому етапі досліджень взагалі невідомі.

Більшість природних явищ та процесів пропонується розглядати зараз з точки зору теорії детермінованого хаосу, оскільки, по-перше, такі процеси та явища породжують часові ряди, які не прагнуть до нуля або нескінченності, складний процес коливань в яких не припиняється, і, по-друге, поведінка цих рядів не є періодичною або випадковою, тобто окремі фрагменти ряду можуть повторюватися, але кожний раз по-іншому. В поведінці таких рядів немає строгої періодичності, але і абсолютного хаосу теж немає [1, 2].

У виразі "детермінований хаос" визначення "детермінований" характеризує клас рівнянь, що описують хаос (у рівняннях відсутні випадкові функції у тому розумінні, як це прийнято власне у теорії ймовірностей), тоді як термін "хаос" відповідає характеру процесу, що досліджується (обмежена завбачність, локальна нестійкість, та інше).

Сучасні методи прогнозування процесів на базі теорії детермінованого хаосу можуть бути умовно розподілені на дві групи.

До першої групи слід віднести методи прогнозу, що використовують рівняння, яким притаманний хаотичний характер рішень. Такі прогнози можливі лише на відносно невеликі проміжки часу, оскільки навіть незначна погрішність у початкових умовах або коефіцієнтах рівнянь робить неможливим надійний прогноз на великі проміжки часу.

Методи другої групи – це так звані методи якісного прогнозування. В основу цих методів покладені процедури, які самостійно аналізують вихідний ряд та виявляють закони, що визначають в подальшому поведінку ряду. Далі ці закони (взаємозв'язки) використовуються безпосередньо при прогнозуванні.

Якщо для прогнозування на базі рішень "хаотичних" рівнянь існує певна межа завбачності, яка часто виражається через старший показник Ляпунова, то для методів прогнозу другої групи такого жорсткого обмеження не існує. Крім того, для другої групи методів є більше можливостей "обійти" різноманітні перешкоди, що часто виникають при прогнозуванні хаотичних часових рядів.

Метою роботи є розробка алгоритму та адаптація одного із методів якісного прогнозування часових природних рядів-методу SVD - розкладення (Singular Value Decomposition).

Метод SVD – розкладення

За останні роки почали більш активно використовувати методи, що базуються на розкладенні на природні ортогональні складові або функції (розкладення Карунена - Лоева). Універсальність цих методів полягає в тому, що певним прийомом можуть бути вирішені як задачі класифікації, аналізу, так і прогнозу поведінки різних часових рядів.

В [3] наведена стисла теорія цих методів, що базується на знаходженні власних значень та власних векторів коваріаційної або кореляційної матриці, яку одержують із часового ряду.

Процедури SVD – розкладення розглянуті в [4, 5]. Ці процедури є також основою деяких методів прогнозування часових рядів [6].

Однак слід зазначити, що практичні аспекти прогнозування часових природних рядів методом SVD – розкладення у відповідній літературі не розглянуті.

Зважаючи на це, авторами розроблено універсальну процедуру, яка дозволяє прогнозувати будь-які часові ряди.

Далі розглянемо із загальних позицій основні положення SVD – розкладення на прикладі бінарної матриці (матриці, елементи якої представлені лише числами 0 та 1). Звісно, що така матриця може представляти собою певне «зображення» (чорний колір-число 0, білий колір-число 1).

SVD - розкладення такої матриці дозволяє одержати ряд гармонік. При цьому кожна гармоніка – це також матриця, що має такі ж самі розміри, як і вихідна матриця «зображення».

Перші, найбільш «низькочастотні» гармоніки такого розкладення – це складові, що вносять найбільший вклад (у процентному плані) у вихідне «зображення». Відповідно, останні, найбільш "високочастотні" гармоніки вносять найменший вклад у вихідне "зображення" (це незначні деталі «зображення»).

Враховуючи той факт, що усунення із вихідного сигналу будь-яких його складових є фільтрацією, у даному випадку можна вже говорити про SVD – фільтрацію та SVD – фільтр.

Особливістю такого SVD – фільтра є те, що за його допомогою можуть бути виділені складові (гармоніки), що вносять найбільший вклад у вихідний сигнал, та, відповідно, відкинуті складові, які вносять найменший вклад у цей сигнал.

У даному разі слід зазначити, що при використанні класичного Фур'є - фільтру також можуть бути усунені високочастотні складові із сигналу. Однак, якщо такі складові все ж вносять певний вклад у вихідний сигнал, це може призводити до досить сильних його викривлень. Тобто, для Фур'є - фільтру не має особливої різниці, - вносять вищі гармоніки значний вклад у вихідний сигнал, або ні, все одно вони (гармоніки) усуваються із вихідного сигналу.

При SVD – розкладенні вищі гармоніки завжди вносять лише незначний вклад у вихідний сигнал, тому їх усунення не призводить до значного викривлення вихідного сигналу. Таким чином, "низькочастотний" SVD – фільтр усуває лише складові (гармоніки), які вносять незначний вклад у вихідний сигнал.

В дослідженні будемо використовувати векторно - матричну нотацію, що прийнята у системі MATLAB [7,8].

SVD – розкладення у MATLAB представлено функцією SVD().

SVD – процедура вхідну матрицю M розкладає на три матриці (A, B та C):

$$[A,B,C]=SVD(M),$$

$$\text{або } M=A*B*C^T.$$

У даному випадку M є квадратною або прямокутною матрицею, а не матрицею у вигляді вектора - стовпця або вектора – строки вихідного часового ряду. Тому перш за все необхідне перетворення вектора - стовпця (вектора-строки) у квадратну або прямокутну матрицю.

Тобто, із сучасних позицій, це є відбудова багатовимірної динамічної системи по одновимірному часовому ряду [2]. У даному випадку така відбудова виконується за допомогою траєкторної матриці (матриці затримок). Розмірність траєкторної матриці DIM – це число її стовпців.

Для вихідного ряду, наприклад,

$$S=[1;2;3;4;5;6] \quad (1)$$

при $DIM=1$ одержуємо траєкторну матрицю у вигляді

$$M = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix},$$

де 1-перший елемент ряду, 6 – останній елемент ряду.

При $DIM = 2 \dots DIM=6$ відповідно маємо:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 6 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix},$$

$$M = [1; 2; 3; 4; 5; 6].$$

Таким чином, елементи ряду вичерпані.

При довжині ряду L

$$\begin{aligned} DIM &= 1 \dots L, \\ \text{або } DIM &\in [1; L]. \end{aligned} \quad (2)$$

У більшості випадків практичного прогнозування DIM складає приблизно 10 %...90% від загальної довжини вихідного ряду.

Для прогнозування вихідного ряду S необхідно також знати кількість головних компонент NMC (Number of Main Components), а також величину NS- на скільки значень (точок) подовжуємо вихідний ряд.

NMC дозволяє розглядати частину траєкторної матриці, але ця частина містить в собі найбільш значущі закономірності (у процентному плані їх вкладу у поведінку ряду). NMC розглядається для всіх матриць, що беруть участь у процедурі (у їх взаємозв'язку).

У загальному випадку параметр NMC може приймати значення від 1 до DIM.

Розглянемо процедуру прогнозування, яка приймає як вхідний аргумент вектор – стовпець. Тому перш за все виконаємо перетворення вектор – строки у вектор – стовпець за допомогою команди MATLAB $S = S(:, :)$.

В результаті одержуємо

$$S = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Поставимо задачу подовжити ряд (3), наприклад, на три значення вперед, тобто одержати ряд довжиною 9 значень (точок).

3 точки зору реального прогнозування

$$NMC = 1 \dots (DIM-1), \quad (4)$$

або $NMC \in [1; DIM[$.

Сумісний розгляд залежностей (2) та (4) дає співвідношення

$$\begin{cases} DIM = 2 \dots L \\ NMC = 1 \dots (L - 1), \end{cases} \quad (5)$$

яке свідчить про певні складнощі підбору параметрів процедури прогнозування при значній довжині L вихідного ряду.

В результаті числових експериментів авторами встановлено, що у більшості випадків можливо одержати якісні результати прогнозування при виборі параметрів

$$\begin{cases} \text{DIM} = 2 \dots L \\ \text{NMC} = \text{DIM} - 1, \end{cases} \quad (6)$$

оскільки потрібно вибирати лише один параметр прогнозування (DIM).

Зазначимо, що вираз (6) дозволяє одержувати якісні результати прогнозування тільки для процедури, яка розглядається у статті.

При $\text{DIM} = 3$ одержуємо значення $\text{NMC} = 2$.

Оскільки необхідно подовжити вихідний ряд на три значення, виконуємо три ітерації. В результаті виконання кожної ітерації одержуємо одне нове значення ряду, тобто довжина ряду після кожної ітерації збільшується на одиницю.

Ітерація 1

Сформуємо траєкторну матрицю M із вихідного ряду S за допомогою розробленої авторами процедури (процедуру дивись нижче)

$$M = \text{SERIES_TO_MATRIX_OOOO}(S, \text{DIM}) \quad (7)$$

$$M = \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 6 \end{matrix} \quad (8)$$

Параметр $\text{DIM} = 3$ був попередньо заданий.

Далі виконуємо SVD – розкладення траєкторної матриці M за допомогою вбудованої процедури MATLAB SVD():

$$[A, B, C] = \text{svd}(M) \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
A = & \\
& \begin{bmatrix} -0.2830 & -0.7873 & -0.4001 & -0.3741 \\ -0.4132 & -0.3595 & 0.2546 & 0.7970 \\ -0.5434 & 0.0683 & 0.6910 & -0.4717 \\ -0.6737 & 0.4962 & -0.5455 & 0.0488 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
B = & \\
& \begin{bmatrix} & 13.0112 & & 0 & 0 \\ & 0 & 0.8419 & & 0 \\ & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
C = & \\
& \begin{bmatrix} -0.4177 & 0.8117 & 0.4082 \\ -0.5647 & 0.1201 & -0.8165 \\ -0.7118 & -0.5716 & 0.4082 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{12}$$

Виділяємо далі підматриці із матриць C та S.

$$\begin{aligned}
M1 = C(1:NMC, 1:NMC) &= \begin{bmatrix} -0.4177 & 0.8117 & 0.4082 \\ -0.5647 & 0.1201 & -0.8165 \\ -0.7118 & -0.5716 & 0.4082 \end{bmatrix}; \text{ таким чином} \\
M1 &= \begin{bmatrix} -0.4177 & 0.8117 \\ -0.5647 & 0.1201 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{13}$$

Число строк та число стовпців матриці M1 буде NMC.

$$M2 = S((\text{end}-NMC+1):\text{end}) = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix}, \text{ тобто } \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Число строк матриці M2 буде дорівнювати NMC, а число стовпців відповідно одиниці.

Структури матриць M1 та M2 зберігаються при будь – якому допустимому значенні DIM та NMC.

У даному разі під допустимим значенням DIM припускаємо значення , при якому можливе формування траєкторної матриці, та при якому $NMC \geq 1$.

Наприклад, для ряду (1), що розглядається як методичний приклад, DIM=1 або DIM=10-неприпустимі значення, оскільки при DIM =1 умова $NMC \geq 1$ не буде виконана, а при DIM=10 неможливо сформувати траєкторну матрицю (обмаль членів вихідного ряду).

Далі розв'язуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь, що записана у матричному вигляді ,та знаходимо X:

$$M1 \cdot X = M2, \quad (15)$$

$$\text{або } \begin{bmatrix} -0.4177 & 0.8117 \\ -0.5647 & 0.1201 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \end{bmatrix}.$$

В MATLAB система (15) розв'язується як $X = M1 \backslash M2$.

В результаті одержуємо

$$X = \begin{bmatrix} -10.4592 \\ 0.7780 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Наступний крок – виділяємо підматрицю C1 із матриці C:

$$C1 = C((NMC+1), (1:NMC))$$

$$C1 = \begin{bmatrix} -0.7118 & -0.5716 \end{bmatrix}$$

У матриці C1 число строк дорівнює одиниці, число стовпців дорівнює NMC. Матриця C1 завжди розташовується у лівому нижньому куті матриці C:

$$C = \begin{bmatrix} -0.4177 & 0.8117 & 0.4082 \\ -0.5647 & 0.1201 & -0.8165 \\ -0.7118 & -0.5716 & 0.4082 \end{bmatrix}$$

Нарешті знаходимо перше прогнозне значення для вихідного ряду:

$$D = C1 \cdot X, \quad (17)$$

$$\text{або } D = \begin{bmatrix} -0.7118 & -0.5716 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -10.4592 \\ 0.7780 \end{bmatrix} = 7.0000$$

Тобто одержуємо звичайне число (матрицю розміром 1X1), яке додаємо у кінець ряду S.

S = [S;D]

S =

1.0000

2.0000

3.0000

.....

7.0000

На вхід другої ітерації подаємо вже ряд довжиною 7 значень. Друга ітерація аналогічна першій, тільки оперує з іншими числовими значеннями. Це стосується і наступної, третьої ітерації.

В результаті вихідний ряд був подовжений на три значення вперед.

Розроблена повна версія процедури не тільки перевіряє коректність вхідних даних, але і слідкує за ходом обчислень (проводить контроль точності обчислень на кожному кроці ітерацій і т.і.). З цією метою були розроблені окремі процедури контролю вхідних та вихідних даних.

У статті наведений лише код спрощеної процедури, яка також дозволяє прогнозувати реальні часові ряди. Така спрощена процедура розглядається лише із методичної точки зору, для пояснення сутності методу SVD – розкладення.

У спрощеній процедурі використовуються наступні вхідні параметри:

S - часовий ряд, який необхідно подовжити на NS значень;

DIM - розмірність траєкторної матриці, яка формується всередині процедури;

NMC- кількість (головних) компонент, що враховуються в процесі прогнозування.

Вихідний параметр FS (вектор - стовпець) - це подовжений ряд довжиною LENGTH(S)+NS.

Процедура має вигляд

```
function FS=SVD_FORECAST_0000(S,DIM,NMC,NS);
S=S(:);
FS=S;
for J=1:NS
MO=SERIES_TO_MATRIX_0000(FS,DIM);
[A,B,C]=svd (MO);
M1=C(1:NMC,1:NMC);
%-----%
% ALTERNATIVE :      %
% M1=A(1:NMC,1:NMC); %
%-----%
M2=FS((end-NMC+1):end);
X=M1\M2;
D=C(NMC+1,1:NMC)*X;
%-----%
% ALTERNATIVE :      %
%D=A(NMC+1,1:NMC)*X; %
%-----%
FS=[FS;D];
end
end
```

Зазначимо, що всі процедури працюють також в системі FREEMAT (спрощена версія MATLAB).

При достатньо значній довжині часового ряду S більш доцільно використовувати «економне» SVD - розкладення, яке дозволяє в значній мірі економити пам'ять та прискорювати процес обчислень.

«Економне» SVD - розкладення в MATLAB має вид

$$[A,B,C]=SVD (M,O).$$

Як показали проведені числові експерименти, в процедурі SVD_FORECAST_0000() заміна строки, що відповідає за SVD - розкладення, на строку, що відповідає за "економне" SVD – розкладення, не змінює результату прогнозування.

Як зазначено вище, SVD - розкладення дає в результаті три матриці (A,B,C).

Однак наш приклад базувався на виділенні підматриці із матриці C, оскільки розміри останньої менше розмірів матриці A. При цьому заміна матриці A на матрицю C дає той самий кінцевий результат.

Взагалі, при реалізації метода слід враховувати, що робота із матрицями підвищеного розміру призводить до неекономічної маніпуляції із пам'яттю та зменшення швидкості обчислень.

Процедура SVD_FORECAST_0000() та її «економна» модифікація використовують процедуру формування траєкторної матриці виду

```
function M=SERIES_TO_MATRIX_0000(S,DIM) ;  
M=[ ] ;  
if isempty (S) == true  
return  
end  
S=S ( : ) ;  
N=length (S) ;  
L=N-DIM+1 ;  
if L < 1  
return  
end  
M=zeros (L,DIM);  
for J=1:L  
M(J,:)=S (J+(0 : (DIM-1))).';  
end  
end
```

Оскільки наведена вище методика охоплює практично всі випадки , що можуть зустрічатися на практиці , вона може бути віднесена безпосередньо до класу універсальних процедур прогнозування.

Тестовий приклад. Прогнозування часового ряду чисел Вольфа

Впливу сонячної активності на температуру повітря, процеси випадання атмосферних опадів, сток річок присвячена велика кількість досліджень різних авторів. При цьому у якості вихідного матеріалу здебільшого використовують числа сонячних плям-так звані числа Вольфа W (дивись ,наприклад ,[9-12]).

Незважаючи на чисто спостережний характер цих чисел, ряд W є одним із найдовших рядів спостережень, середньорічні значення якого відмічаються із 1700 року.

Враховуючи тривалість вимірювань, на базі часового ряду чисел Вольфа постійно апробують різні гіпотези та алгоритми.

Проілюструємо далі можливості методу SVD - розкладення на прикладі довгострокового прогнозу ряду чисел Вольфа.

Методика проведення розрахунків полягала в наступному.

1.Завантажували середньорічні значення чисел Вольфа із 1700 по 2010 рік включно із файла WOLF_1700_2010_YEAR та одержували ряд S_INPUT довжиною 311 значень.

2. Знаходили середньоарифметичне значення MV для ряду S_INPUT .

3. Усували середньоарифметичне значення із ряду S_INPUT : $S_INPUT = S_INPUT - MV$.

4. Оскільки фільтрація вихідних даних повинна переважно виконуватися фільтром іншого типу ніж той, який є основою безпосередньої процедури прогнозування, в дослідженні був використаний Фур'є – фільтр. Тому далі проводили Фур'є - фільтрацію ряду S_INPUT , що був одержаний вище, залишаючи тільки 35 перших $\cos()$ та $\sin()$ гармонік у ряді:

$S_FILTERING = FURIE_FILTER_OOOO(S_INPUT, 35)$.

При розрахунках використовували програму, розроблену авторами.

5. Створювали спеціальний ряд довжиною 290 значень (точок) із ряду $S_FILTERING$: $S_TRAINING = S_FILTERING(1:290)$.

6. Задавали значення DIM та $NMC = DIM - 1$, а також кількість точок прогнозу на майбутнє (21 точку):

$NUMBER_OF_FUTURE_POINTS = 21$.

7. За допомогою процедури $SVD_FORECAST_OOOO()$, що наведена вище, виконували прогноз на 21 точку (значення) вперед: $S_FORECASTING = SVD_FORECAST_OOOO(S_TRAINING, DIM, NMC, NUMBER_OF_FUTURE_POINTS)$.

8. Відбудовували середні значення рядів:

$S_FILTERING = S_FILTERING + MV$,

$S_FORECASTING = S_FORECASTING + MV$

9. Будували графіки для 21 останнього значення вихідного фільтрованого ряду $S_FILTERING$ та одержаних значень прогнозного ряду $S_FORECASTING$.

10. Порівнювали реальні та «прогнознi» середньорічні значення чисел Вольфа. У числовому експерименті ступінь (глибина) фільтрації поступово збільшувалась. При цьому проводився безперервний аналіз даних прогнозу з метою досягнення його необхідної точності.

Незважаючи на те, що задача прогнозування із збільшенням ступіня фільтрації значно спрощується, надлишкова фільтрація вже шкідлива, оскільки викривлює залежності, які формують вихідний ряд.

Тому у ході числового експерименту параметри для Фур'є – фільтру фіксувались, а значення DIM та, відповідно, NMC , змінювались.

При прогнозуванні часових рядів, що породжуються реальними процесами, значення DIM можуть досягати величин декількох десятків...сотен (а іноді і більше).

Авторами була розроблена спеціальна програма, що дозволяла проводити анімацію процесу прогнозування при зміні параметру DIM та/або Фур'є - фільтру із можливістю відповідної зміни швидкості анімації та збереження в подальшому цієї анімації у вигляді файла *.AVI (відео – фільма) та звичайного текстового звіту. За допомогою такої програми можливо швидко знаходити значення DIM та параметри Фур'є – фільтрації, при яких досягається найкращий прогноз.

На практиці слід використовувати значення DIM із середини тих значень, при яких спостерігається достатньо робастний прогноз. Тобто не можна використовувати значень, при яких, наприклад, збільшення (або зменшення) величини DIM на одиницю призводить до "розносу" процесу прогнозування (прогнознний ряд спрямовується до нуля або, частіше за все, до нескінченності).

У числовому експерименті значення DIM змінювались від 2 до 290, а значення NMC, відповідно, від 1 до 289.

На рис.1 наведені графіки вихідного ряду середньорічних значень чисел Вольфа (суцільна лінія) та фільтрованого ряду при параметрі Фур'є – фільтру $N=35$ (штрихова лінія). Незважаючи на те, що фільтрований ряд на перший погляд мало відрізняється від ряду вихідного, виконання попередньої фільтрації ряду необхідне, оскільки при прогнозуванні без фільтрації одержуємо незадовільні результати навіть при використанні великих значень DIM.

Результати прогнозування на 21 точку (21 рік) вперед наведені на рис.2.

При значенні DIM=228 прогнозні дані співпадають із реальними даними на протязі приблизно 17 років, а далі спостерігається незначне відхилення прогнозних даних від даних дійсних.

При значенні DIM=229 прогнозні дані співпадають із дійсними даними практично повністю (рис.3.)

При значенні DIM=230 прогнозні дані для 2006-2010р.р. будуть трохи нижче, а при DIM=231-трохи вище дійсних значень.

При DIM=233 прогнозні значення знову співпадають із дійсними значеннями практично повністю, повторюючи графік, наведений на рис.3.

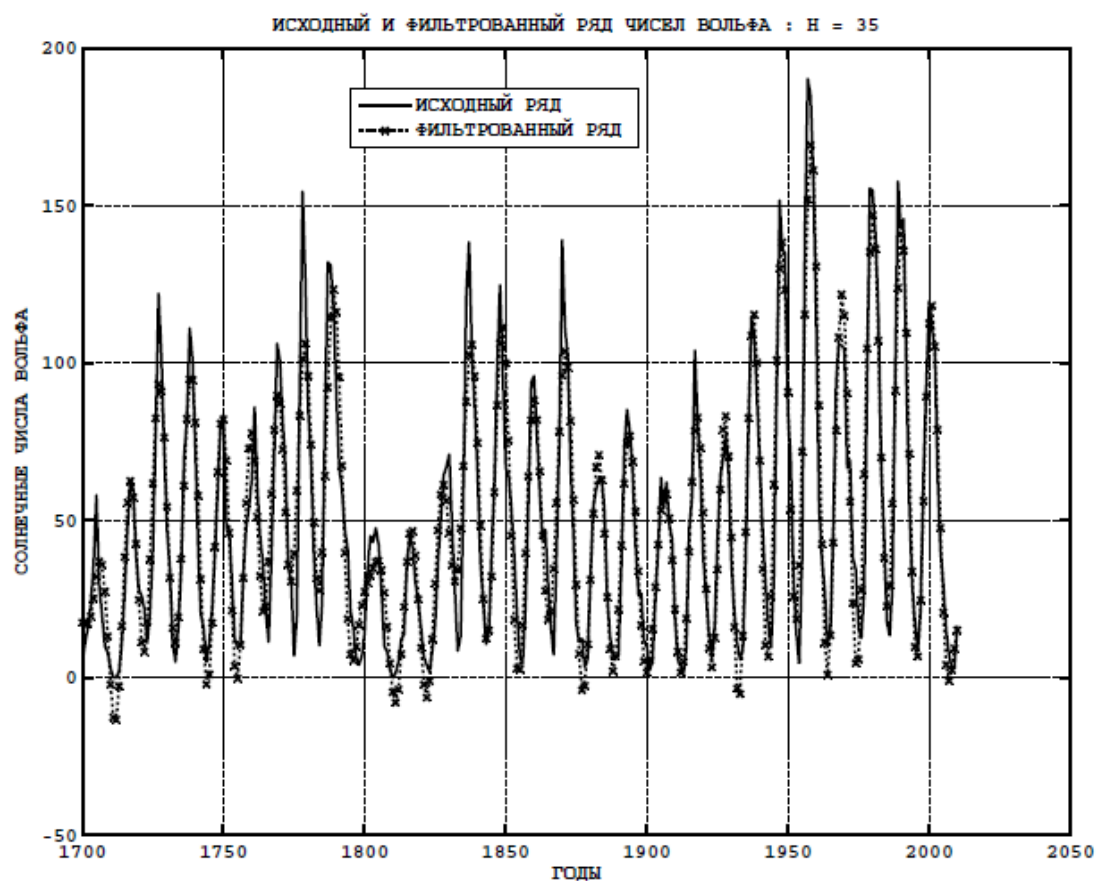


Рисунок 1

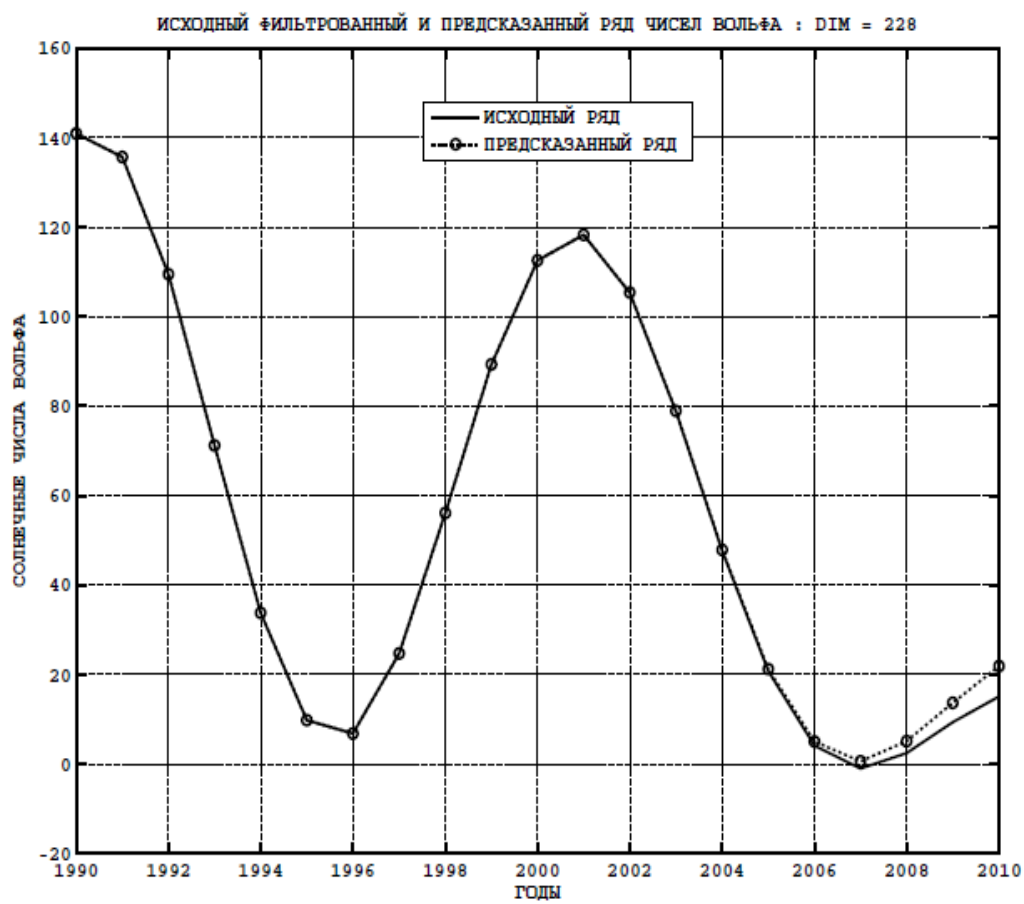


Рисунок 2

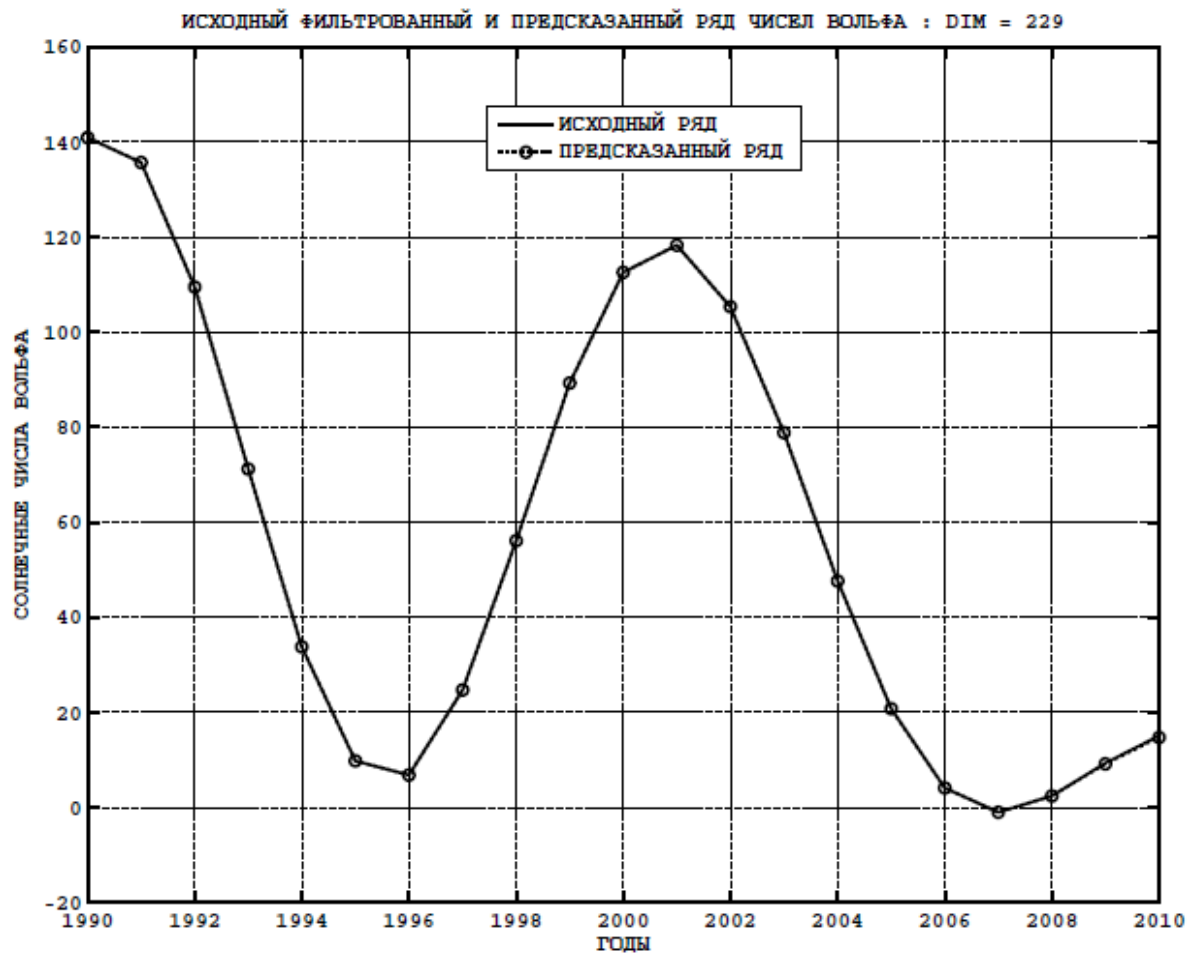


Рисунок 3

Висновки

1. Розроблена процедура прогнозування будь-яких часових рядів методом SVD – розкладення.
2. Розглянута необхідність попередньої фільтрації для рядів даних спостережень та особливості застосування фільтру.
3. Наведені результати прогнозування середньорічних значень чисел Вольфа на період 20 років.

Література

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физматлит. – 2001. – 296 с.
2. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: Изд-во Гос.УНЦ «Колледж». – 2005. – 343 с.
3. Ефимов В.М., Галактионов Ю.К., Шушпанова Н.Ф. Анализ и прогноз временных рядов методом главных компонент. – Новосибирск : «Наука», Сибирск.отд. – 1988. – 71 с.
4. Коханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение. – М.: «Мир». – 1998. – 575 с.
5. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. – М.: «Мир». – 1999. – 548 с.
6. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределённых данных. – М.: Физматлит. – 2003. – 216 с.
7. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: «БХВ-Петербург». – 2005. – 1104 с.
8. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7 : программирование, численные методы. – СПб.: «БХВ-Петербург». – 2005. – 752 с.
9. Журавлёв М.М. Солнечная активность и условия эксплуатации транспортных сетей // Автомобильные дороги. – 1980. – № 3. – С. 25 – 26.
10. Круцык М.Д. Паводки в Украинских Карпатах и солнечная активность // Автомобильные дороги. – 1981. – № 2. – С. 23.
11. Круцык М.Д. Паводки на Закарпатті і сонячна активність // Автошляховик України. – 1993. – № 3. – С. 49 – 50.
12. Петрович В.В., Артеменко В.А. Застосування апарата нелінійної динаміки для аналізу часових рядів гідрометеорологічної інформації // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 80. – К.: Вид-во НТУ, 2011. – С. 121 – 139.

Ряпухин В.Н., канд. техн. наук, Павленко Н.В.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПЕРЕХОДНОГО ТИПА ИЗ ДИСКРЕТНЫХ И МАЛОСВЯЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье рассмотрена методика усовершенствования расчета на прочность дорожных одежд переходного типа из дискретных и малосвязных материалов. Приведены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований в данной области. Представлены практические рекомендации по использованию методики при оценке прочности дорожных одежд переходного типа как для вновь проектируемых, так и для существующих конструкций.

Ключевые слова: дорожная одежда, дискретный материал, прочность, надежность, коэффициент распределительной способности, теория упругости, модуль упругости.

Анотація. У статті розглянута методика удосконалення розрахунку на міцність дорожнього одягу перехідного типу з дискретних і малозв'язних матеріалів. Наведено основні результати теоретичних та експериментальних досліджень в даній області. Представлені практичні рекомендації щодо використання методики при оцінці міцності дорожнього одягу перехідного типу як для знов запроектованих, так і для існуючих конструкцій.

Ключові слова: дорожній одяг, дискретний матеріал, міцність, надійність, коефіцієнт розподільчої здатності, теорія пружності, модуль пружності.

Annotation. The article describes the method of calculation for strength improvements pavement transition from the discrete materials. The main results of theoretical and experimental research in this area. Provides practical advice on the use of methods for assessing the strength of the pavement as the transition to newly designed and existing structures.

Keywords: road pavement, the discrete material, durability, reliability and capacity factor of the distribution, the theory of elasticity, modulus of elasticity.

Дорожных одежд переходного типа на всю толщину устраиваются из дискретных и малосвязных материалов, которые невозможно отнести к классу сплошных материалов, и они не работают на изгиб. Для сплошных материалов

разработаны решения теории упругости слоистых систем, на которых основываются практически все методы расчета дорожных одежд.

С увеличением расчетной нагрузки на дорогах участились случаи отказа дорожных одежд. Зачастую причиной отказа является именно специфическое напряженно-деформированное состояние дискретных слоев, что не учитывается в решении теории упругости. Разработанные решения механики зернистых сред показывают эти особенности, но решения, во многом, носят полуэмпирический характер и требуют проведения предварительных экспериментальных исследований.

Поэтому до настоящего времени теоретическая база и математический аппарат методов расчета нежестких дорожных одежд основываются на линейной теории упругости. Для учета, в какой-то мере, специфики поведения зернистых слоев под нагрузкой в методы расчета вводят поправочные коэффициенты, прежде всего в форме коэффициентов запаса прочности. Однако, это не выход из положения, так как не всегда известна величина погрешности при определении главных напряжений в зернистом или малосвязном слое и, соответственно, достоверность величины напряжений сдвига в слоях из малосвязных материалов не определена.

Основываясь на вышесказанном, повышение надежности расчета нежестких дорожных одежд переходного типа на сдвиг в грунтах земляного полотна и в слоях из малосвязных материалов является актуальной практической задачей.

Для решения задачи повышения надежности расчетов нежестких дорожных одежд переходного типа на прочность следует выделить следующие направления:

- на основе базовых решений теории упругости для многослойных систем разработать усовершенствованное решение, учитывающее специфику распределения усилий в дискретной среде;
- установить природу, физический смысл и метод определения параметра, характеризующего и учитывающего механизм контактного взаимодействия в дискретных материалах слоев;
- разработать практические рекомендации по уточнению расчетов дорожных одежд переходного типа с дискретными слоями.

Анализ существующих моделей распределения нагрузки по глубине дискретного слоя [1-4] позволили сделать вывод о недостаточно полном учет структуры (тип связей) между частицами материала в слое. В связи с этим

возникает необходимость учета характера связей и взаимодействия зерен слоя, в том числе это могут быть пленки вяжущего, воды, ПАВ на контакте зерен.

В конструкциях дорожных одежд переходного типа различаем контактную и контактно-коагуляционную структуру, которые характеризуются наличием и величиной сил трения-сцепления на контакте зерен. Если структура слоя контактно-коагуляционная, то в решение помимо коэффициента трения μ автором предложено вводить и коэффициент сцепления c , действующий на площадь контактирования частиц (пятно контакта). Усовершенствование схемы распределения усилий между зернами предполагает учитывать следующие моменты (рис.1) [5]: чем больше будет трение – сцепление на контакте, тем больше будет касательная реакция на контакте (T_{1-3}) и угол наклона равнодействующей (α_2). В результате увеличится боковая сила Γ и уменьшится вертикальная Q_3 .

В общей сложности с уменьшением размеров зерна общая поверхность контактирования увеличивается, это приводит к тому, что мелкозернистый материал под нагрузкой начинает вести себя как связный, т.е. ближе к теории упругости. По этому принципу мелкозернистый материал близок по поведению к сплошному под нагрузкой, а крупнозернистый подчиняется закону зернистых сред.

Предложенная схема распределения усилий в дискретном слое позволяет прогнозировать основные параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) слоя. В дальнейшем это можно использовать для расчета на прочность конструкций дорожных одежд переходного типа из зернистых и малосвязных материалов. При этом необходимо оценить количественный и качественный анализ распределительной способности среды с учетом специфики распределения усилий в различных структурах.

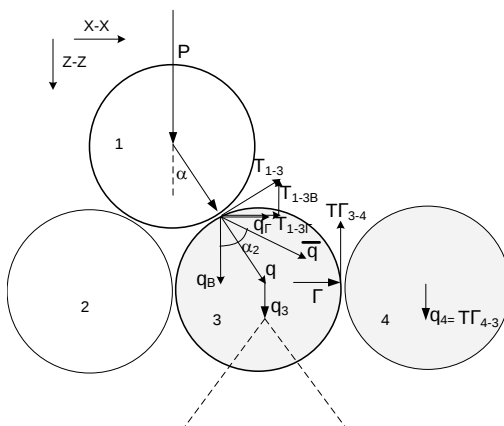


Рисунок 1 – Схема перераспределения усилий в массиве при возникновении трения-сцепления на контактах

Автором установлено, что оценивать число контактов на определенной глубине необходимо, как отношение толщины слоя к средневзвешенному диаметру зерна скелетообразующей фракции, получив так называемую относительную толщину слоя или количество рабочих рядов (n), отойдя тем самым от общепринятой увязки диаметра штампа и толщины слоя.

Для оценки распределительной способности был выбран показатель концентрации напряжений по глубине (толщине слоя) как отношение контактного напряжения под штампом к максимальному контактному напряжению на нижней границе слоя. Результат моделирования идеализированной схемы распределения напряжений представлен в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 -Значения падения контактных напряжений по глубине в теоретико-идеализированной модели

Радиус штампа, r , см	Толщина слоя, h см	Диаметр фракции, см	Относительная толщина слоя n	σ контактные напряжения под штампом, кг/см^2	σ контактные напряжения на глубине кг/см^2	Падение напряжений K , раз
1,5	3	0,5	6	1,46	0,14	10,43
1,5	3	0,7	4	2,92	0,714	4,09
1,5	3	1,0	3	5,55	2,17	2,55

Граничные условия рассмотренных моделей: при $n=1$ $K=1$, $n=0$ $K=1$. Это означает, что на поверхности слоя падения нагрузки нет. Если весь слой состоит из одного зерна, то нагрузка не распределяясь передалась на подошву этого слоя.

Качественная и количественная оценка концентрации напряжений от относительного размера фракций и толщины слоя подтверждают гипотезу автора, что увеличение размера фракций ведет к концентрации напряжений по глубине. Подтверждено, что передача нагрузки происходит только через точки непосредственного контактирования, как при несогласованных поверхностях. Использование в массиве мелкозернистых материалов дает значительное увеличение площади удельной поверхности ΔS и рассеивает напряжения в массиве за счет появления больших сил трения-сцепления на контактах. Представленная схема является теоретически-идеализированной, так как в реальной конструкции невозможно добиться укладки дискретного материала с четкой схемой упаковки и достоверно оценить количество контактов в массиве.

Для оценки адекватности этих закономерностей распределения напряжений в несвязных материалах и возможности переноса теоретических выводов в реальные условия необходим сравнительный анализ.

В качестве моделей используем литературные данные об исследовании напряженно-деформированного состояния двух и трехслойных моделей дорожных одежд со слоями из дискретных материалов на действие статической и подвижной нагрузок колесом автомобиля [6-8].

Аналогично, как и для идеализированной расчетной схемы передачи нагрузки в массиве, определялось отношение толщины слоя к средневзвешенному размеру скелетообразующей фракции (относительную толщину слоя) и для экспериментальных моделей. В качестве оценки скорости падения напряжений возьмем отношение напряжения по оси нагрузки под штампом к напряжению на глубине нахождения датчика.

Для наглядной демонстрации сходимости обеих кривых теоретическо-идеализированной модели и экспериментальной (по литературным данным) выбрано увеличение масштаба рядов для идеализированной модели в 16 раз. В результате графически зависимости для обоих случаев будут выглядеть следующим образом (рис 2) [9].

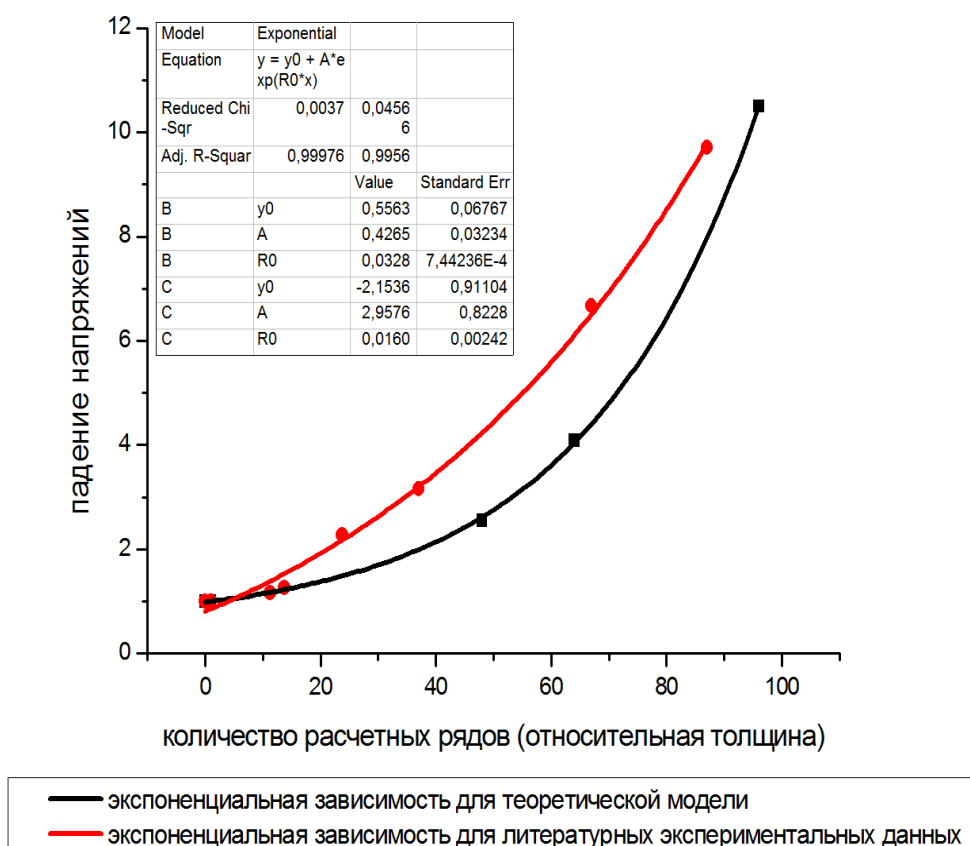


Рисунок 2 - Зависимости скорости падения напряжений теоретическо-идеализированной модели и экспериментальной по литературным моделям

Наглядно видно, что теоретическая и экспериментальная кривые практически совпадают.

Из анализа полученных результатов следует, что скорость падения (концентрация) напряжений в дискретном массиве напрямую связана с размером фракции зерна и толщиной массива. Установлено, что эти параметры возможно увязать через относительную толщину слоя как условное количество рабочих рядов из скелетообразующих фракций слоя.

Введение в расчет НДС конструкций переходного типа параметра распределительной способности материала скажется на изменении составляющих тензор напряжений по глубине и эквивалентного модуля конструкции. Параметр распределительной способности материала слоя введен в расчет напряжений по глубине конструкции, так и в расчет эквивалентного модуля упругости конструкции.

Автором, совместно с проф. Плевако В.П. была решена задача НДС слоев из дискретных материалов, используя коэффициент распределительной способности «С»[10,11]:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= -q \left(1 - \frac{c\zeta}{\rho(c\zeta)} + \frac{c\zeta}{\rho(c\zeta)^3} \right); \\ \sigma_r = \sigma_\beta &= -\frac{q}{2} \left\{ \left[\nu + (1+\nu)c^2 \right] \left(1 - \frac{c\zeta}{\rho(c\zeta)} \right) + \left[\nu - (1+\nu)c^2 \right] \left(1 - \frac{c\zeta}{\rho(c\zeta)^3} \right) \right\}; \\ u_{z \max} &= \frac{q\delta(1-\nu^2)}{cE_1} \Delta,\end{aligned}\tag{2}$$

где $\zeta = \frac{z}{\delta}$; $\rho(\zeta) = \sqrt{1+\zeta^2}$; $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_m + \Delta^*$;

$$\Delta_i = c \frac{E_1}{E_i} [F(\zeta_i) - F(\zeta_{i+1})]; \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

$$\Delta^* = c \frac{1-\nu_n^2}{1-\nu^2} \frac{E_1}{E_n} F^*(\zeta_{m+1}); \quad \zeta_i = \frac{l_i}{\delta}; \quad \chi = \frac{h}{\delta}.$$

Тут обозначено

$$\begin{aligned}F(x) &= \left[2 + \left(1 + \frac{\nu}{1-\nu} c^2 \right) \frac{cx}{\rho(cx)} [\rho(cx) - cx] \right]; \\ F^* &= \left[2 + \left(2 - \frac{1-2\nu_n}{1-\nu_n} c \right) \frac{c\chi}{\rho(c\chi)} [\rho(c\chi) - c\chi] \right].\end{aligned}$$

В результате предложенного усовершенствованного решения имеем возможность для любых конструкций дорожных одежд из несвязных материалов установить действительное значение вертикальных напряжений и

эквивалентного модуля упругости с учетом коэффициента распределительной способности дискретных материалов, что соответствует их реальному поведению под нагрузкой.

Для определения коэффициента распределительной способности «С» предложено учитывать относительная толщина слоя n определяется как отношение толщины слоя к диаметру скелетообразующей фракции:

$$n=h/\delta, \quad (3)$$

где h – толщина слоя, мм

δ - средний диаметр скелетообразующей фракции, мм

Средний размер скелетообразующей фракции слоя определяется как средневзвешенная величина по результатам анализа гранулометрического состава материала слоя.

Использования параметра распределительной способности дискретного материала в решении НДС конструкций дорожных одежд позволяет делать следующие заключения:

- при использовании разработанного решения для дискретных систем в режиме теории упругости, то есть «с»=1, подтверждается, что не влияет значение модуля упругости слоя на НДС системы. Влияние на распределение напряжений осуществляется за счет коэффициента распределительной способности материала слоя;

- установлено, что значение коэффициента «с» колеблется в пределах от 0,5 до 1 для различного контактирования частиц материала слоя и в зависимости от размера фракции материала.

- в результате сравнения экспериментальных данных прогибов поверхности конструкций дорожных одежд и значений эквивалентных модулей, полученных при расчете, получено подтверждение того факта, что теория упругости в значении и сущности параметра $E_{\text{экв}}$ не учитывает особенность их работы, как дискретных. Поэтому, при расчетах необходимо учитывать, что $E_{\text{экв}}$ конструкций переходного типа по справочным значениям [12] отличаются от действительных значений на величину коэффициента распределительной способности;

- значение коэффициента распределительной способности «с» является единым как при определении напряженного состояния, так и деформированного состояния конструкции из дискретных слоев. Таким

образом, схема распределения напряжений по глубине и прогиб (деформация) слоя зависят только от разложения касательных усилий с учетом трения-сцепления на контактах зерен материала слоя.

Построена зависимость коэффициента распределительной способности «с» от относительной толщины слоя и представлена на рисунке 3.

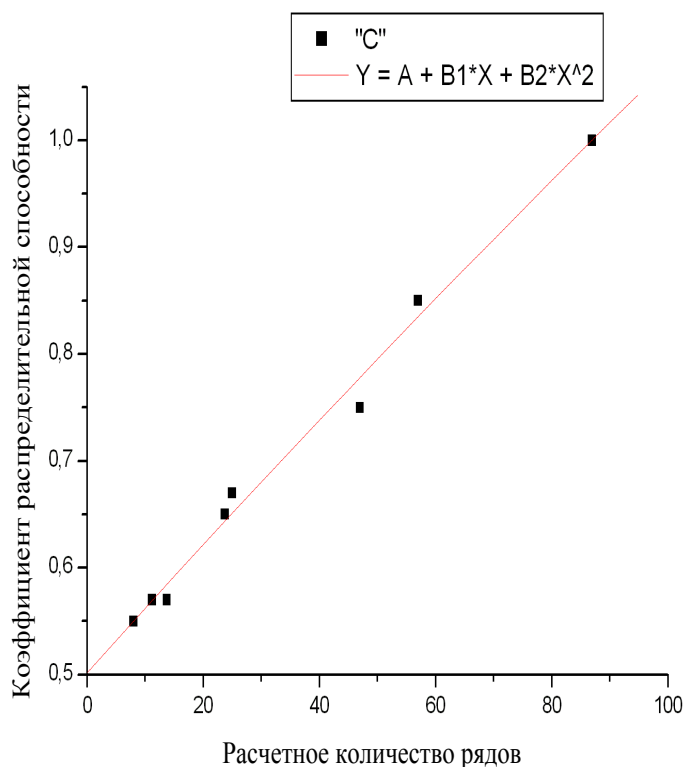


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента «с» от относительной толщины слоя конструкции

Зависимость аппроксимирована полиномом второй степени в виде:

$$y=A+B_1x+B_2x^2, \quad (4)$$

где $B_1=0,00682$, $B_2=-0,0000188$, $A=0,50645$.

Сходимость =0,9305.

Для практической проверки предложенного усовершенствованного решения был проведен ряд экспериментальных исследований, в ходе которых определено наличие и численная величина чаши прогиба конструкции из дискретных материалов. По одной из гипотез исследования, в реальности при

испытаниях под нагрузкой конструкций переходного типа, мы имеем дело не с прогибом, который характеризуется наличием чаши прогиба и кривизны поверхности, а с осадкой штампа за счет переупаковки зерен дискретного материала. Подтверждение данного предположения позволит установить тот факт, что на самом деле речь идет не о модуле упругости несвязного материала, а о дискретном модуле деформирования. Это подтвердит, что дискретный материал под нагрузкой ведет себя не как упругая плита, не работает на изгиб, а перераспределяет усилия между зернами, поэтому законы теории упругости не могут быть в полной мере справедливы для таких конструкций.

В ходе экспериментальных исследований на моделях дорожной одежды из несвязных материалов (щебень одноразмерный, отсеv и песок) установлены коэффициенты распределительной способности для дискретных слоев в конструкциях по предложенной методике и они проверены и подтверждены сравнением по эквивалентному модулю конструкции, определенного по существующей методике [12]. В связи с этим предложенные рекомендации по обработке экспериментальных данных и назначению распределительной способности несвязных слоев могут быть использованы при оценке прочности конструкций дорожных одежд переходного типа на сдвиг. Также сопоставлены экспериментальные модели с моделями других исследователей из научной литературы [6-8] и проведен их анализ. Введение слабых коагуляционных связей в дискретный массив более ощутимо для мелкозернистых материалов и грунтов. Для материалов с выраженной дискретной структурой наличие таких связей незначительно, повлияет только на деформирование массива, но не на его напряженное состояние. Так как малые коагуляционные связи не приведут к образованию существенных конгломератов, которые повлияют на увеличение диаметра скелетообразующей фракции.

Практические рекомендации по использованию усовершенствованного расчета на прочность дорожных одежд переходного типа, являются логическим завершением проведенного диссертационного исследования, в которых изложен алгоритм определения распределительной способности дискретного материала в слое и его учет при расчете на прочность конструкций дорожных одежд переходного типа.

Усовершенствованный метод расчета на прочность дорожных одежд переходного типа рекомендуется использовать как для вновь проектируемых конструкций, так и для существующих конструкций с дальнейшей необходимостью их вскрытия для оценки гранулометрического состава, послойного определения модулей слоев и измерения прогиба конструкции.

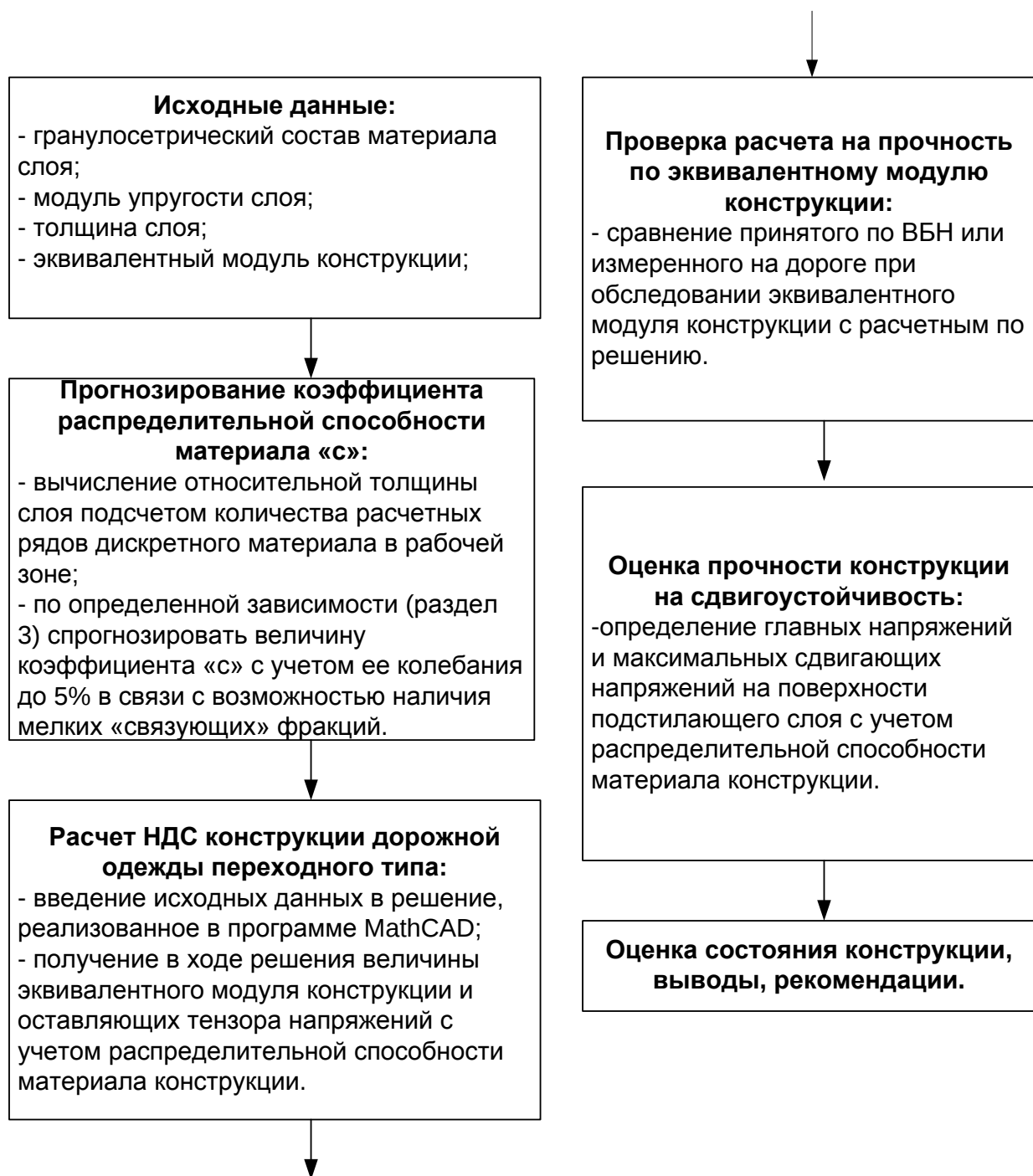


Рисунок 4 - Блок-схема последовательности действий при оценке прочности конструкции дорожной одежды переходного типа на сдвиг

Вывод

Представлены ключевые позиции по усовершенствованию расчета на прочность дорожных одежд переходного типа на основе разработанного теоретического решения и уточненной схемы передачи усилий в слоях конструкций из дискретных материалов. Предложенная методика может быть использована как для проектируемых конструкций (с целью повышения

точности при расчетах на прочность), так и для существующих дорожных одежд (для оценки их фактического состояния).

Литература

1. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве.- М.: Стройиздат, 1966. – 319 с.
2. Батраков О.Т., Кравченко В.Г. Прочность грунтощебеночных слоев дорожных одежд. Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1971, №2. – С.35-138.
3. Роу П. Теоретический смысл и наблюдаемые величины деформационных параметров грунта. Механика. Новое в зарубежной науке.ч.2, Определяющие законы механики грунтов.- М.: Мир, 1975. –С.76-143.
4. Руднянский С. Н. «Проектирование нежестких дорожных одежд с учетом нелинейности материалов зернистых слоев», дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Харьков, 1987. – 349 с.
5. Павленко Н.В. Механизм распределения усилий в слоях дорожных одежд переходного типа из дискретных и малосвязных материалов, Науковий вісник будівництва, вип.52, Харків ХДТУБА ХОТВ АБУ 2009, С.113-116.
6. Баранов Д.С. Измерительные приборы, методика и некоторые исследования распределения давления в песчаном грунте, Госстрой издат, 1959.
7. Болштянский М.П. Экспериментальное исследование напряжений в неоднородном грунте. Автореферат диссертации. Новосибирск. 1962.
8. Ряпухин В.Н. «Исследования методов проектирования дорожных одежд, содержащих прослойки из дискретных материалов». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Харьков, ХАДИ, 1972. – 260 с.
9. Павленко Н.В. Усовершенствование расчета малосвязных материалов в конструкциях дорожных одежд переходного типа. Проблемы развития городской среды: Научно-технический сборник/-К.:НАУ, 2012.- Вип.7. – С.177-181.
- 10.Павленко Н.В., Ряпухін В.М., Плевако В.П. Напружений і деформований стани дорожніх одягів перехідного типу з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип.47. – С.161-171.
- 11.Pavlenko Nadezhda,Ryapuhin Vitaly Development of calculation method of non-rigid pavement of transition type from discrete materials according to the contact scheme of efforts' transmission in designs' layers. Transbaltica 2011/ Proceedings of the 7th international scientific conference. May 5-6, 2011. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. Vilnius: Technica,2011. – P.249-252.
- 12.ВБН В.2.3-218-186-2004. «Дорожній одяг нежорсткого типу».

Хом'як А.Я., канд. техн. наук, Назіна М.О.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИДИМОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація. Аналіз теоретичних даних та порівняння вітчизняних норм з нормативами різних країн світу привів до висновку, що при розробленні українських норм не врахований вплив всіх параметрів, що визначають видимість.

Ключові слова: автомобільна дорога, видимість, проектування.

Аннотация. Анализ теоретических данных и сравнение отечественных норм с нормативами разных стран мира привел к выводу, что при разработке украинских норм не учтено влияние всех параметров, определяющих видимость.

Ключевые слова: автомобильная дорога, видимость, проектирования.

Annotation. Analysis of theoretical data and comparison with national norms regulations of different countries led to the conclusion that the development of Ukrainian norms not taken into account the impact of all the parameters that determine visibility.

Keywords: road, visibility, planning.

Вступ

Будівництво якісних доріг є стратегічно важливим завданням для розвинених країн. Геополітичне положення України сприяє її становленню як транзитної держави, тож саме від якості та стану дорожньої мережі залежить реалізація потенційних можливостей, використання їх для розвитку економіки.

Проведення в Україні Євро-2012 стало своєрідним поштовхом для будівництва та реконструкції вітчизняних доріг, оскільки за оцінками експертів стан безпеки дорожнього руху та наслідки дорожньо-транспортних пригод є одними з найгірших у Європі.

Тож інтегрування України в Європу неможливе без покращення якості доріг, підвищення рівня безпеки та комфортності руху та дорожній мережі, приведення умов дорожнього руху до європейських стандартів.

У 2011 році в Україні планується побудувати 2 тис.км доріг. Вирішення проблем забезпечення високого транспортно-експлуатаційного стану доріг мусить закладатися вже на стадії їх проектування при використанні сучасно обґрунтованої нормативної бази.

Важливим параметром, який забезпечує транспортно-експлуатаційні якості дороги, безпеку руху та комфортність перевезень, є відстань видимості.

Обмеження видимості перш за все впливає на швидкості руху. Характер дії видимості на режими руху в поздовжньому профілі та плані дороги є різним. Якщо обмеження видимості в поздовжньому профілі більш як на 100-150 м майже не впливає на впевненість дій водіїв одиночних автомобілів і не викликає зниження швидкостей, то при русі в умовах обмеження видимості в плані, вплив видимості спостерігається в значно більших межах.

Тож виникає необхідність проаналізувати методи забезпечення видимості дороги, вплив конфігурації дороги на величину видимості.

Актуальність роботи полягає у підвищенні транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг.

Новизна роботи - у дослідженні впливу дорожніх умов на об'єми робіт, які необхідно виконувати для забезпечення видимості на криволінійних ділянках автомобільних доріг.

Практична цінність - у розробці методики техніко-економічного обґрунтування вибору методів забезпечення безпеки руху на криволінійних ділянках доріг при варіантному проектуванні.

Основна частина

Величина відстані видимості є визначальною при забезпеченні безпеки руху, оскільки в її основі закладений гальмівний шлях автомобіля. Відстань видимості визначається як відстань, яку повинен бачити водій, щоб, помітивши перешкоду, прийняти рішення для своєчасного гальмування чи об'їзду.

Оскільки закладені при проектуванні та будівництві параметри визначають транспортно-експлуатаційні якості майбутніх доріг, виникло питання, чи відповідає європейським стандартам дорожнього руху розрахункова відстань видимості, що закладається у вітчизняних нормах на проектування доріг.

Теоретичний аналіз методів визначення відстані видимості, які пропонуються в інших країнах, засвідчив різний підхід у врахуванні таких складових її визначення як коефіцієнти опору кочення, коефіцієнти зчеплення ,

також в Україні, на відміну від багатьох інших країн, при визначенні відстані видимості не враховується поздовжній похил [4].

Обстеження дорожнього руху, які проводилися на вітчизняних автомобільних магістралях [4], та їх аналіз показали, що при швидкостях менших за 80 км/год. відстані видимості, закладені в діючих українських нормах ДБН 2.3-4-2007 [1], є дещо вищими за отримані по німецьких методиках. При русі ж на високих швидкостях відстані видимості, розраховані за німецькою методикою, значно перевищують розраховані за українською методикою. При швидкостях руху 100 км/год таке перевищення складає близько 50 м. Швидкостям руху 120-150 км/год відповідають перевищення відстані видимості, відповідно, на 100 -300 м. Тож вітчизняна методика закладає нижчі за європейські відстані видимості саме для автомагістралей, до яких належать і міжнародні транспортні коридори, на яких необхідно забезпечувати безпечний та комфортний рух саме на високих швидкостях.

З метою врахування похилу та залежності коефіцієнтів зчеплення та опору кочення від швидкостей руху були побудовані графіки, які є графічним вирішенням системи рівнянь:

$$\begin{aligned} f(V) &= f + \varphi \pm i \\ f(V) &= \frac{KV^2}{254\left(S - \frac{V}{3,6}\right)}, \end{aligned} \quad (1)$$

де V – швидкість автомобіля, f – коефіцієнт опору кочення,

φ – коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям автомобільної дороги (f і φ величини, залежні від V), i – поздовжній похил траси.

Величини f і φ характеризують дорожні умови і є залежними від швидкості V .

Перша складова системи відображає суму опорів, які зазнає автомобіль під час руху, тобто коефіцієнту опору кочення та коефіцієнту зчеплення (величин, залежних від швидкостей руху), а друга - залежність відстані видимості від швидкості.

Запропонована номограма дозволяє визначати безпечну швидкість руху незалежно від умов, які обмежують видимість дороги. Проведені натурні

обстеження руху транспортних потоків на автомагістралях засвідчили достовірність отримуваних даних.

На прямих горизонтальних ділянках водій бачить перед собою дорогу на більшій відстані, ніж на кривих у плані. Перешкоди для видимості в плані можуть виникнути на заокругленнях, розташованих в закритій місцевості або у виїмці.

Забезпечуючи видимість на всій довжині автомобільної дороги, особливу увагу при проектуванні та будівництві слід приділяти видимості на горизонтальній кривій.

Для визначення зони видимості будується крива межі зони видимості. Існують графічний та аналітичний способи побудови цієї кривої.

Графічний спосіб полягає в тому, що на викресленому в великому масштабі плані заокруглення наносять траєкторію руху автомобіля. На траєкторії руху автомобіля позначається ряд точок, від яких відкладаються відрізки відстані видимості. Кінці відрізків сполучають прямими лініями, огинаючи яких і буде зображувати криву межі зони видимості (рис. 1). Цей спосіб трудомісткий і не достатньо точний. У зв'язку з чим були запропоновані способи, засновані на математичному описі кривої видимості.

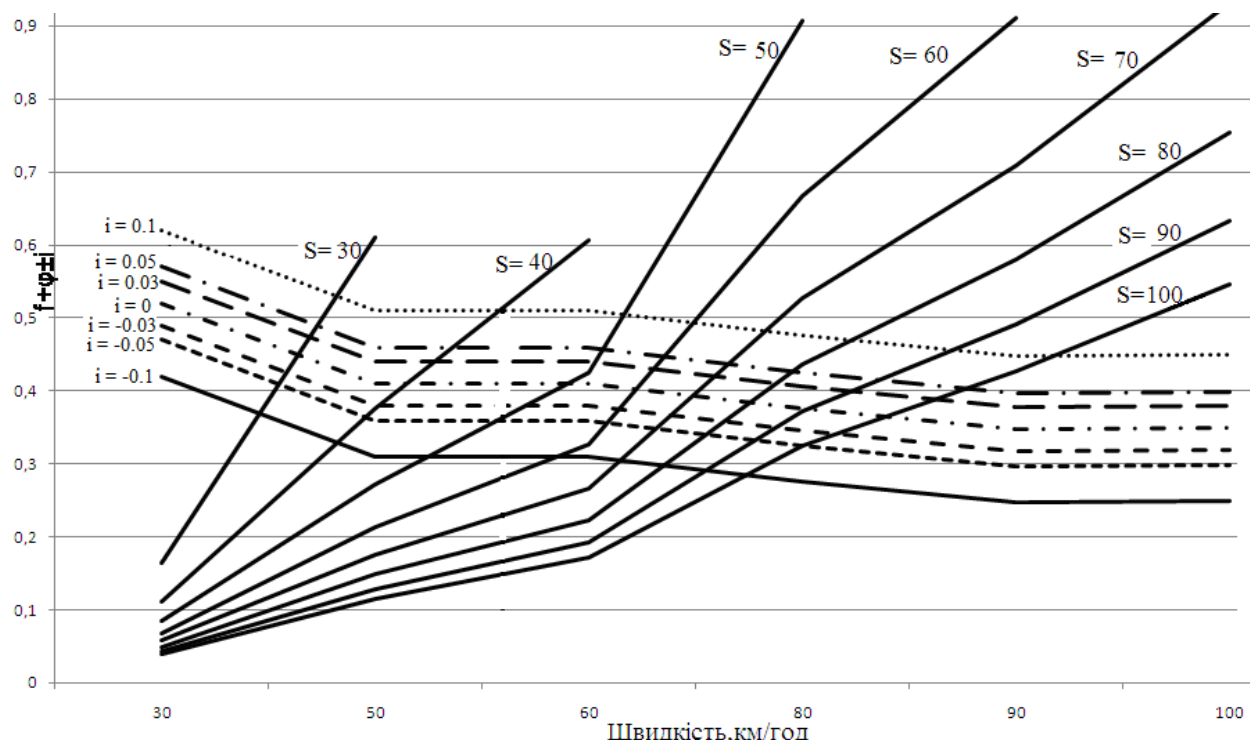


Рисунок 1 – Визначення безпечної швидкості руху в залежності від видимості в даних дорожніх умовах

Питанням визначення відстаней видимості на кривих у плані присвячені дослідження Ю.Н. Даденкова, С.А. Лопатто, В.И. Ксенохондова, О.А. Білятинського, О.М. Таранова [2]. Математичний опис кривої видимості дає змогу за допомогою ЕОМ розв'язувати різні інженерні задачі, такі, як визначення площі та об'єму зрізання укусу, встановлення радіуса кривої на заокругленні, виходячи з умов забезпечення видимості, та інші.

Важливим чинником при проектуванні дороги є визначення площі зрізки з метою забезпечення видимості на горизонтальних кривих.

Досліджуючи зміну величини площі від зміни параметрів дороги за допомогою програмного комплексу MathCad, виявлено такі закономірності:

- площа зрізки при сталій видимості при зміні радіусу майже не змінюється;
- при збільшенні відстані видимості збільшується й площа зрізки;
- при збільшенні довжини перехідної кривої площа зрізки видимості зменшується;
- при зменшенні кута повороту траси дороги площа зрізки зменшується.

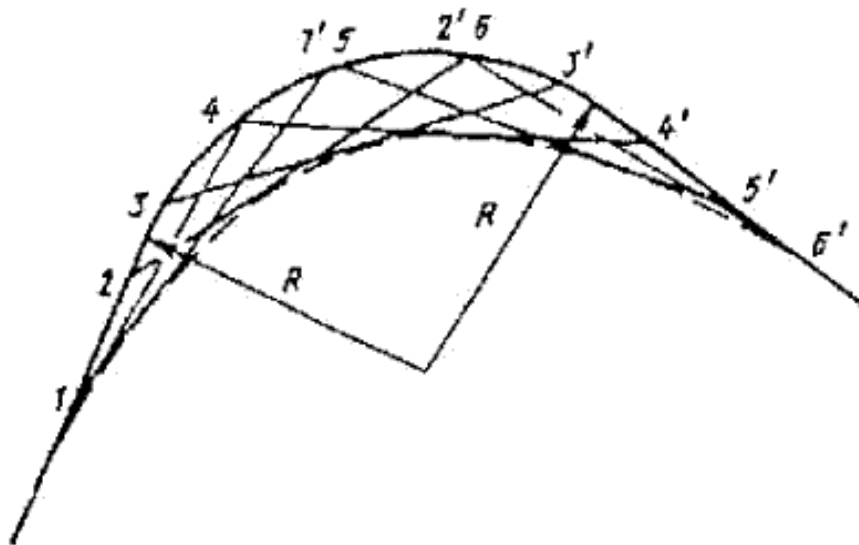


Рисунок 2 - Схема визначення границі зрізки

Основним параметром, який впливає на величину об'єму робіт при проведенні зрізки, є величина відстані видимості. Тому при виконанні варіантного проектування зміна інших параметрів дороги значної зміни не викличе.

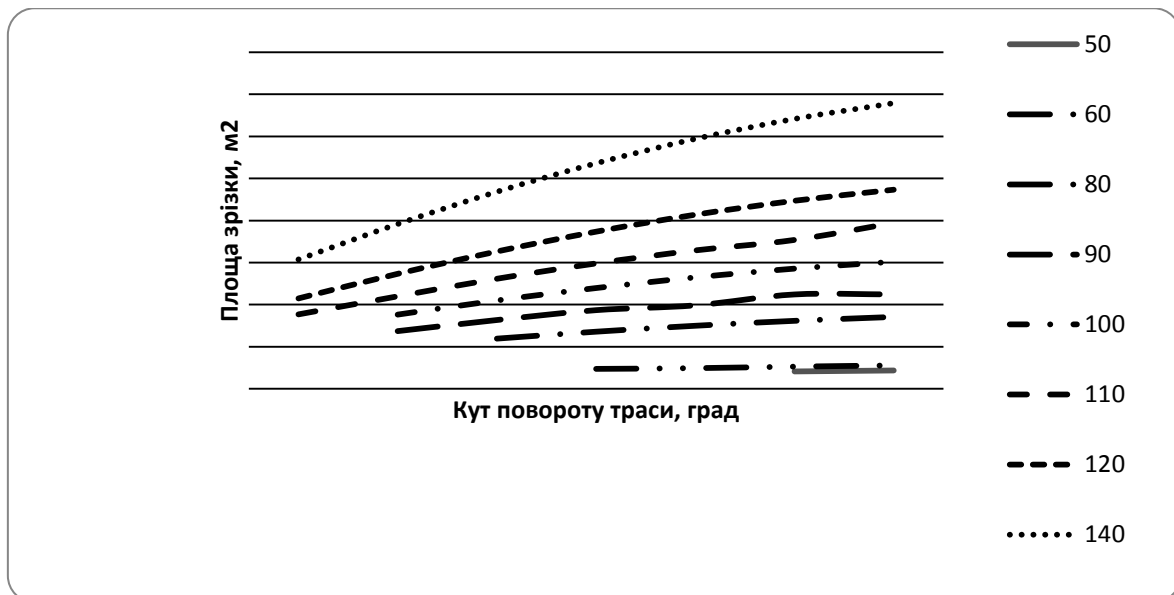


Рисунок 3 – Залежність площі зрізки від кута повороту для заданої технічної категорії дороги

На основі визначеної категорії дороги та умов прокладення траси в залежності від рельєфу місцевості приймають розрахункову швидкість, для якої згідно діючих норм призначають величину радіусу, перехідної кривої та величину відстані видимості.

Залежності, які були використані при розрахунку [2], є досить громіздкими. Тож була зроблена спроба спростити розрахунок, встановлюючи площу зрізки відповідною до середині кривої по бісектрисі. Графічне порівняння обох методів за допомогою програмного комплексу AutoCad дозволяє говорити про незначне зменшення величини площі зрізки.

Тож для перевірки забезпечення видимості дороги в плані і побудови границь зони видимості обмежуємось встановленням розміру зрізки в середині кривої по бісектрисі, тобто визначаємо так звану «стрілу» видимості. Для найбільш загального випадку, коли відстань видимості менша довжини кривої, величина зрізки становить:

$$f = R(1 - \cos \frac{S}{2R}), \quad (2)$$

де S – відстань видимості, м;

R – радіус кривої в плані [5],

В США величина зрізки обчислюється за схожою формулою [8]:

$$f = R(1 - \cos \frac{28,65S}{R}), \quad (3)$$

Різниця між вищезгаданими формулами полягає у тому, що величина позначає величину кута у радіанах, а - у градусах.

Результати побудови "стріли" видимості за вказаними залежностями наведено на рис. 4

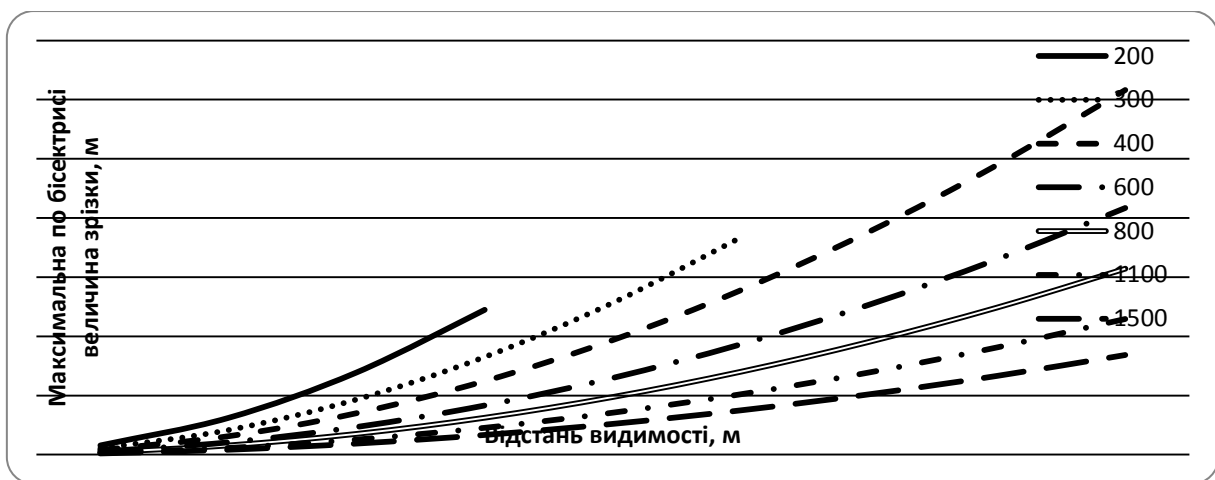


Рисунок 4 – Залежність максимальної по бісектрисі величини зрізки від відстані видимості та радіуса горизонтальної кривої

З графіків видно, що при збільшенні величини видимості «стріла» видимості збільшується, а при збільшенні радіусів кривих – зменшується.

Видимість дороги в плані можна забезпечувати двома шляхами: обмежити швидкість руху по кривій або провести зрізку. Отримані залежності дають можливість вирішувати відповідні техніко-економічні задачі.

Запропонована методика вибору варіанту забезпечення видимості на кривих в плані є наступною.

Встановлюється інтенсивність та склад руху на дорозі.

Для розрахунку приймаємо усереднений склад руху на автомагістралях, отриманий за результатами проведених натурних обстежень.:

Легкових автомобілів 30-50%

Вантажних автомобілів 30-50%

Автобусів 5-15%

Автопотягів 5-10%

Визначаємо наявну «стрілу» видимості, по ній за рисунком 4 визначаємо видимість для заданого радіусу горизонтальної кривої.

Оскільки на сьогоднішній день немає точних залежностей, які дозволяють визначити, як змінюється коефіцієнт зчеплення зі зростанням швидкості, тому виникла необхідність певного коректування графіків, зображених на рисунку 1. На рисунку 5 зображена номограма для обмеження швидкості з умови видимості, враховуючи, що коефіцієнт зчеплення сталий на ділянці дороги при різних швидкостях.

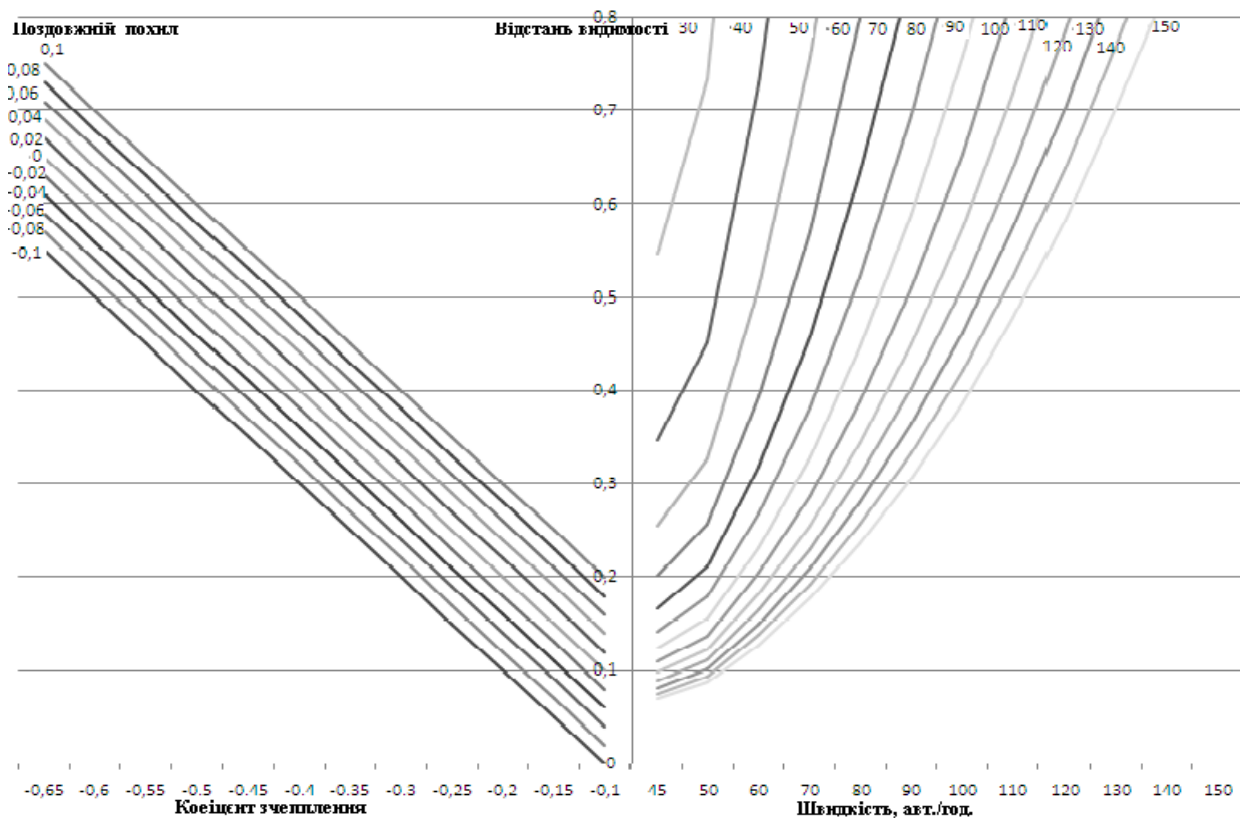


Рисунок 5 – Номограма для обмеження швидкості за умови забезпечення видимості із врахуванням дорожніх умов

Примітка: Графіки, зображенні на рисунках 1 і 5, можна використовувати не лише для обмеження швидкості, а й для визначення видимості для заданих

умов, а також визначення необхідного коефіцієнту зчеплення чи позовжнього похилу для певної швидкості та видимості.

Підраховуються транспортні витрати за умов, коли швидкість на криволінійній ділянці не обмежується, а видимість забезпечується зрізкою і при обмеженій швидкості, коли зрізка не виконується.

$$T = t \cdot N \cdot 365 \cdot c, \quad (4)$$

де T – транспортні витрати, грн;

t – час проїзду автомобіля по ділянці дороги, год.;

– добова інтенсивність руху, авт./добу;

c – вартість 1 авто·год, яка визначається:

$$C = aC_1 + bC_2 + dC_3 + kC_4, \quad (5)$$

a, b, d, k – кількість автомобілиниць відповідно легкових, вантажних автомобілів, авто потягів.

C_1, C_2, C_3, C_4 – вартість 1 авто/год для легкових автомобілів – 80 грн/год, вантажних – 120 грн/год, автобусів – 150 грн/год, автопотягів – 180 грн/год.

За рисунком 6 визначаємо об'єм робіт, що відповідає визначеним транспортним витратам.



Рисунок 6 – Графік для визначення об'єму земляних робіт, що відповідає визначеним транспортним витратам

Примітка: Для побудови графіка було прийнята орієнтовна вартість 1м³ розробки ґрунтів, що складає 0,0772 тис.грн.

Для заданої категорії дороги визначається необхідний об'єм земляних робіт, які треба виконувати для проведення зрізки з метою забезпечення видимості, використовуючи дані рис. 3.

Якщо необхідний об'єм робіт менший за отриманий з графіка, зображеного на рисунку 6, то забезпечення видимості доцільніше виконувати шляхом зрізки необхідного об'єму ґрунту, якщо більший – то треба обмежувати швидкість руху автомобілів.

Запропонована методика може використовуватися як при різних дорожніх умовах, так і при різному складі транспортних потоків.

При неможливості виконання зрізки величина обмеження швидкості може обґрунтовуватися за графіками, зображеними на рисунку 5.

Висновки

Забезпечення відстані видимості є важливим чинником для досягнення безпечних та комфортних перевезень.

Аналіз теоретичних даних та порівняння вітчизняних норм з нормативами різних країн світу привів до висновку, що при розробці українських норм не враховується вплив деяких параметрів, що визначають видимість. Вітчизняні норми ґрунтуються переважно на розробках 80-их років минулого сторіччя і не можуть забезпечувати сучасний рух на автомобільних дорогах на належному рівні. Виконані дослідження показали, що вітчизняна методика закладає нижчі за європейські відстані видимості саме для автомагістралей, до яких належать і міжнародні транспортні коридори, на яких особливо важливо гарантувати безпеку та комфортність поїздок на високих швидкостях.

Найскладнішим є забезпечення видимості на ділянках горизонтальних кривих. Проаналізовані існуючі методи. Важливим чинником є визначення площі зрізки з метою забезпечення видимості на криволінійних ділянках.

Проведений аналіз об'ємів робіт - площі зрізки, яку треба виконувати для забезпечення відстані видимості, показав, що серед інших параметрів, які

досліджувалися (радіуси кривих, кути повороту траси тощо), саме відстань видимості найбільшою мірою визначає величину необхідної площі зрізки.

Розроблена методика техніко-економічного обґрунтування вибору методів забезпечення безпеки руху на криволінійних ділянках доріг при варіантному проектуванні: забезпечення відстані видимості шляхом виконання зрізки чи обмеження швидкостей руху на кривих.

Побудовані графіки для визначення безпечної швидкості руху незалежно від дорожніх умов, які обмежують видимість дороги. Отримані графіки є зручними для практичного застосування.

Література

1. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3-4-2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с.
2. А.А. Белятинский, А.М.Таранов. Определение видимости при проектировании автомобильных дорог. - К: «Будівельник», 1983. – 95с.
3. О.А. Білятинський, В.Й. Заворицький, В.П.Старовойда, Я.В.Хом'як. Проектування автомобільних доріг: Підручник. У 2 ч. Ч.1. К: Вища шк., 1997. – 518 с
4. Хом'як А.Я., Назіна М.О. Дослідження відстані видимості на автомобільних дорогах. – К.:Вісник НТУ, № 21, частина 1, 2010. – С. 86 – 90.
5. Пособие по проектированию элементов плана, продольного и поперечного профилей, инженерных обустройств, пересечений и примыканий автомобильных дорог. – М.:Союздорнии, 1989. – 123с.
6. Г.А.Федотов. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1986. - 317 с.
7. Daniel B. Fambo, Kay Fitzpatric, Rodger J. Koppa. The Transportation Research Board of the National Academies. The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 400: The Determination of Stopping Sight Distance. Washington, D.C., National Academy Press – 1997. – 138 p.

Чечуга О.С., канд. техн. наук, Осяєв Ю.М., канд. техн. наук.

ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КОНСТРУКЦІЇ “НАСИП – ТРУБА – ОСНОВА”

Анотація. У статті проведено порівняння експериментальних результатів з результатами розрахунків напружень, що виникають у водопропускній трубі від тиску ґрунту і зовнішнього навантаження.

Ключові слова: напружено-деформований стан, навантаження, жорсткість, напруження, переміщення, коефіцієнта кореляції, основа, труба, насип.

Аннотация. В статье проведено сравнение экспериментальных результатов с результатами расчетов напряжений, возникающих в водопропускной трубе от давления грунта и внешней нагрузки.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, нагрузки, жесткость, напряжение, перемещение, коэффициента корреляции, основание, труба, насыпь.

Annotation. The article compared the experimental results with the results of calculation of stresses arising in culverts from soil pressure and external load.

Keywords: mode of deformation, stress, stiffness, stress, displacement, correlation coefficient, base, pipe embankment.

У науково-технічній літературі наведено невелику кількість результатів досліджень тиску ґрунту і зовнішніх навантажень на труби закладені у ґрунтові масиви. Як правило, це експерименти виконані на початку і в середині двадцятого століття. У більшості із них мало вказано про вихідні дані, хоча аналіз отриманих результатів свідчить про однаковий характер розподілу тиску. Одним із масштабних результатів експериментального дослідження тиску

грунту і зовнішнього навантаження на трубу і який достатньо висвітлений у науковій літературі є експеримент виконаний Р.І. Бергеном, М.І. Фроловим і Ю.А. Тевелєвим [1] (рис. 1).

На основі розробленої математичної моделі (1) з використанням вихідних даних, що були у [1] нами отримані розрахунки, які у формі епюр мають наступний вигляд (рис. 2).

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= p_{0v} + p_1 \cos \theta + p_{2v} \cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta; \\ \tau_{r\theta} &= -p_1 \sin \theta + t_2 \sin 2\theta + p_3 \sin 3\theta; \\ M &= \frac{R^2}{6} [(2p_{2v} + t_2) \cos 2\theta + p_3 \cos 3\theta]; \\ N &= \frac{R}{6} [2(p_{2v} + 2t_2) \cos 2\theta + 3p_3 \cos 3\theta - 6p_{0v}]; \\ u^R &= \frac{p_{0v} R^2}{E_0 s} + \frac{R^4 (1 - \nu_0^2)}{E_0 s} \left[\frac{4}{3} \left(p_{2v} + \frac{t_2}{2} \right) \cos 2\theta + \frac{1}{4} p_3 \cos 3\theta \right]; \\ v^R &= \frac{2R^4 (1 - \nu_0^2)}{E_0 s^3} \left[\frac{1}{3} (p_{2v} - 2t_2) \sin 2\theta + 8p_3 \sin 3\theta \right]. \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

де σ_r , $\tau_{r\theta}$ – нормальні радіальні і тангенціальні напруження по контуру труби;

p_{0v} , p_{2v} – запропоновані автором коефіцієнти, що враховують вплив зовнішнього навантаження;

p_1 , p_3 , t_3 – коефіцієнти, що враховують жорсткість системи, геометричні параметри труби, властивості матеріалів труби і ґрунту тощо;

M , N – згинаючі моменти і нормальні сили;

u^R , v^R – радіальні і тангенціальні переміщення;

R – радіус труби;

s – товщина стінки труби;

ν_0 , E_0 – коефіцієнт Пуассона і модуль деформації матеріалу труби.

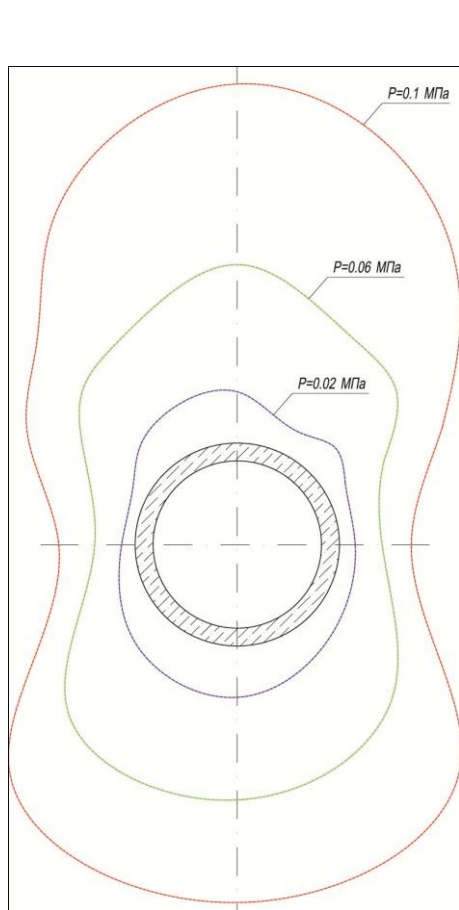


Рисунок 1 - Епюри експериментального дослідження тиску ґрунту і зовнішнього навантаження на трубу

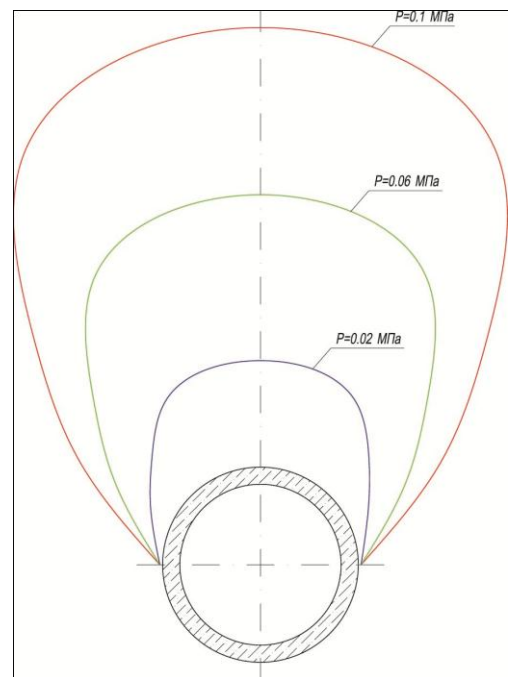


Рисунок 2 - Епюри тиску ґрунту і зовнішнього навантаження на трубу отримана в результаті розрахунку математичної моделі

Проведемо порівняння результатів експерименту [1] і розрахунків за (1) за допомогою коефіцієнта кореляції. Коефіцієнт лінійної кореляції характеризує міру лінійної залежності між двома змінними. Якщо уявити дві змінні на координатному полі, то кожна пара значень буде відображати координати точки в цьому полі. У загальному вигляді, рівняння цієї прямої матиме вигляд:

$$y = Ax + B, \quad (2)$$

де A і B – коефіцієнти.

Вказані коефіцієнти можна отримати використавши метод найменших квадратів, знаючи кількість пар експериментальних і теоретичних значень x і y .

$$A = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \quad B = \bar{y} - A \cdot \bar{x}, \quad (3)$$

де $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\overline{xy}$, $\overline{x^2}$ – середні арифметичні значення x , y , xy і x^2 .

Коефіцієнт кореляції:

$$r_{xy} = \frac{k(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (4)$$

де $k(x, y)$, σ_x , σ_y – кореляційний момент і середні квадратичні відхилення величин x і y .

$$k(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}). \quad (5)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (6)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (7)$$

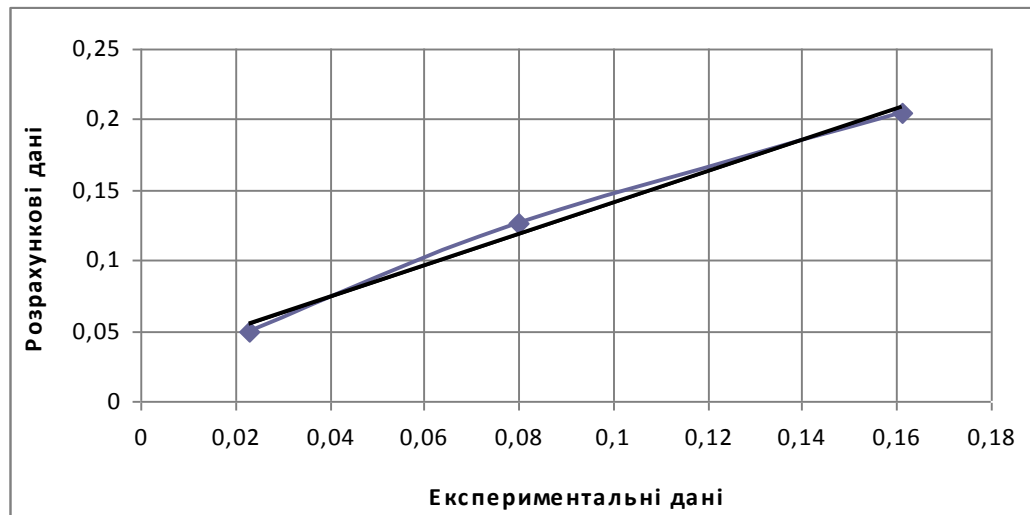


Рисунок 3 - Усереднена лінія коефіцієнта лінійної кореляції експерименту [48] і розрахунків за (1)

Коефіцієнт кореляції порівняння експерименту [1] і розрахунків за (1) склав 0,95 – 0,99. Найбільшу розбіжність у верхній точці труби можна пояснити, на нашу думку, тим, що в експерименті використовували ребристі труби та з [1] не зрозуміло із якого перерізу наведенні результати досліджень.

Проведемо аналогічнопорівняння результатіврозрахунків за [2] і розрахунків на основі розробленої математичної моделі (1).

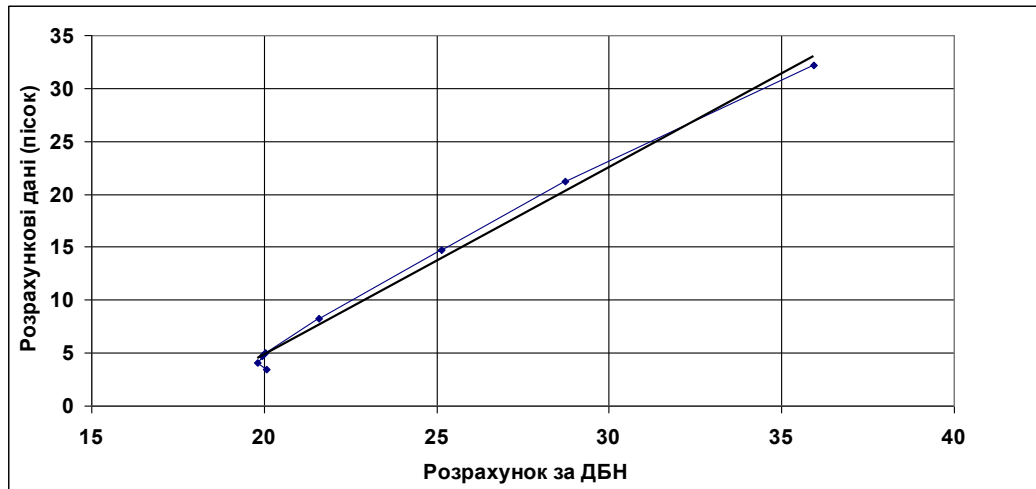


Рисунок 4 - Усереднена лінія коефіцієнта лінійної кореляції розрахунків за [2] і розрахунків на основі розробленої математичної моделі від постійного навантаження

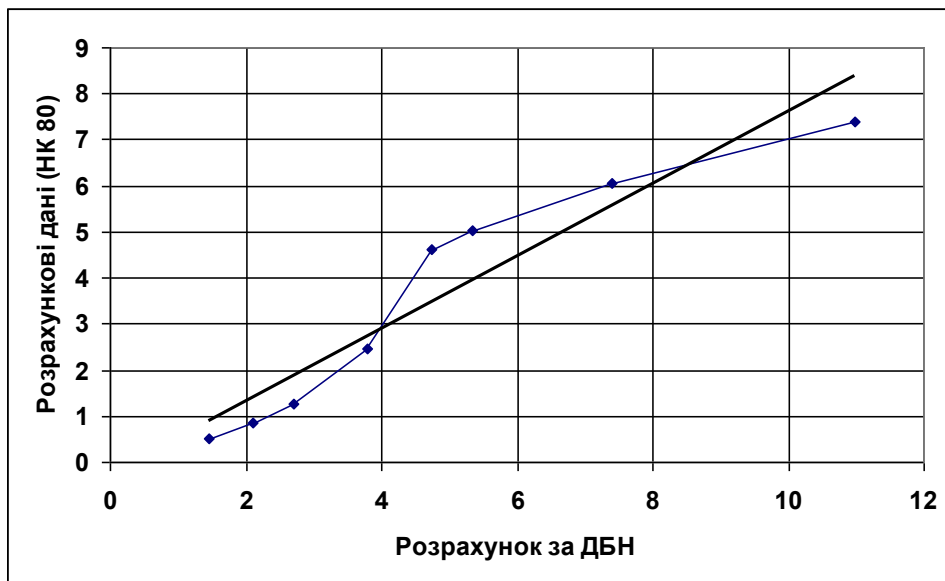


Рисунок 5 – Усереднена лінія коефіцієнта лінійної кореляції розрахунків за [1] і розрахунків на основі розробленої математичної моделі від рухомого навантаження НК 80

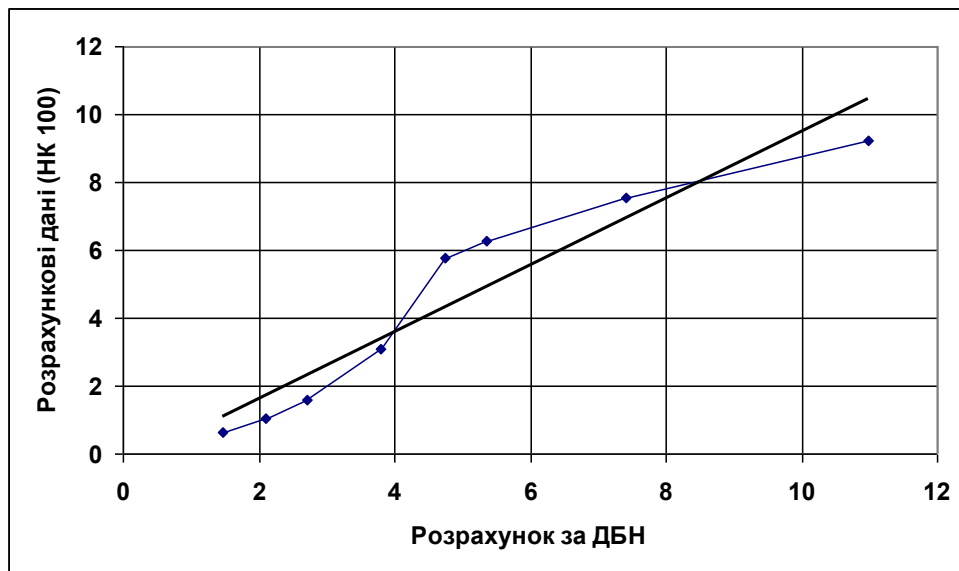


Рисунок 6 - Усереднена лінія коефіцієнта лінійної кореляції розрахунків за [1] і розрахунків на основі розробленої математичної моделі від рухомого навантаження НК 100

Коефіцієнт кореляції порівняння розрахунків за [1] і розрахунків на основі розробленої математичної моделі від рухомого навантаження НК склав 0,95 – 0,99.

Значення коефіцієнта кореляції більше 0,7 свідчить про досить високе співпадіння результатів, що є підтвердженням адекватності розробленої в роботі математичної моделі.

Адекватність теоретичних та експериментальних досліджень і числового моделювання дають змогу при проектуванні конструкції “насип – труба – основа” застосовувати числове моделювання, що найбільш доступне, з моделюванням критичних станів системи та розробкою заходів із покращення її напружено-деформованого стану.

Література

1. Тевелев Ю.А. Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление / Ю.А. Тевелев – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 328 с.
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування ДБН В.2.3-22:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с.
4. Звенья железобетонные круглых и прямоугольных водопропускных труб под железные и автомобильные дороги. Технические условия: ОСТ 35-27.0-85. - Введ. 01.07.86 до 01.07.91 Группа Ж33. – М.: Минтранс СССР, 1986. – 32 с.

625.7/.8

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Карафізі Л.М.

СУЧАСНІ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНИХ ТА АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЛОКІВ МОЩЕННЯ

Анотація. Розглянуто сучасні конструкції дорожніх та аеродромних покриттів з використанням блоків мощення.

Ключові слова: конструкції дорожніх та аеродромних покриттів, блоки мощення, водопроникні покриття.

Аннотация. Рассмотрены современные конструкции дорожных и аэродромных покрытий с использованием блоков мощения.

Ключевые слова: конструкции дорожных и аэродромных покрытий, блоки мощения, водопроницаемые покрытия.

Annotation. The modern design of road and airport surfaces using block paving.

Keywords: konstruktsiyi road and airport paving, block paving, water are covering.

В Україні для покриттів доріг, аеродромів, площ контейнерних терміналів та портів, як правило, використовують монолітні асфальтобетонні та цементобетонні покриття, а також покриття із збірних залізобетонних плит. В останні роки альтернативою для конструкцій дорожнього одягу, що сприймають великовагові навантаження є бетонні блоки мощення.

Основним недоліком асфальтобетонних покриттів є залежність експлуатаційних властивостей від температури та незначний строк служби. Перевагою, яка зумовлює широке використання асфальтобетону є технологічність і ремонтпридатність. Монолітні цементобетонні покриття, навпаки, значно більш стійкіші до впливу перепадів температур та довговічніші, але основний їхній недолік - труднощі при виконанні ремонтних робіт. Покриття із штучних елементів мощення мають всі переваги цементобетонних покриттів і можуть легко бути відновлені при появі

руйнувань чи необхідності аварійних ремонтів інженерних мереж. Крім того даний вид покриття дозволяє добитися архітектурної виразності об'єктів інфраструктури. За кордоном починаючи з середини 80-х рр. минулого сторіччя такий тип мощення з успіхом використовується при влаштуванні конструкцій покриттів. Наприклад, за даними Concrete Manufacturers Association [1], обсяги влаштування брукованих покриттів з бетонних блоків в розвинених країнах становлять: у Німеччині близько 100 млн. м² покриття, Нідерландах – 18 млн. м², а в Великобританії та США – 12 млн. м² в рік і постійно зростають, що прослідковується на прикладі Росії, Польщі Південної Африки тощо.

Камені за можливістю передачі зусиль в горизонтальній площині, по суміжним граням, між окремими елементами розділяють на три категорії (рис. 1) [2], які:

- забезпечують передачу зусиль вздовж обох осей;
- забезпечують передачу зусиль вздовж однієї з осей;
- не забезпечують передачу зусиль вздовж жодної з осей.

За здатністю пропускати воду розподіляють конструкції одягів на: водонепроникні; напівпроникні; непроникні (гідроізолюючі).

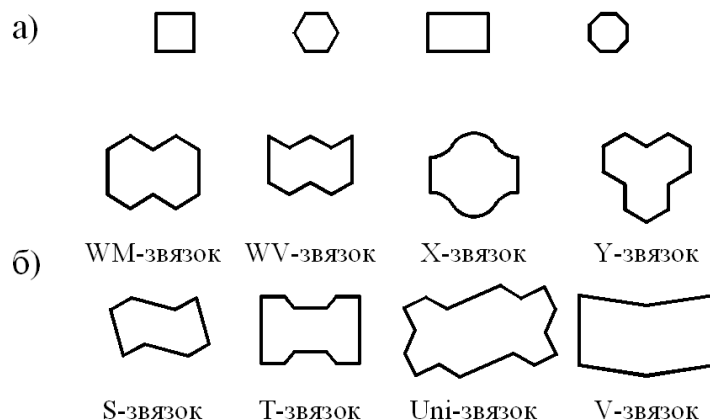


Рисунок 1 - Види штучних елементів мощення:

а) без горизонтального зв'язку, б) з горизонтальним зв'язком

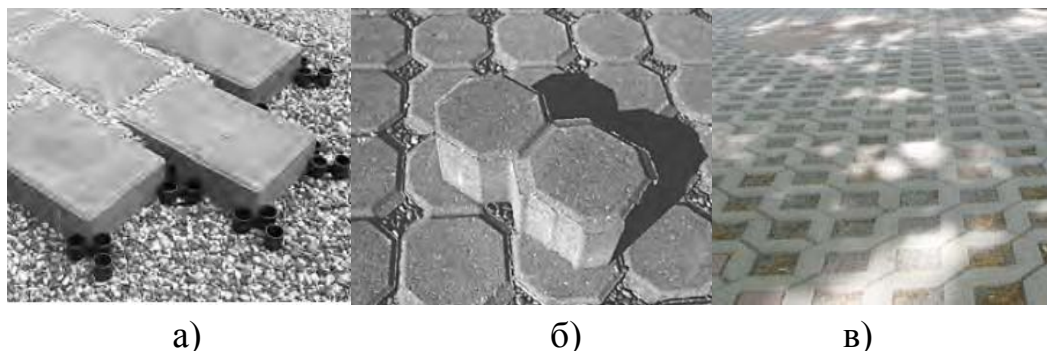


Рисунок 2 – Водонепроникні покриття

Водопроникність покриття забезпечується через шви, ширина котрих може бути збільшена завдяки використанню спеціальних фіксаторів (рис 2.а) або отвори, що утворюються завдяки специфічній формі блоків (рис 2.б), та в решітчастих елементах мощення (рис 2.в). Відвід води з конструкції виконується в ґрунт земляного полотна (рис 3.а), частково в ґрунт та частково в водовідвідні труби (рис 3.б), та з повним відводом через водовідвідні труби (рис 3.в). Дані види покриття застосовуються в місцях з низьким навантаженням, оскільки на несучу здатність блокових покриттів сильно впливають ширина швів та щільність заповнення їх, а також негативний вплив води на ґрунт земляного полотна, якщо відвід виконується в ґрунт, а також необхідність застосування в основі гранульованого матеріалу без в'язучого.

Влаштування водопроникних покриттів з ексфільтрацією в ґрунт дозволяють зменшити об'єми робіт по влаштуванню водовідвідних систем, проте обсяги води, котрі може відводити даний тип покриття з часом знижуються за рахунок засмічення порового простору дрібними частками, що наносяться зливовими водами [3].

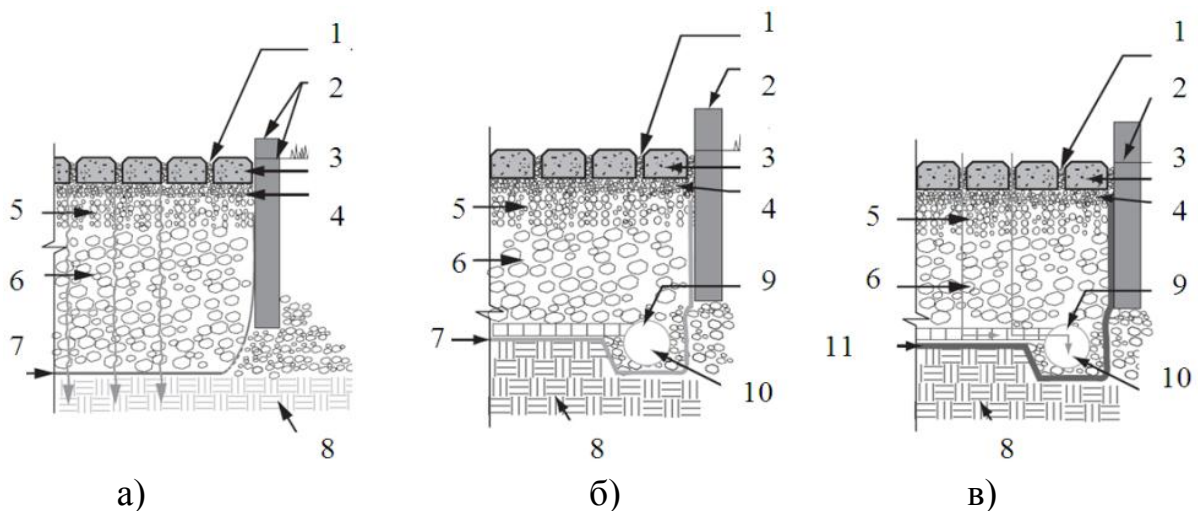


Рисунок 3 - Конструкції дорожніх одягів з водопроникними покриттями:

1 – заповнювач швів; 2 – бордюрний камінь; 3 – бетонна бруківка $h_{\min} = 80$ мм; 4 – шар вирівнювання $h = 40-50$ мм; 5 – основа з щебеню $h = 100$ мм; 6 – додатковий шар основи, товщина приймається в залежності від проекту; 7 – геотекстиль, носить рекомендаційний характер; 8 – ґрунт земляного полотна (для конструкції з ексфільтрацією в ґрунт потрібен нульовий похил, а для 2-х інших конструкцій потрібен похил в бік водовідвідних труб); 9 – перфоровані трубки, що забезпечують дренаж води з основи до водовідвідних труб, похил в бік водовідвідних труб; 10 – водовідвідні труби з похилом в бік зливневої каналізації; 11 – водонепроникний прошарок

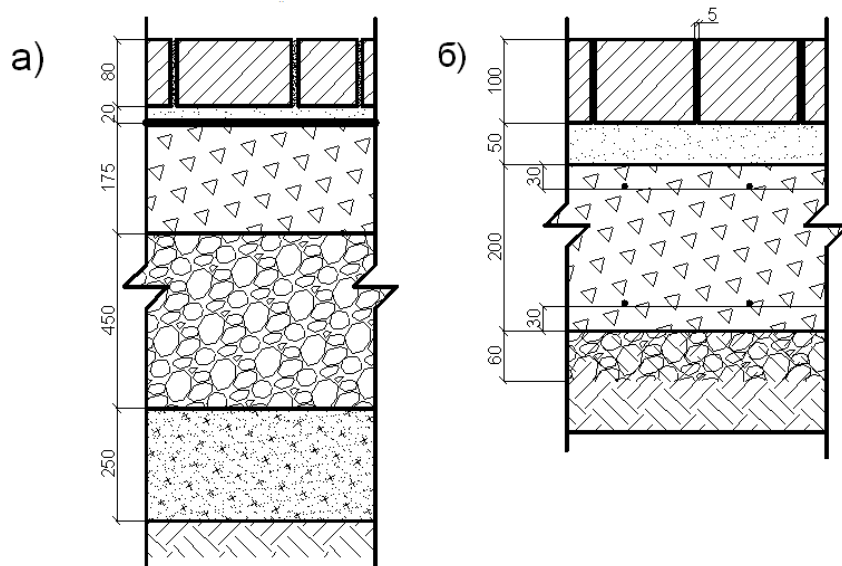


Рисунок 4 - Конструкції дорожніх одягів з напівпроникними покриттями

(опис конструкції виконано в напрямку від верхніх шарів до нижніх):

а) аеропорт Гонконгу: бетонні блоки $h = 80$ мм; вирівнюючий піщаний шар $h = 20$ мм; геотекситиль з бітумним покриттям, для зв'язку текстилю і основи; основа з пісного бетону $h = 175$ мм; додатковий шар основи з щебеню $h = 450$ мм; додатковий шар основи з ЩПС $h = 250$ мм;

б) НСК «Олімпійський»: гранітна бруківка $h = 100$ мм; вирівнюючий піщаний шар $h = 50$ мм; з/б плита армована двома сталевими сітками із Ø8 A400с, крок 150×150 мм $h = 200$ мм; утрамбований щебенем ґрунт $h = 60$ мм.

Особливістю напівпроникних покриттів є те, що частина поверхневих вод відводиться по верху покриття, а інша частина проникаючи через шви відводиться до водовідвідної системи через пори підстиляючого шару. Відмінність непроникних покриттів пролягає в тому, що шви заповнюються матеріалом, котрий перешкоджає потраплянню води в шари, що розташовані нижче, а сама конструкція дорожнього одягу може відповідати попередньому типу покриття.

На рис. 4 показані напівпроникні покриття, аеропорт Гонконгу (а) [4] та НСК «Олімпійський» Україна (б).

Для підвищення об'ємів виконаних робіт та якості їх виконання розроблена лінійка машин та механізмів (рис. 5). Для кожного з процесів є свій механізм: влаштування вирівнюючого шару (а), вкладання блоків (б), заповнення швів (в).



а)



б)



в)

Рисунок 5 - Машини та механізми для влаштування покриттів з бетонних блоків

Висновки

Дорожні та аеродромні покриття із штучних елементів мощення - екологічно чисті, довговічні, легко демонтуються і відновлюються. Штучний камінь мощення (плитка, блоки, брущатка) – це бетонні елементи, які можуть мати різну форму, колір і розміри. Комбінуючи кольори і форми блоків мощення, створюють різні рисунки дорожнього та аеродромного покриття та інформаційні знаки.

На тротуарах, стоянках автотранспорту, зупинках автомобільних доріг та при реконструкції аеропортів доцільно застосувати штучні покриття з каменів мощення, що мають економічні й експлуатаційні переваги перед традиційними типами аеродромних покриттів з асфальтобетону й монолітного цементобетону, і особливо на перонах і місцях стоянки повітряних суден, де пролягає велика кількість інженерних комунікацій.

З кожним роком об'єми виробництва штучних каменів мощення і об'єми будівництва із них вимагають розробки сучасної нормативно-технічної бази по проектуванню, будівництву і експлуатації покриттів із них.

Література

1. Concrete block paving. – Midrand, South Africa: Concrete Manufacturers Association, 2009. – 32 с.
2. CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Interim specification for interlocking concrete paving units, 1980. Report MA 15.
3. Permeable Interlocking Concrete Pavements. Interlocking Concrete Pavement Institute, 2006. – 62 p.
4. Ю. Б. Костиков, В. Н. Вторушин, А. А. Шестопалов. Искусственные покрытия из камней мощения как перспективное направление в строительстве и реконструкции аэродромов. Airports International №3, 2012, 25-27с.
5. <http://www.probst.eu/>, <http://www.optimas.de/>

Кожушко В.П., канд. техн. наук, Грано Н.В.

ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК СИСТЕМЫ «РЕЛАКСОЛ» НА ГРУНТОМИНЕРАЛЬНУЮ КОМПОЗИЦИЮ

Аннотация. В статье на основе современных представлений физикохимии поверхностных явлений и теории контактных взаимодействий исследованы параметры гидратационного взаимодействия в грунтоминеральной композиции. Рассмотрен технологический эффект использования химической добавки «Релаксол» в комплексе с минеральными вяжущими. Для подтверждения результатов применены физико – механические исследования.

Ключевые слова: известь, цемент, Релаксол, связный грунт, структурообразование, доменный шлак.

Анотація. У статті на основі сучасних уявлень фізикохімії поверхневих явищ і теорії контактних взаємодій досліджені параметри гідратаційної взаємодії в грунтомінеральній композиції. Розглянутий технологічний ефект використання хімічної домішки "Релаксол" в комплексі з мінеральними в'язучими. Для підтвердження результатів використані фізико - механічні дослідження.

Ключові слова: вапно, цемент, Релаксол, зв'язний грунт, структуроутворення, доменний шлак.

Annotation. In the article on the basis of modern presentations of colloidal chemistry of the superficial phenomena and theories of pin co-operations the parameters of hydration co-operation of mix of bound ground with the mineral astringent are investigated. We consider some technological effects of the use of chemical addition of «Relaxol» in a complex with mineral astringent. Physics - mechanical investigations have been used to confirm the results.

Keywords: lime, cement, Relaxol, bound ground, structure formation, blast-furnace slag.

Постановка проблемы

Потребность материальных ресурсов при строительстве автомобильных дорог чрезвычайно большая.

Уменьшение потребности в дорожно-строительных материалах и повышения эффективности их использования может быть достигнуто за счет:

- массового использования в конструктивных слоях менее энергоёмких материалов, например, укреплённых грунтов;
- использования для укрепления грунтов из возможных вяжущих материалов наименее энергоёмких;
- более широким использованием в дорожном строительстве отходов промышленного производства.

Известны способы укрепления грунтов и отходов промышленного производства минеральными и органическими вяжущими материалами [1].

Структура укрепленного грунта – это многофазная система, которая состоит из равномерно распределенных заполнителей разных размеров, вяжущего и пустот в виде капилляров и пор, заполненных водными растворами минеральных веществ, воздухом или газом.

Первичными контактами при формировании структуры на основе вяжущих веществ, за классификацией академика Ребиндера, являются коагуляционные контакты [2].

Быстрое увеличение числа и последующий рост первичных кристаллизационных мостиков, соединивших частицы, приводит к качественному изменению структуры. Так первоначально пластичная, тиксотропно - обратимая коагуляционная структура превращается в прочную, упругохрупкую и необратимо разрушающуюся кристаллизационную структуру. Образование новых фазовых контактов и рост их площади приводят к дальнейшему ее упрочнению [3].

Для кристаллизационных дисперсных структур характерно наличие внутренних напряжений. Они являются результатом давления, возникающего при направленном росте кристаллов, связанных друг с другом в жесткую пространственную сетку. Если напряжения, развивающиеся в ходе формирования структуры, достигают ее прочности, то кристаллизация в процессе гидратации исходного вяжущего вещества приводит к разрушению структуры по отдельным наиболее слабым участкам. Такое разрушающее действие может, обнаруживается в снижении прочности структуры по мере проникания гидратации. Если внутренние напряжения ниже прочности

структуры, то явного разрушения, сопровождающегося их релаксацией, не происходит, они сохраняются в материале в виде упругой деформации кристаллов и связанной с ней избыточной энергией. При последующей эксплуатации такого материала, действие этих остаточных напряжений приводит к снижению его прочности и долговечности [4]. Поэтому снижение внутренних напряжений, развивающихся в структурах в процессе их формирования, является одним из важных путей повышения эксплуатационных характеристик дисперсных материалов.

Важнейшей механической характеристикой укрепленного грунта является прочность P_c (Н/м²), которая определяет способность материала сопротивляться разрушению под действием внешних напряжений. Величина P_c обуславливается совокупностью сил сцепления частиц в местах их контакта, т.е. прочностью p_1 индивидуальных контактов между частицами и их числом на единицу поверхности разрушения χ [3]

$$P_c \approx \chi p_1 \quad (1)$$

Эта зависимость указывает на принципиально возможные пути управления механическими свойствами укрепленного грунта. К ним относятся: 1) изменение числа контактов варьированием размера частиц и плотности их упаковки; 2) изменение прочности индивидуальных контактов варьированием физико-химических условий их возникновения и развития [3].

Для достижения наиболее плотной упаковки частиц, т.е. реализации максимального числа контактов в структуре, и вместе с тем, для предотвращения возникновения высоких внутренних напряжений широко применяются добавки различных ПАВ. Добавки, адсорбируясь на поверхности частиц, снижают прочность контактов в коагуляционных структурах и препятствуют на определенных этапах развитию фазовых контактов.

Механизм пластифицирующего действия связан с образованием гидрофильной адсорбционной пленки на поверхности частиц вяжущего и новообразований. Такие стабилизирующие слои выполняют две функции. Во-первых, они уменьшают силы сцепления между частичками, обеспечивая гидродинамическую смазку. Уменьшения трения между ними – есть основная причина увеличения подвижности. Во-вторых, эти гидрофильные адсорбционные слои тормозят гидратацию и гидролиз в начальный период вследствие возникновения значительного диффузного сопротивления в переходных слоях [5].

Вид и положение функциональных групп в молекулах определяют взаимодействие ПАВ с гидроксидом кальция, строение и конформационное состояние макромолекулярной цепи – непрерывность слоя на поверхности гидратирующихся частичек.

Действие ПАВ приводит к адсорбционному модифицированию продуктов гидратации вяжущего путем образования мелкокристаллических структур гидросиликатов.

Добавки – суперпластификаторы типа сульфированные меламинаформальдегиды, нафталинформальдегиды, модифицированные лигносульфонаты обладают одним недостатком – при гидратации молекулы ПАВ покрываются новообразованиями и их пластифицирующее действие уменьшается. Добавки новой генерации на основе поликарбоксилатов характеризуются наличием разветвленных боковых цепей, которые не позволяют частичкам вяжущего сблизиться. Кроме электростатического, реализуется стерический эффект. Боковые цепи добавок медленнее окутываются продуктами гидратации, что предопределяет их длительное пластифицирующее действие. Отдельные боковые цепи в коллоидном растворе могут откалываться от частичек вяжущего, оседать на продуктах гидратации и продолжать пластифицирующее действие. Вместе с тем, добавки этой группы довольно дороги. В связи с этим, практический интерес представляет использование недефицитных добавок на основе отходов промышленности в качестве пластификаторов [5].

Для регулирования процессов структурообразования при твердении минеральных вяжущих веществ в систему вместе с ПАВ вводят добавки электролитов, что позволяет направленно изменять пересыщение, условия кристаллизации и срастания гидратных новообразований и тем самым осуществлять процесс твердения в оптимальных условиях.

Соответственно, результативно применение комплексных добавок, в составе которых объединены компоненты водопонижающего, пластифицирующего, ускоряющего и др. типов.

В Украине применяется большое количество химических добавок различной эффективности.

Анализ исследований и формирование целей статьи

В Сумском национальном аграрном университете на кафедре строительного производства проведено ряд исследований [6,7] по укреплению грунтов вяжущими с химическими добавками системы «Релаксол» ООО «Будіндустрія ЛТД» г. Запорожье. Это перспективные недефицитны, недорогие

химические добавки, рекомендованные для широкого использования в строительстве. К основным компонентам добавок «Релаксол» относятся тиосульфат и роданид натрия – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и NaCNS – хорошо известные и широко используемые в мире компоненты добавок, которые интенсифицируют твердение, обладают противоморозным действием. В качестве пластификаторов в составе комплексных добавок «Релаксол» используются следующие вещества: лигносульфонат технический (ЛСТ), сульфированный нафталинформальдегид (С-3), поликарбоксилат (ПК).

В проводимых в СНАУ исследованиях применялись несколько типов химических добавок системы «Релаксол». Предложенные композиции позволяют укреплять грунты, повышать прочность композиций, как в ранние сроки твердения, так и в последующие; уменьшать расход минерального вяжущего [6, 7, 9].

Известно, что добавки системы "Релаксол" традиционно подразделяются на 4 основных группы и 19 типов в зависимости от назначения и технологических эффектов [8]. Следовательно, есть необходимость в изучении и анализе действия разных за видами и типами химических добавок системы «Релаксол».

Изложение исследований

Для оценки эффекта действия на свойства грунтоминеральной композиции применялись комплексные добавки Темп – 2, Супер-ПК, С-3Р, в количестве 1,5%, 1%, 1,5% соответственно.

Основные характеристики исходных материалов:

– грунт суглинок: число пластичности – 10,4; оптимальная влажность – 22%; кислотность рН – 6;

максимальная плотность – 1,68 г/см³;

– известь ОАО «Химпром», г.Сумы: активность $\text{CaO} + \text{MgO}$ – 96;

– доменный шлак ОАО МК «Азовсталь»: насыпная плотность – 1,4 г/см³; кислотность рН – 7.

– «Релаксол» ТОВ «Будіндустрія ЛТД», г.Запорожье:

Темп-2, С-3Р

Цвет и форма поставки: тёмно-коричневая жидкость.

Плотность при 20°C – 1,22 г/см³±3%; содержание хлоридов: не меньше 0,1%; рН – 8-9.

Супер-ПК

Цвет и форма поставки: светло-коричневая вязкая жидкость.

Плотность при 20°C – 1,06 г/см³±2%; содержание хлоридов: не меньше 0,5%, рН – 6-7.

Исследовано следующее соотношение компонентов: грунт - суглинок оптимальной влажности, известь - 10 % массы грунта, доменный шлак - 30 % массы грунта, 1-1,5 % добавки "Релаксол" от массы извести.

Образцы смесей формовались при оптимальной влажности грунта на гидравлическом прессе ПСУ-50 под нагрузкой 15 МПа, выдержанных на протяжении 3 мин.

Определение физико-механических характеристик проводили с числом повторений, которые обеспечивали достоверность 0,90.

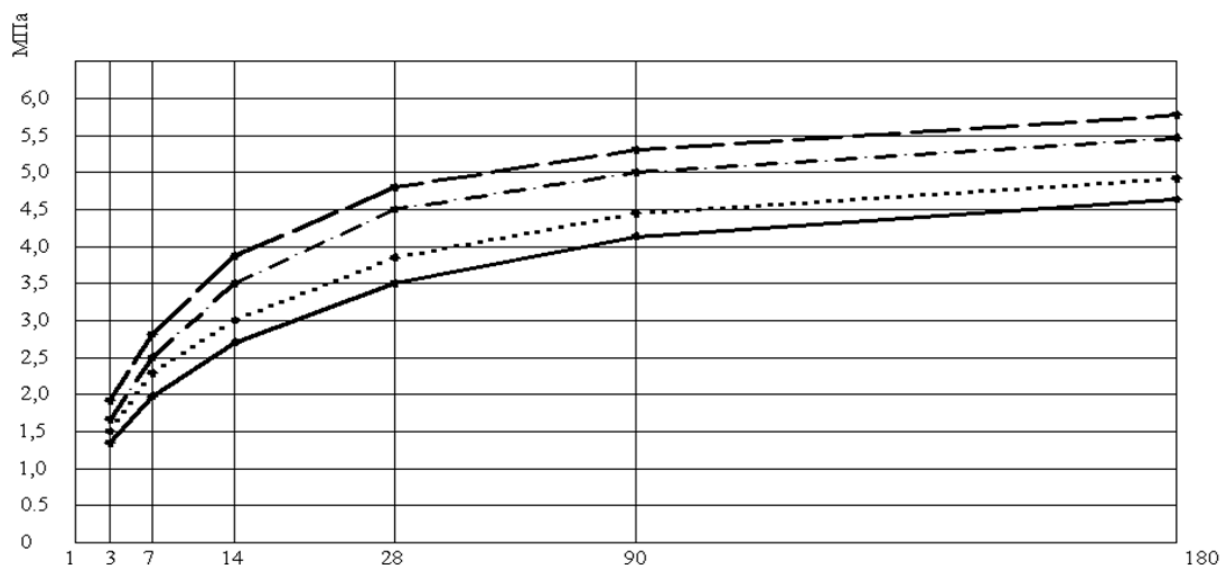


Рисунок 1 - Кинетика роста прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа суглинка, укрепленного известью с добавлением шлака в количестве 30% в присутствии модификаторов системы «Релаксол»:

- — — — — известь 10%+шлак 30%+ТЕМП-2 1,5%;
- известь 10%+шлак 30%+СУПЕР-ПК 1%;
- - - - - известь 10%+шлак 30%+С-3Р 1,5%;
- ===== известь 10%+шлак 30%.

Во время исследования образцов грунта, укрепленного известью с добавлением шлака, тенденция повышения прочности наблюдалась для всех видов использованных добавок, но лучшие показатели отмечены для модификаторов типа Темп- 2, С-3Р. По нашему мнению, это связано с величиной, которая характеризует меру активности ионов водорода (Н⁺) в растворе, то есть рН. Так как примеси Темп- 2, С-3Р имеют рН=9, следовательно есть возможность большей активизации шлаковой

составляющей, благодаря чему обеспечивается интенсивный набор как ранней прочности, так и в более поздние сроки. Для примеси Супер-ПК характерная величина $pH=6-7$, следовательно и показатели прочности несколько уменьшены.

Таблица 1 - Технологический эффект от введения добавок системы "Релаксол" в грунтоминеральную смесь

Добавка		Технологический эффект		
Тип	Дозировка	Увеличение показателей прочности по отношению к образцам без добавки		Увеличение коэф. морозоустойчивости
		на 7 сутки	на 90 сутки	
СУПЕР-ПК	1,0%	16%	8%	3%
Темп- 2	1,5%	40%	28,6%	9%
С-ЗР	1,5%	12%	18%	20%

Выводы

Полученные результаты исследований позволят сделать вывод о том, что основной эффект действия добавок приводит к возрастанию прочности грунтоминеральной композиции. Лучшие результаты получены для смесей с добавкой Темп-2. Добавка типа С-ЗР позволяет значительно увеличить коэффициент морозостойкости. Одна из причин – формирование более прочной структуры. Добавки тиосульфата и роданида натрия обуславливают уменьшение размеров капиллярных пор и одновременно увеличивают количество гелевых. Изменение соотношения гелевой и капиллярной пористости способствует повышению морозостойкости. Комплексные добавки повышают однородность распределения твердой фазы в структуре формирующейся композиции с увеличением количества контактов между новообразованиями.

Предложенная грунтоминеральная композиция относится к области строительных материалов и может быть использована как для укрепления грунтов под сооружения промышленного и гражданского строительства, так и для устройства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог и аэродромов.

Литература

1. ВБН України «Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом». ВБН В.2.3-218-002-95. Видання офіційне. Українська державна корпорація по будівництву, ремонту та утриманню автомобільних доріг (Укравтодор). – К., 1995. – 47 с.
2. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. Новая область науки / П. А. Ребиндер. – М. : Знание, 1958. – 64 с.
3. Щукин Е. Д. Коллоидная Химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М. : Высшая школа, 2004. – 445 с.
4. Физико-химическая механика дисперсных систем / Под ред. Е. Д. Щукина и др. – М. : МГУ, 1985.-266 с.
5. Саницкий М. А. Физико-химические особенности гидратации портландцементов с комплексными модификаторами системы «Релаксол» / М. А. Саницкий, У. Д. Марущак // Химические и минеральные добавки в бетон. – Х. : Колорит, 2005. – С. 160-175.
6. Пат. 17559 Україна, МПК Е 01 С 3/00, Е 02 D 3/12, С 09 К 17/40. Суміш для влаштування дорожнього покриття для автомобільних доріг та аеродромів / Смовський Ю. М., Кожушко В. П. Кожушко В. В.; заявник Сумський нац. аграрний ун-т. - № 20040605116 ; заявл. 29.06.2004 ; опубл. 16.10.2006, Бюл. №10.
7. Пат. 58654 Україна, МПК Е 01 С 3/00, Е 02 D 3/300, Е 01 С 21/00, Е 01 С 23/00, Е 02 D 27/10, Е 02 D 5/34. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів / Кожушко В. П., Грано Н. В.; завник Сумський нац. аграрний ун-т. - №201009294 ; заявл. 23.07.2010 ; опубл. 26.04.2011, Бюл. №8.
8. Система химических и минеральных добавок к бетонам, строительным растворам, сухим строительным смесям и цементам : каталог [Електронний ресурс] // каталог. - Режим доступу: <http://budpluss.grafline.com.ua/Prodaga.html>.
9. Грано Н.В. Про деякі аспекти структуроутворення при тужавінні композиції «ґрунт – цемент – релаксол» / Н.В. Грано, В.П. Кожушко // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог : Материалы международной науч.-техн. конф. молодых ученых и аспирантов. – Харьков : ХНАДУ, 2008. - С. 159 – 164.

Маляр В.В., канд. техн. наук

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИТЧАКА

Анотація. В статті розглянута можливість прогнозування модуля пружності асфальтобетонів різних складів при різних температурах та частотах деформування з використанням сигмоїдальної моделі. Показана хороша збіжність розрахункових і експериментальних значень за умови використання запропонованих коефіцієнтів.

Ключові слова: асфальтобетон, модуль пружності, бітум, в'язкість, деформування, в'язкопружність, модель.

Аннотация. В статье рассмотрена возможность прогнозирования модуля упругости асфальтобетонов разных составов, при разных температурах и частотах деформирования с использованием сигмоидальной модели. Показана хорошая сходимость расчетных и экспериментальных значений при условии использования предложенных коэффициентов.

Ключевые слова: асфальтобетон, модуль упругости, битум, вязкость, деформирование, вязкоупругость, модель.

Annotation. The article considers the predicting possibility of the elastic modulus of various asphalt compositions at different temperatures and deformation frequencies using the sigmoidal model. A good convergence of calculated and experimental values with the using of proposed coefficients is shown here.

Key words: asphalt concrete, modulus of elasticity, bitumen, viscosity, deformation, viscoelasticity, model.

Целью данной работы было изучение преимуществ и недостатков реологической модели Витчака, используемой в США более 40 лет для асфальтобетона при циклическом деформировании, а также ее применимость для описания свойств асфальтобетонов разных стандартных составов. Подобное моделирование в основном используется для описания деформационных свойств асфальтобетона в области линейной вязкоупругости. Известно, что комплексный динамический модуль упругости асфальтобетона зависит от частоты деформирования и температуры. Данные могут смещаться относительно частоты и, таким образом, соответствовать другой температуре

так, что различные температурно-частотные кривые могут быть приведены к обобщенной зависимости [1].

Эта зависимость представляет поведение асфальтобетона при данной температуре в широком диапазоне частот (до 5...10 десятичных порядков). Такая обобщенная кривая при разных температурах имеет два перехода. При высокой частоте (или низкой температуре) модуль упругости максимальный и он соответствует застеклованному состоянию асфальтобетона. При низкой частоте (или высокой температуре) материал приобретает свойства вязкопластичного тела и характеризуется минимальным значением модуля упругости.

Эквивалентность между частотой и температурой сформулирована в методе температурно-временной аналогии ТВА (метод Вильямса-Ландела-Ферри ВЛФ). Этот метод базируется на результатах испытаний материалов, которые работают только в области линейной вязкоупругости.

В общем, существуют два способа представления линейных вязкоупругих моделей (LVE) деформационных свойств материалов, это математические и механические модели. В математической (феноменологической) модели корректируют математическое уравнение на основе экспериментальных данных. В механической (аналоговой) модели линейное вязко-упругое поведение материала представляют комбинацией пружин и амортизаторов. Коэффициенты уравнения модели определяют приближением (регрессией) методом наименьших квадратов. В итоге, хорошая реологическая модель должна как можно более полно описывать реологические функции изучаемых материалов в области линейной вязкоупругости.

Исторически сложилось, что развитие реологических моделей относится к 1954 году, когда Ван-Дер-Поль представил нелинейную многомерную модель в виде диаграмм [2]. В настоящее время предлагаются несколько моделей, которые можно отнести к сигмоидальным. Например, модель Роу [3] – видоизмененная модель Кристенсена [4] и Томпсона [5]:

$$\log|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{(1 + \lambda e^{\beta + \gamma \log \omega})^{1/\lambda}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости; δ – значение нижней асимптоты функций ($E_{\min}$); $\delta + \alpha$ – значение верхней асимптоты функций ($E_{\min} + E_{\max}$); β, γ – коэффициенты, которые определяют форму зависимости между асимптотами; λ – параметр, который влияет на асимметричность зависимости.

Модель М. Витчака, которая развивается с 1972 г., описывается эмпирическим уравнением [6]:

$$E^* = -0,349 + 0,754 \left(|G_b^*|^{-0,0052} \right) \times (6,65 - 0,032 p_{200} + 0,0027 p_{200}^2 + 0,011 p_4 - 0,0001 p_4^2 + 0,006 p_{38} - 0,00014 p_{38}^2 - 0,08 V_a - 1,06 \left(\frac{V_{beff}}{V_a + V_{beff}} \right) + \frac{2,56 + 0,03 V_a + 0,71 \left(\frac{V_{beff}}{V_a + V_{beff}} \right) + 0,012 p_{38} - 0,0001 p_{38}^2 - 0,01 p_{34}}{1 + e^{(-0,7814 - 0,5783 \log |G_b^*| + 0,8834 \log \delta_b)}} \quad (2)$$

Помимо коэффициентов, учитывающих состав заполнителей, здесь использован динамический модуль сдвига вяжущего $|G_b^*|$. Это связано с тем, что Стратегической программой дорожных исследований США (SHRP, 1993) предусмотрено проводить оценку консистенции битума динамическими характеристиками на виброреометре.

В модели М. Витчака 1999 года использовался показатель эффективной вязкости η , а коэффициенты модели были рассчитаны на основе испытаний 205 асфальтобетонов различных составов при температурах 14, 40, 70, 100, 130 °F (-10...54 °C) и частотах деформирования 25; 10; 5; 1; 0,5; 0,01 Гц [6]:

$$E^* = -1,25 + 0,029 p_{200} - 0,0018 p_{200}^2 - 0,0028 p_4 - 0,058 V_a - 0,822 \frac{V_{beff}}{V_a + V_{beff}} + \frac{3,872 - 0,0021 p_4 + 0,004 p_{38} - 0,000017 p_{38}^2 + 0,0055 p_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,31335 \log(f) - 0,39353 \log(\eta))}} \quad (3)$$

где E^* – динамический модуль упругости, 10^5 psi (1 pound-force per square inch = 6894,8 Па); η – вязкость вяжущего, 10^6 Poise (1 пз = 0,1 Па·с); f – частота деформирования, Гц; p_{200} – полный проход через сито 0,075 мм, %; p_4 – полный остаток на сите 4,76 мм, %; p_{38} – полный остаток на сите 9,5 мм, %; p_{34} – полный остаток на сите 19 мм, %; V_a – остаточная пористость, %; V_{beff} – содержание битума, %.

Данных по значениям вязкости битумов в литературе много. Для определения вязкости битумов применяют самые разнообразные методы. Вязкость битума зависит не только от состава битума и его температуры, но и от длительности и характера действия нагрузки.

Значение вязкости от температуры в [6] предлагается определять по зависимости:

$$\log \log \eta = A + VTS \log T_R \quad (4)$$

где A, VTS – параметры регрессии; T_R – температура, ° Ренкина.

В представленной работе кинематическая (постоянная) вязкость используемого для асфальтобетона битума при разных температурах определялась по формуле [7]:

$$\log \eta = 10,5 - 2,26 \log II + 0,00389 (\log II)^2 \quad (5)$$

и для сравнения значений (таблица 1) по уравнению Вальтера:

$$\eta = \frac{1,58 \cdot 10^{10}}{II^{2,16}} \quad (6)$$

где II – пенетрация при разных температурах, значения которых определялись по методике, используемой в [8].

Таблица 1 – Значения вязкости битумов рассчитанных по разным формулам

Пенетрация, 0,1 мм	46	70	114	176
Вязкость, пз (5)	$5,6 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$
Вязкость, пз (6)	$4,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$

Согласно этой методики предполагается, что при температуре размягчения глубина проникания иглы пенетromетра равна 800 1/10 мм, а при температуре хрупкости – 1 1/10 мм. Между этими значениями температур логарифмическая зависимость вязкости прямолинейная. Таким образом, зная температуру размягчения и значение глубины проникания иглы при 25 °С битума, можно определить его пенетрацию при температуре T по формуле:

$$\lg II_T = \frac{\lg 800 - \lg II_{25}}{T_p - 25} (T - 25) + \lg II_{25} \quad (7)$$

Расчет модуля упругости асфальтобетона по модели Витчака с использованием предлагаемых формул легко реализуется в среде Maple. Этот программный пакет ориентирован на сложные математические вычисления, визуализацию данных и моделирование, а также обладает развитыми графическими средствами и имеет свой язык программирования.

Рассчитанные значения модуля упругости асфальтобетона по модели Витчака в широком температурном и частотном диапазоне (рис. 1) не совпали с экспериментальными данными, полученными как на вибростенде ХНАДУ [9],

так и с данными французского стандарта [10]. Несовпадение выражалось в отличие максимального и минимального модуля упругости. Так, расчетные значения максимального модуля упругости составляли около 40000 МПа, а экспериментальные - 10000 МПа, и минимального соответственно – 10 МПа и 100 МПа. Кроме того, для расчетных значений коэффициент пластичности, определенный по частотной зависимости [9] при температуре 20 °С, составлял 0,3, а для экспериментальных данных – 0,2. Т.е. существует разница в учете интенсивностей развития релаксационных процессов при деформировании.

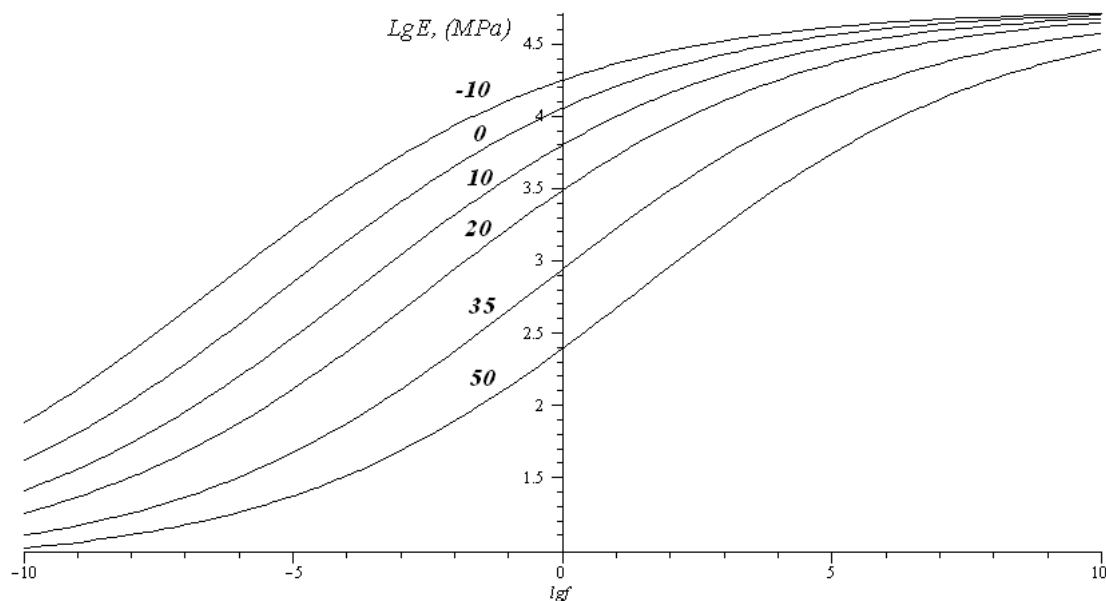


Рисунок 1 – Частотная зависимость расчетного модуля упругости (цифры на кривых – температура, °С)

Подобный анализ был сделан в [11], где сопоставлялись экспериментальные данные американских и казахских исследователей. Полученные расхождения модулей упругости асфальтобетонов примерно одинаковых составов находились в пределах от 12 до 95 %. Исходя из этого предлагалось, что модули упругости должны быть определены индивидуально для каждой смеси (образца) отдельно с учетом марки, содержания битума, фракций заполнителя и минерального порошка.

Для рассматриваемой сигмоидальной модели такое несоответствие корректируется путем изменения коэффициентов, последовательно приближая расчетные значения модуля упругости к экспериментальным значениям. Так для мелкозернистого асфальтобетона на битуме БНД 90/130 уравнение (3) принимает вид:

$$\log E^* = 2 + \frac{2}{1 + e^{(-0,30 - 0,45 \log(f) - 0,60 \log(\eta))}} \quad (8)$$

На рис. 2 приведены экспериментальные (точки на графике) и расчетные (сплошные линии) значения модуля упругости.

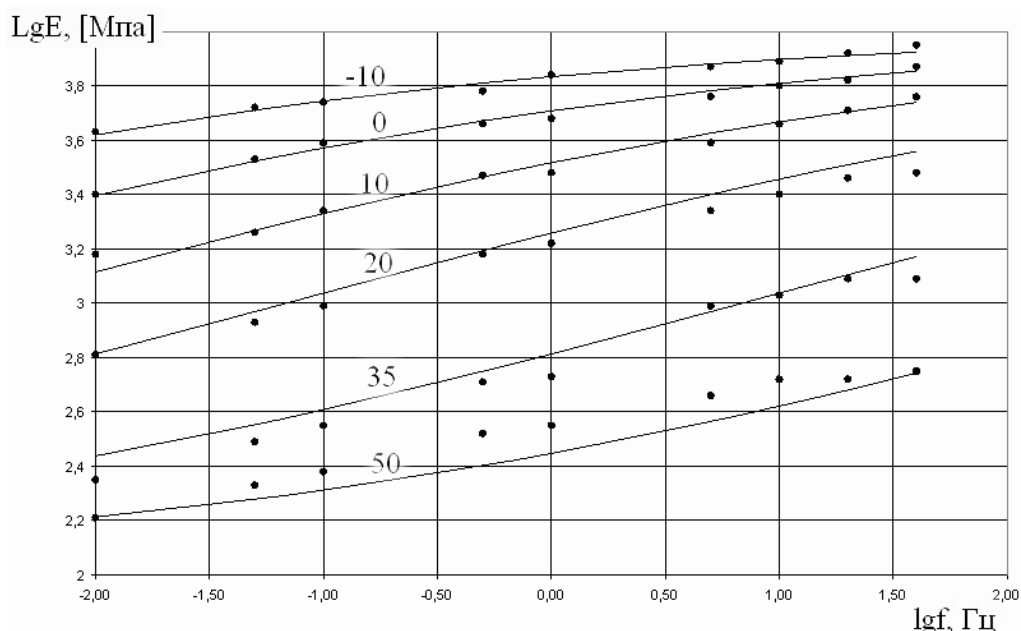


Рисунок 2 – Частотная зависимость модуля упругости асфальтобетона при разных температурах (цифры на кривых-температуры испытания, °C).

В табл. 2 приведены экспериментальные и расчетные значения модулей упругости мелкозернистого асфальтобетона «Тип Б» на битумах разных марок. Небольшое расхождение вязкости битумов, рассчитанных по формулам (5) и (6), незначительно влияет на значения модуля упругости асфальтобетона.

Таблица 2 – Значения модулей упругости асфальтобетонов на битумах разных марок

Показатель	Значение	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД90/130	БНД130/200
/E*/, МПа T=20 °C, f=0,5 Гц	экспериментальное	2400	1860	1320	1000
	расчетное	<u>2630</u>	<u>2100</u>	<u>1550</u>	<u>1180</u>
		2390	1930	1420	1090

Примечание. В числителе приведены значения, где использовалась формула (5), в знаменателе – формула (6).

Анализ этих сравнений показывает, что экспериментальные и расчетные значения модулей упругости асфальтобетонов отличаются не более чем на 10 % (за исключением значений при температуре 50 °С), притом, что модуль упругости в зависимости от условий может меняться на два десятичных порядка. По критерию Фишера предлагаемая модель адекватна экспериментальным значениям.

Рассчитанные данные модуля упругости асфальтобетона разных гранулометрических типов (различное содержание щебня) при разных температурах приведены на рис. 3. При снижении температуры расчетный модуль упругости увеличивается более чем на один порядок. Увеличение количества щебня в меньшей степени сказывается на значении модуля упругости.

При снижении температуры модуль упругости определяется жесткостью асфальтовяжущего. Здесь повышение количества щебня сопровождается уменьшением содержания асфальтовяжущего и ростом толщины битумных пленок, что приводит к снижению жесткости асфальтобетона.

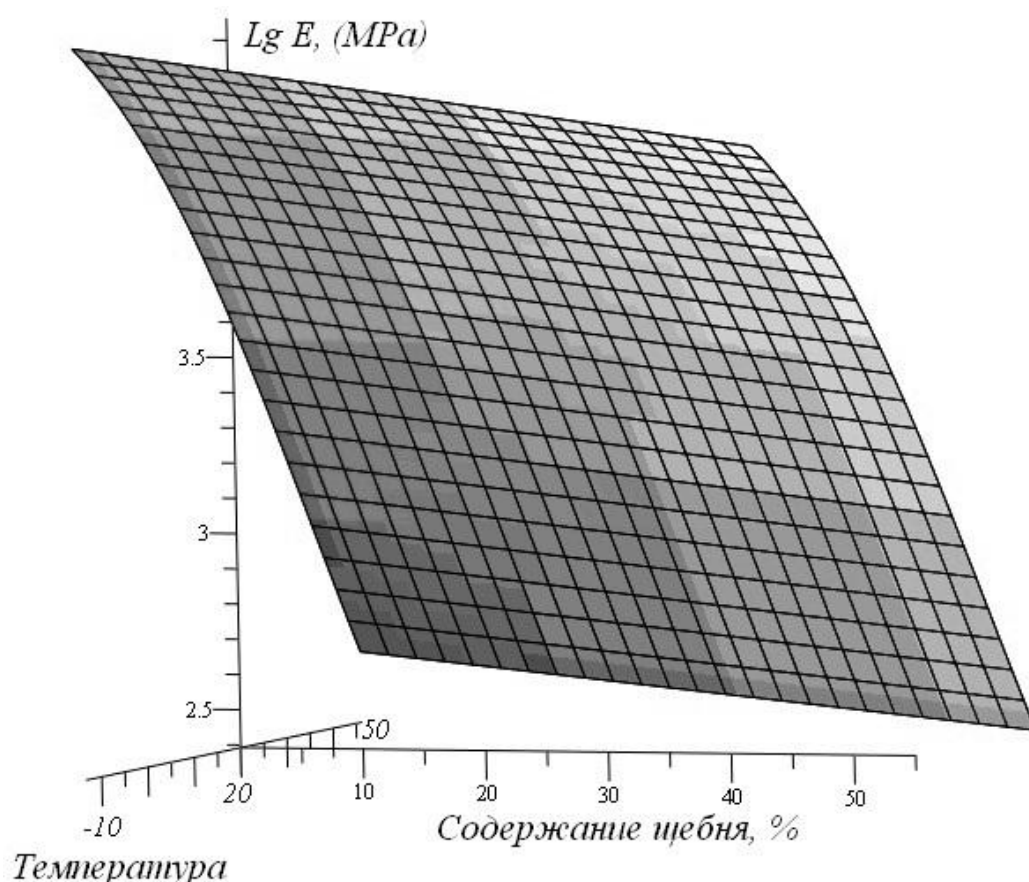


Рисунок 3 – Зависимость расчетного модуля упругости асфальтобетона от температуры и содержания щебня при частоте деформирования 1,56 Гц

При повышении температуры асфальтовяжущее размягчается и модуль упругости в значительной степени должен зависеть от жесткости щебеночного каркаса. Это присуще мелкозернистому асфальтобетону типа «Б» с содержанием щебня 35-45 %, где наиболее сочетаются свойства щебеночного каркаса и оптимальной толщины битумной пленки [9]. Однако модель Витчака не учитывает эту особенность. При положительных, как и при отрицательных температурах, рассчитанный по модели Витчака модуль упругости уменьшается с увеличением содержания щебня.

Выводы

1. Сигмоидальная модель Витчака описывает частотные зависимости модуля упругости при разных температурах асфальтобетонов разного минерального состава, содержания битума и объема пор. Однако, основанная на экспериментальных данных американских исследователей модель не соответствует данным, получаемым на вибростенде по методике ХНАДУ. Несоответствие выражается в занижении значения длительного и завышении значения мгновенного расчетного модуля упругости, а также более высокого значения коэффициента пластичности.

2. Учитывая это несоответствие (изменив коэффициенты) можно адекватно использовать эту модель для описания деформационных свойств асфальтобетонов стандартных составов. Показана хорошая сходимость результатов измененной модели Витчака и экспериментальных данных модуля упругости для мелкозернистого асфальтобетона типа «Б» на битумах разной вязкости.

3. Для прогнозирования деформационных свойств асфальтобетонов разных гранулометрических составов в измененную модель Витчака необходимо ввести соответствующие коэффициенты. Для этого необходима большая база данных экспериментальных исследований динамического модуля упругости асфальтобетона стандартных составов. Такую измененную модель можно будет использовать при проектировании конструкций дорожных одежд нежесткого типа.

Литература

1. Дж. Ферри Вязкоупругие свойства полимеров / Дж. Ферри; пер. с англ. – М.: ИЛ, 1963. – 536 с.
2. Van-der-Poel C. A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data / Van-der-Poel C. // J. Applied Chem. – 1954. - № 4. – P. 221-236.
3. Rowe. G.M. A generalized logistic function to describe the master curve stiffness properties of binder mastics and mixtures / Rowe. G.M., G. Baumgardner and M.J. Sharrock // 45th Petersen Asphalt Research Conference. Laramie, Wyoming. – 2008. July 14-16.
4. Bonaquist, R. Christensen. Practical procedure for developing dynamic modulus master curves for pavement structural design / Bonaquist, R. and D.W. Christensen // Transport Res. Rec. – 2005. - № 1929. – P. 208-217.
5. Garcia, G. HMA dynamic modulus predictive models: A review / Garcia, G. and M. Thompson // Research Report FHWA-ICT-07-2005. Illinois Centre for Transportation. – 2007.
6. Bari J. Development of New Revised Version of the Witczak E* Predictive Model for Hot Mix Asphalt Mixtures / Bari J. and Witczak M.W. // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2006. - № 75. – P. 381-424.
7. M. W. Witczak Development of a master curve (E*) database for lime modified asphaltic mixtures / M. W. Witczak, Javed Bari // Arizona State University Research Project, Fulton School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering. – 2004. July. – 29 p.
8. Золотарев В.А. Эквивалентная температура как альтернатива температуре размягчения битума / Золотарев В.А., Пыриг Я.И., Галкин А.В. // Наука и техника в дорожной отрасли. М.: МАДИ. – 2007. - №2. – С. 36-39.
9. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / Золотарев В.А. – Харьков: «Вища школа», 1977. – 116 с.
10. NF P 98-260-2 Determination du module dynamique en flexion sinusoidale.
11. Телтаев Б.Б. Анализ расчетных значений модуля упругости асфальтобетонов / Б.Б. Телтаев // Дорожная техника. – 2010. – С. 130-137.

Сокирский В.С.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В технологии дорожного строительства с 30-х годов 20 века по настоящее время, возможно, выделить ряд этапов развития:

- изыскания и применение различных материалов, пригодных для сооружения конструктивных элементов автомобильных дорог – грунт, гравий, песок;
- дифференциация количества и качества применяемых материалов, разработка и совершенствование различных технологических операций и механизмов по их реализации;
- интеграция ранее разработанных технологических операций, разработка новых дорожных материалов, таких как асфальтобетон и цементогрунт, создание много функциональных дорожно-строительных комплексов способных выполнять ранее разрозненные и казалось не совместимых операции. Например, рабочий орган ресайклера способен одновременно проводить рыхление, измельчение различных дорожных материалов, включая покрытия асфальтобетонных дорог, перемешивание с дозированным количеством вяжущих и водой, предварительное профилирование, а работа контролируется процессором.

В настоящее время технология строительства автомобильных дорог совершенствуется как в части оптимизации применяемых материалов, так и в части использования современной дорожно-строительной техники.

Повышенное внимание специалисты дорожники проявляют к материалам, укреплённым минеральными вяжущими и в первую очередь – цементом (цементогрунт) с применением местного грунта, и в связи с этим возрастает интерес к применению различных добавок, позволяющих оптимизировать состав и технологию их приготовления. Таковыми являются – стабилизаторы грунта.

Предназначение стабилизаторов грунта – повышение плотности грунта (смеси) при его уплотнении с целью повышения его прочности, влагостойкости и морозостойкости. Но, повышение прочности и влагостойкости можно достичь добавкой цемента в грунт (смесь), без стабилизатора, однако при этом возникает проблема морозостойкости, т.е. увеличение трещинообразования получаемого материала.

С целью снижения затрат, на устройство оснований дорожных одежд и твёрдых покрытий местных дорог, из укрепленных грунтов целесообразно использовать, местные грунты, такие как – супеси, суглинки и глины. Применив в качестве вяжущего - цемент для укрепления грунта, казалось – бы, это желание воплощено: используется укрепленный местный грунт вместо гравийных и щебёночных смесей, достигнуты необходимые показатели прочности и хороший экономический эффект. Однако, с применением цемента возрастает склонность уплотнённого цементогрунта к трещинообразованию и эта склонность тем больше чем больше доля цемента и чем выше число пластичности грунта. Противоречием является то, что с целью повышения прочностных показателей и влагостойкости количество цемента необходимо увеличивать, но трещинообразование при этом эти показатели ухудшают. Многочисленные исследования показывают, что максимальное количество цемента при использовании его, для укрепления грунтов, не должно превышать 6% к массе, для предотвращения трещинообразования и обеспечения морозостойкости. При условии применения цементогрунта, для верхних слоев дорожных оснований и покрытий местных дорог.

Стабилизаторы грунта – многокомпонентные системы, которые в основном имеют кислую среду, и обладают поверхностно-активными, каталитическими и пластифицирующими свойствами. В их состав входят, как правило, суперпластификаторы, гидрофобизаторы, сложные органические соединения, которые включают сложноэфирные группы и ионогенные комплексы, способные улучшить уплотняемость грунтов, и повысить их прочность. В результате, количество цемента в грунтосмесях при использовании стабилизатора, возможно, сократить с сохранением эквивалентных физико-механических характеристик укрепленного грунта, а наиболее эффективные стабилизаторы при их применении дают и существенную экономическую выгоду, от экономии цемента и сокращении

расходов на топливо при строительстве (о чём будет дано отдельное пояснение ниже).

При использовании стабилизаторов достигается большее уплотнение, чем без стабилизатора, а экономия цемента достигает 30%, а в некоторых смесях и более, позволяя уходить от риска трещинообразования с сохранением стабильных показателей прочности и морозоустойчивости.

Одним из главных свойств любого стабилизатора грунта является его способность снижать коэффициент поверхностного натяжения воды в плёнках на минеральных частицах. Чем меньше коэффициент, тем выше проникающая способность раствора стабилизатора в поры грунта. При внесении водного раствора стабилизатора в грунт происходит уменьшение толщины плёночной воды вокруг частиц грунта, и при этом достигается большая плотность уплотнённого грунта и соответственно прочность с одновременным уменьшением оптимальной влажности по уплотнению. При большем сближении частиц грунта, интенсивнее включаются в действие силы электростатического взаимодействия, что обеспечивает большую компенсацию остаточных напряжений в уплотнённой грунтовой смеси, увеличивая долговечность. Наиболее перспективные стабилизаторы, помимо высокой проникающей способности, обладают свойствами пластификатора: уменьшают напряжения сдвига, что облегчает перемешивание грунтовых смесей, при их приготовлении и снижает количество проходов катка при уплотнении, что даёт экономию топлива.

Таким образом, стабилизаторы – это материалы, оптимизирующие состав грунтовых смесей и технологию их применения. Они не являются вяжущими, а потому не могут быть заменителями таких вяжущих как цемент, известь, битум и др. Самостоятельно стабилизаторы не могут обеспечить необходимую водоустойчивость (тем более – морозоустойчивость) и стабильность во времени уплотнённых грунтов (грунтовых смесей). Поэтому, предложения в различных рекламах приобрести стабилизатор, заменяющий вяжущие, например, цемент, являются попросту обманом потребителя.

В Государственном дорожном научно-исследовательском институте Украины им. М. П. Шульгина были исследованы более 20 различных известных стабилизаторов, некоторые из них, приведены в Таблице 1.

Таблица 1

№	Наименование стабилизаторов	Общая характеристика
1	Roadbond EH-1 (производство США)	Многокомпонентная жидкость, включающая эфирные масла, законсервированные в серной кислоте.
2	Roadbond глин и глинистых грунтов, RRP-235 Spesial – Рейнольде Роуд Паккер (производство Германии и Канады)	Многокомпонентная жидкость, включающая ПАВ, законсервированные в серной кислоте.
3	RoadbondSPP(производство ЮАР и России)	Многокомпонентная жидкость, поляризующая глинистые частицы и активно влияет на капиллярную и плёночную воду
4	Стабилизаторы ГРБ-1, ГБР-2, ГБР-3, ГБР-4, ГБР-5 (производство института высокомолекулярных соединений НАН Украины)	Раствор силикатных олигомеров линейной и разветвлённой структуры. ТУ 43674272, 008-98
5	Гидрофобизирующие жидкости ГКЖ-ПБ, ГКЖ-12, КЖ-94 (производства Запорожского АО “Кремний полимер”)	ТУ 6-02-5-006-91
6	Стабилизатор грунтов Perma-Zyme 11x(производство США)	Ферментный препарат
7	Стабилизатор грунтов - Дорзин (производство ООО«Днепровская ассоциация-К», Украина)	Ферментный препарат
8	Жидкое стекло	ГОСТ 1378-91
9	Хлористый кальций (Ca Cl ₂)	

На рис.1 представлена диаграмма эффективности использования исследованных стабилизаторов грунта. Из Рис.1 следует, что для строительства дорожного полотна 1 категории, пригодны только – жидкое стекло (0,1%), Perma-zumellx, Дорзин и Дорзин-М, потому как, предел прочности на сжатие материала конструкционного слоя, должен быть 4-6 МПа.

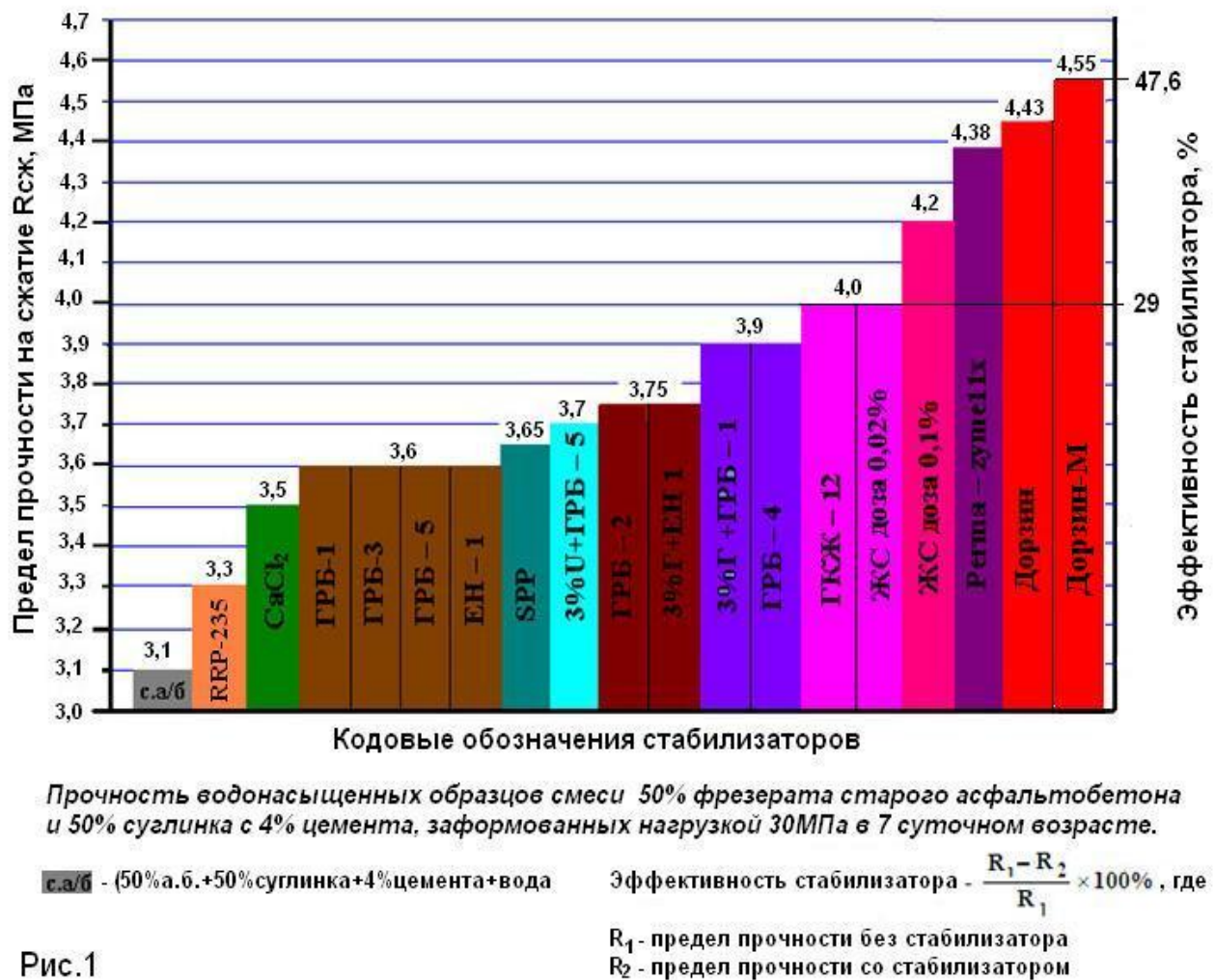


Рис.1

Экономическую эффективность использования стабилизаторов можно определить по формуле:

$$E = \frac{C + nK}{\left(\frac{R_1 - R_2}{R_1} \right)}, \quad (1)$$

где R_1 – предел прочности без стабилизатора;

R_2 – предел прочности со стабилизатором;

С – стоимость стабилизатора необходимого для 1 м^2 дорожного слоя;
К – стоимость 1% цемента на 1 м^2 дорожного основания;
п – процентное содержание цемента в грунтосмеси.

Согласно формуле, при ценах на материалы 2012 года, экономическая эффективность применения ферментного препарата Дорзин-М в 1,5 раза выше, чем при применении силиката натрия (ЖС).

Вывод

Таким образом, стабилизаторы грунта позволяют:

- являясь поверхностно-ативными добавками, снизить оптимальную влажность, при этом достигать более высоких показателей плотности;
- обладая пластифицирующими свойствами, снизить энергозатраты на производство работ по уплотнению;
- будучи катализаторами, ускорить процесс набора прочности;
- повысить плотность грунтосмесей в 1,1-1,2 раза больше, при их уплотнении, т.е. повысить прочность, водоустойчивость и морозоустойчивость;
- получить экономию минеральных вяжущих до 30% и выше.
- используя эффективные стабилизаторы снизить стоимость дорожной конструкции.

Литература

1. В. Г. Юмашев, С. Г. Фурсов, В. С. Исиев (Союздорнии) “Возможности применения стабилизаторов, предлагаемых зарубежными фирмами” // Автомобильные дороги. – 1995. – № 3-4.
2. Кочеткова Р.Г. особенности улучшения свойств глинистых грунтов стабилизаторами // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – №3.
3. Исследование возможности получения поверхностно-активного стабилизатора глин и глинистых грунтов стабилизатора RRP (ФРГ) из доступных источников сырья. Отделение нефтехимии Ин-Фоу АН УССР шифр темы 9.11 – Киев, 1985.

Сокирский В.С.

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОСМЕСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДОРЗИН

Анотація. Наведено результати досліджень з використанням стабілізуючої добавки Дорзин-М, при укріпленні ґрунтосумішей.

Ключові слова: стабілізатор ґрунту, Дорзин, укріплення ґрунту, дорожні конструкції.

Аннотация. Приведено результаты исследований по использованию стабилизирующей добавки Дорзин-М, при укреплении грунтосмесей.

Ключевые слова: стабилизатор грунта, Дорзин, укрепление грунта, дорожные конструкции.

Annotation. The result of studies on the use stabilizing additive Dorzin-M, while strengthening of soil-mixes.

Key words: soil stabilizer, Dorzin, strengthening soil, road construction.

На підприємстві ООО «Днепровская асоціація-К» розроблена технологія по устрою основаній дорожніх одежд из місних ґрунтів, стабілізованих ферментним препаратом Дорзин и укріплених цементом.

Стабілізатор ґрунта Дорзин – ферментний препарат, синтезований в 2006 році, виробиться в Україні. Исходное сырье для синтеза – патока сахарної свеклы. Водний розв'язок Дорзина дозволяє знизити оптимальну вологість, и відповідно підвищити щільність и міцність укріплених ґрунтів. Существоє дві модифікації: Дорзин и Дорзин-М.

Фізико-хімічні характеристики Дорзина и Дорзина-М приведені в таблиці 1.

Таблица 1 - Физико-химические характеристики

Наименование показателя	Дорзин	Дорзин-М
1. Агрегатное состояние	Жидкость	
2. Внешний вид	Однородная тёмно-коричневая жидкость без механических включений	
3. Запах	Слабый, сладковато-карамельный	
4. Плотность при 20°C, кг/дм ³	1,10 - 1,30	
5. pH 50 % водного раствора	4,0 - 6,6	
6. Содержание сухих веществ %	52,5 - 55,5	
7. Растворимость в воде	полная	
8. Стабильность	Стабильный, не полимеризуется. Возможно образование осадка растворимого при перемешивании. Устойчив к резким колебания температуры (+0 - +50°C). Адаптирован к средам с высокой соленостью (более 4%) и разной кислотностью (pH 3,0-10).	
9. Стойкость при хранении	5 лет.	
10. Характеристика взрыво-пожароопасных свойств	Не горюч, не взрывоопасен	
11. Коэффициент поверхностного натяжения при 20°C и 1 % р-р препаратов в воде. При 20°C и 0,01% р-р в воде 10 ⁻³ н/м	23,2 29,8	20,3 26,9

На предприятии ООО «Днепровская ассоциация-К» разработана технология по устройству оснований дорожных одежд из местных грунтов, стабилизированных ферментным препаратом Дорзин и укрепленных цементом.

Стабилизатор грунта Дорзин – ферментный препарат, синтезированный в 2006 году, производится в Украине. Исходное сырье для синтеза – патока сахарной свеклы. Водный раствор Дорзина позволяет снизить оптимальную влажность, и соответственно повысить плотность и прочность укрепленных грунтов. Существует две модификации: Дорзин и Дорзин-М.

Таблица 2 - Физико-механические характеристики грунта Г1 и его смесей с отсевом

№ П. п	Параметры	Наименование грунта(смеси)		
		100%Г1	70%Г1+30% О	50%Г1+ 50%О
1	граница текучести грунта - W_T , %	28,8	24,0	20,5
2	граница раскатывания грунта - W_P , %	16,5	15,5	14,75
3	число пластичности - $I_p = W_T - W_P$	12,3	8,5	5,65
4	плотность насыпного грунта при влажности (X)% - $\rho_{нас}$	1,062 (4,5%)	1,330 (4,17%)	1,454 (3,1%)
5	плотность скелета насыпного грунта - $\rho_{ск.нас.}$	1,016	1,277	1,410
6	содержание песчаных частиц (2.0-0.05 мм) по массе	1,1	21,4	34,9
7	классификация грунта (смеси)	Суглинок тяжёлый пылеватый	Суглинок легкий пылеватый	Супесь песчанистая
8	коэффициент неоднородности грунта – C_u	2,6	5,7	7,14
9	оптимальная влажность с Водой - W_{opt} , %	14,1	10,5	9,87
10	плотность уплотнённого грунта на воде при - $W_{opt} \rho_{opt.вода}$, $г/см^3$	2,134	2,21	2,132
11	плотность скелета грунта на воде при опт.влажности - $\rho_{ск. opt.вода}$, $г/см^3$	1,870	2,00	2,018
12	оптимальная влажность грунта с Дорзин-М - W_{opt} , %	13,35	10,0	8,75
13	плотность уплотнённого грунта с Дорзин-М при W_{opt} - $\rho_{opt.ДЗМ}$, $г/см^3$	2,155	2,24	2,184
14	плотность скелета грунта с Дорзин-М, при опт.влажности - $\rho_{opt.ДЗМ}$, $г/см^3$	1,901	2,036	2,084
15	Относительное уменьшение оптимальной влажности с переходом на Дорзин-М, %	5,3	4,76	8,9

Дорзин в настоящее время выпускается в модификации Дорзин-М. Дорзин-М – эффективное поверхностно-активное вещество, коэффициент поверхностного натяжения водного раствора в 2,7 раза меньше чем у воды. Поэтому применение Дорзина-М позволяет снижать толщину водных пленок адсорбированных минеральными частицами, тем самым, снижать оптимальную влажность грунта, повышая его плотность и прочность. Стабилизатор грунта Дорзин-М сочетает в себе свойства поверхностно-активного вещества, катализатора, ускоряющего процессы гидратации и твердения цементного камня, и пластификатора, улучшающего уплотняемость грунтосмесей.

Для исследования был взят суглинистый грунт (лабораторный индекс – Г1). Физико-механические характеристики этого грунта представлены в таблице 2.

Гранулометрический анализ грунтовых смесей с добавкой гранитного отсева, показан на Рис. 1, на котором построены графики составленных смесей, и по ним определены коэффициенты неоднородности C_u .

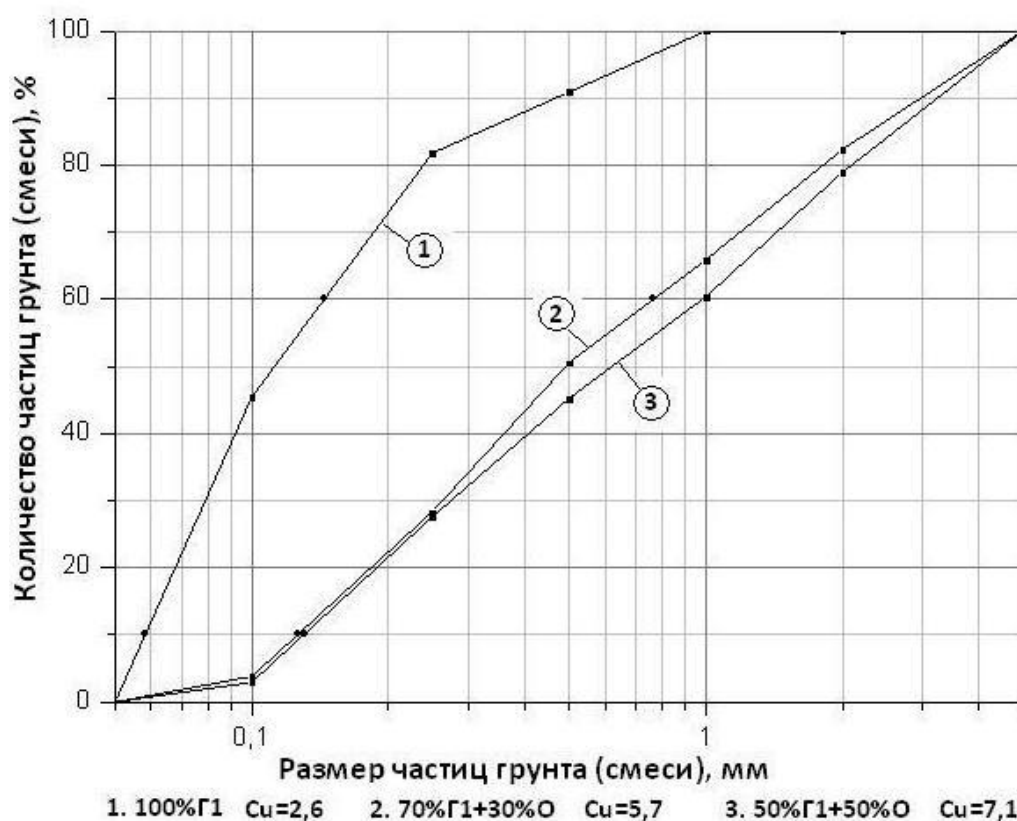


Рисунок 1

Для улучшения свойств суглинистого грунта, применили добавку гранитного отсева в количестве 30% и 50% от массы грунта. Гранулометрический состав этих грунтосмесей показан в таблице 3.

Таблица 3 -Ситовый анализ грунта Г1 и его смесей с отсевом

Лабораторный индекс образца	Значение	Фракция грунта, мм									
		00	5	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	попдон	сумм
100% Г1	Остаток, г	-	-	-	0	0,1	0,1	0,4	0,5	101,7	102,8
	Остаток, %	-	-	-	0	0,1	0,1	0,4	0,5	98,9	-
	Прошло, %	-	-	-	100,0	99,9	99,8	99,4	98,9	-	-
70%Г1+ 30%О	Остаток, г	0	1,5	4,6	4,3	4	5,8	6,3	1	71,7	99,2
	Остаток, %	0	1,5	4,6	4,3	4,0	5,8	6,4	1,0	72,3	-
	Прошло, %	100	98,5	93,9	89,5	85,5	79,6	73,3	72,3	-	-
50%Г1+ 50%О	Остаток, г	0	1,5	10,4	9,1	7,5	8,7	12,1	1,5	60,5	111,3
	Остаток, %	0	1,3	9,3	8,2	6,7	7,8	10,9	1,3	54,4	-
	Прошло, %	100	98,7	89,3	81,1	4,4	66,6	55,7	54,4	-	-

На Рис. 2 представлены результаты экспериментального определения оптимальной влажности и максимальной плотности, как чистого суглинка, так и его смесей с гранитным отсевом и добавкой Дорзин-М. Оптимальная влажность, плотность и содержание количества заземленного воздуха в уплотненных смесях, без добавки Дорзин-М, и с добавкой в количестве 0,002% от массы смеси.

Лабораторные образцы смесей изготавливали в малом приборе стандартного уплотнения СОЮЗДОРНИИ. Результаты испытаний уплотненных

грунтоцементных смесей с тремя и шестью процентами к массе грунта портландцемента М500, представлены в таблице 4.

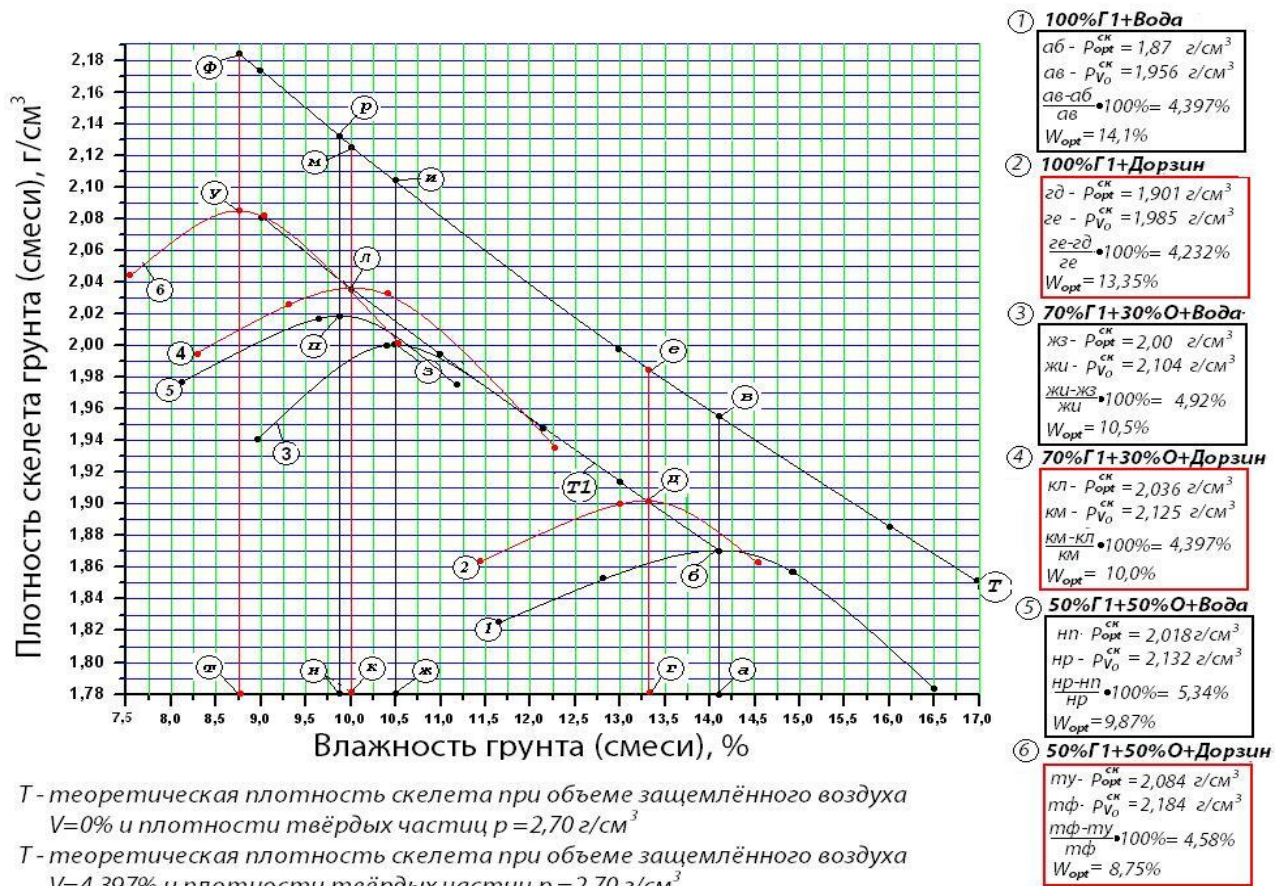


Рисунок 2

Таблица 4 - Результаты испытаний грунтосмесей различного состава

№ исследования	Состав смеси						Оптимальная влажность грунта (смеси), $W_{опт}$, %	Плотность уплотненного грунта (смеси) при $W_{опт}$, $\rho_{опт}$, г/см ³	Плотность скелета грунта (смеси), при $W_{опт}$, г/см ³	Придел прочности на сжатие после выдержки 7/28 суток МПа	
	Наименование	Количество, %	Наименование	Количество, %	Наименование	Количество, %					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100%Г1	100	-	-	-	-	14,10	2,134	1,870	0,812	
2	100%Г1	100	-	-	ДЗМ	0,002	13,35	2,155	1,901	1,066	
33	70%Г1+30%О	100	-	-	-	-	10,50	2,210	2,000	1,005	
44	70%Г1+30%О	100	-	-	ДЗМ	0,002	10,00	2,240	2,036	1,183	
55	50%Г1+50%О	100	-	-	-	-	9,87	2,132	1,940	0,594	
66	50%Г1+50%О	100	-	-	ДЗМ	0,002	8,75	2,184	2,008	1,03	

Конец табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
77	97%Г1 +3%Ц	97	цемен т	3	-	-	14,5 2	2,088	1,823	1,797	2,609
88	94%Г1 +6%Ц	94	цемен т	6	-	-	14,9 4	2,043	1,777	3,711	6,305
99	97%Г1 +3%Ц	97	цемен т	3	ДЗ М	0,00 2	13,7 5	2,093	1,840	2,239	3,325
10	94%Г1 +6%Ц	94	цемен т	6	ДЗ М	0,00 2	14,5 0	2,113	1,845	4,711	7,949
11	(70%Г1+30%О)+3%Ц	97	цемен т	3	-	-	10,8 0	2,135	1,927	3,036	4,736
12	(70%Г1+30%О)+6%Ц	94	цемен т	6	-	-	11,1 0	2,124	1,912	5,137	8,665
13	(70%Г1+30%О)+3%Ц	97	цемен т	3	ДЗ М	0,00 2	10,3 0	2,189	1,985	3,802	5,949
14	(70%Г1+30%О)+6%Ц	94	цемен т	6	ДЗ М	0,00 2	10,7 0	2,173	1,963	6,584	10,228
15	(50%Г1+50%О)+3%Ц	97	цемен т	3	-	-	10,2 0	2,175	1,974	3,371	5,447
16	(50%Г1+50%О)+6%Ц	94	цемен т	6	-	-	10,5 0	2,191	1,983	5,964	9,015
17	(50%Г1+50%О)+3%Ц	97	цемен т	3	ДЗ М	0,00 2	9,00	2,207	2,025	4,772	7,173
18	(50%Г1+50%О)+6%Ц	94	цемен т	6	ДЗ М	0,00 2	9,30	2,194	2,007	6,802	10,558

ДЗМ – Дорзин-М, Г1 – суглинистый грунт ,О – гранитный отсев

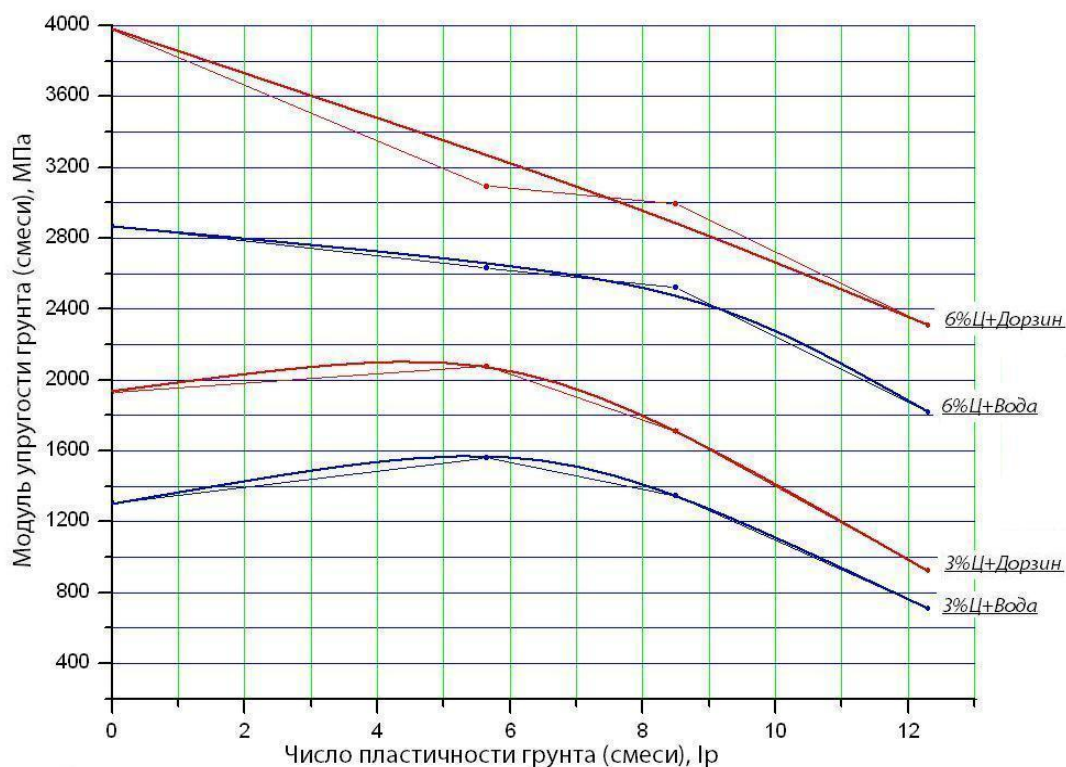


Рисунок 3 - Зависимость модуля упругости укрепленных цементом грунтосмесей, от числа пластичности

Анализ экспериментальных данных показал, что на формирование физико-механических характеристик грунтоцементных смесей заметное влияние оказывает число пластичности мелкодисперсной части, достигая максимальных значений прочности образцов в 28 суточном возрасте, при числе пластичности 5, что показано на Рис.3.

Коэффициент неоднородности также, влияет на прочность образцов грунтоцементных смесей и имеет линейную зависимость, с увеличением коэффициента неоднородности увеличивается и нагрузка разрушения (Рис.4).

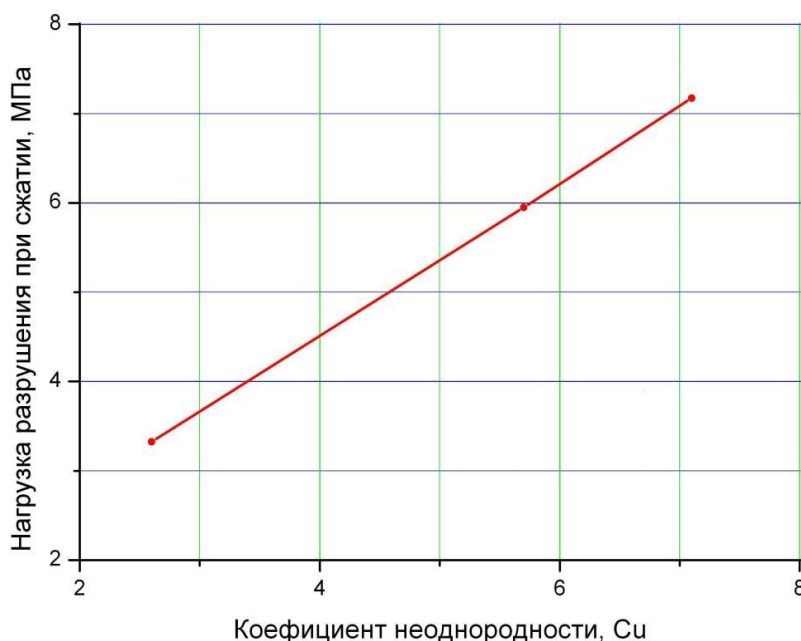


Рисунок 4 - Зависимость прочности укрепленных 3% цемента грунтосмесей от коэффициента неоднородности

Применение стабилизатора Дорзин-М, проявляя свои поверхностно-активные свойства, позволяет снизить оптимальную влажность грунтосмесей, тем самым увеличивает максимальную плотность, при одинаковом содержании заземленного воздуха в конечном материале. Что в свою очередь позволяет увеличить прочность материала, тем самым снизить необходимое количество цемента.

Вывод

Данный опыт показал, что прочность грунтоцементных смесей укрепленных стабилизатором Дорзин-М с меньшим количеством цемента эффективно использовать при строительстве оснований дорожных одежд, что позволит снизить стоимость дорожной конструкции, не снижая её качества, и избежать трещинообразования, связанное с применением больше 6% цемента.

Чистяков В.В., д-р техн. наук (КНУСА),
Шургая А.Г., нач. лаб. (Мостоотряд-112),
Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук (НТУ),
Гудименко К.В. (НТУ),
Сербин В.П., д-р техн. наук (НТУ КПИ)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Анотація. У статті розглянуті особливості процесів гідратації портландцементу з комплексною добавкою. Представлені результати вивчення механізму дії добавки з використанням методів: диференційно - термічного аналізу (ДТА), рентгено - фазового аналізу (РФА), інфрачервоної спектроскопії (ІЧС).

Ключеві слова: цементобетон, добавки в бетон, гідратація цементу.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности процессов гидратации портландцемента с комплексной добавкой. Представлены результаты изучения механизма действия добавки с использованием методов: дифференциально-термического анализа (ДТА), рентгенофазового анализа (РФА), инфракрасной спектроскопии (ИКС).

Ключевые слова: цементобетон, добавки в бетон, гидратация цемента.

Annotation. The article describes the features of hydration processes of Portland cement with the addition of the complex supplements.. The results of studying the mechanism of action of additives with the following methods: differential thermal analysis (DTA), X-ray diffraction (XRD), infrared spectroscopy (IR).

Key words: cement concrete, concrete admixtures, cement hydration.

В Мостоотряде-112, г.Бровары была разработана и исследована комплексная добавка ШАГ, которая эффективно применялась для бетонирования плиты автопроезда путепровода-развязки на московской площади(2010), путепровода на столичном шоссе (2011) в г. Киеве [1-4].

Комплексная добавка ШАГ включает следующие компоненты:

- суперпластификатор;
- пластификатор;
- аэрант;
- гидрофобизатор;
- пеногаситель.

Исследование добавки показали возможность эффективного использования ее в летнее время при температурах до 30 °С. При этом удобоукладываемость бетонных смесей (ПЗ - П4, ОК = 21 - 26 см), сохранность бетонной смеси на протяжении 8-ми часов.

Твердение бетона характеризуется существенным снижением экзотермии и как следствие, процессов трещинообразования. Полученные бетоны характеризуются такими показателями : В40, F 300, W 10. Расход цемента при этом не превышает 400 кг/м³.

Изучены процессы структурообразования и тепловыделения цементных систем с комплексной добавкой.Для более детального изучения механизма действия добавки дополнительно использовались дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА), инфракрасная спектроскопия (ИКС).

На рис. 1 представлены результаты дифференциально-термического анализа цементного камня бездобавочного состава и с комплексной добавкой ШАГ.

Модифицированные составы характеризуются замедлением процессов гидратации. В суточном возрасте потеря массы Δm (количество связанной воды) составляет соответственно 14,8 % (контрольный состав) и 13,4 % (с добавкой ШАГ). В 28-суточном возрасте соответственно 22,7% и 19,4 %. Относительное уменьшение степени гидратации после 28-ми суток твердения составило 15 %.

Следует отметить, что модифицированный комплексной добавкой бетон, несмотря на уменьшенную на 15 % степень гидратации цемента,

характеризуется повышенной на 20-50 % марочной прочностью. Это позволяет прогнозировать увеличение разницы в прочности при дальнейшем твердении, учитывая резерв негидратированного цемента в модифицированном комплексной добавкой составе.

Необходимо также обратить внимание на другой эндотермический эффект на кривой ДТА в районе 500 °С. Площадь указанного эффекта и потери массы препаратов цементного камня в этом диапазоне в модифицированном составе, в сравнении с контрольным, в два раза меньше. Это говорит о том, что часть гидроксида кальция в модифицированном цементном камне и бетоне уменьшается на 50 %. Как известно, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ снижает коррозионную стойкость и долговечность бетона. Таким образом, модифицированные комплексной добавкой бетоны и мостовые конструкции на их основе будут характеризоваться повышенной долговечностью [5].

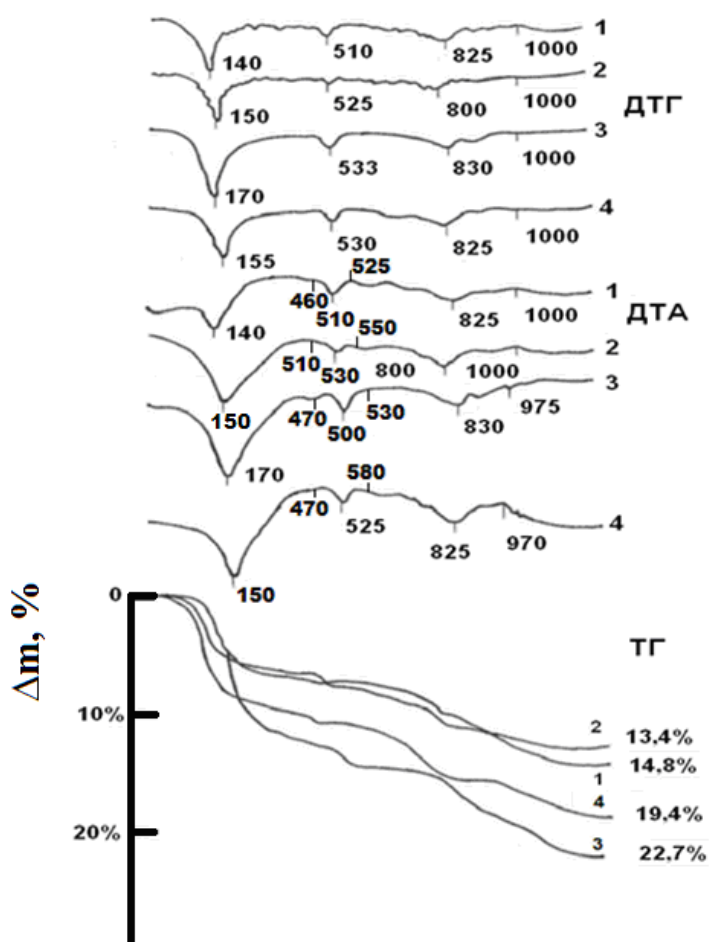


Рисунок 1 - Кривые ДТГ, ДТА, ТГ цементного камня 1, 3 – композиция на основе портландцемента без добавки; 2, 4 – композиция на основе портландцемента с комплексной добавкой ШАГ после твердения через 1 сутки (1, 2) и через 28 суток (3, 4)

Результаты рентгенофазового анализа (РФА), приведенные на рисунке 2, свидетельствуют, что через сутки гидратации фиксируются такие новообразования как гидроксид кальция – линии (0,494 – 0,261 нм). Следует указать, что в составе с добавкой фиксируется значительное уменьшение гидроксида кальция, и он является менее закристаллизованным. Линии гидросиликатов кальция (основная линия – 0,304 нм) практически не отличается.

Через 7 суток гидросиликаты кальция в модифицированном составе характеризуются более высокой степенью закристаллизованности. Это подтверждается и линиями, которые характеризуют гидросиликаты кальция (0,304), интенсивность которых в модифицированном добавкой составе выше.

Результаты РФА препаратов, которые твердели 28 суток, свидетельствуют о большем содержании в модифицированном цементном камне гидросиликатов кальция – основных носителей прочности (линия 0,304 нм).

Результаты РФА полностью согласуются с результатами ДТА.

Так, интенсивность линий клинкерных минералов цемента в модифицированном составе существенно превышает контрольный состав, что свидетельствует о снижении гидратации модифицированного цемента в возрасте 28 суток и наявность большего резерва негидратированного клинкера.

В дальнейшем большая доля негидратированной части клинкерных минералов цемента в модифицированном составе обуславливает больший прирост прочности цементного камня и бетона на более поздних этапах твердения.

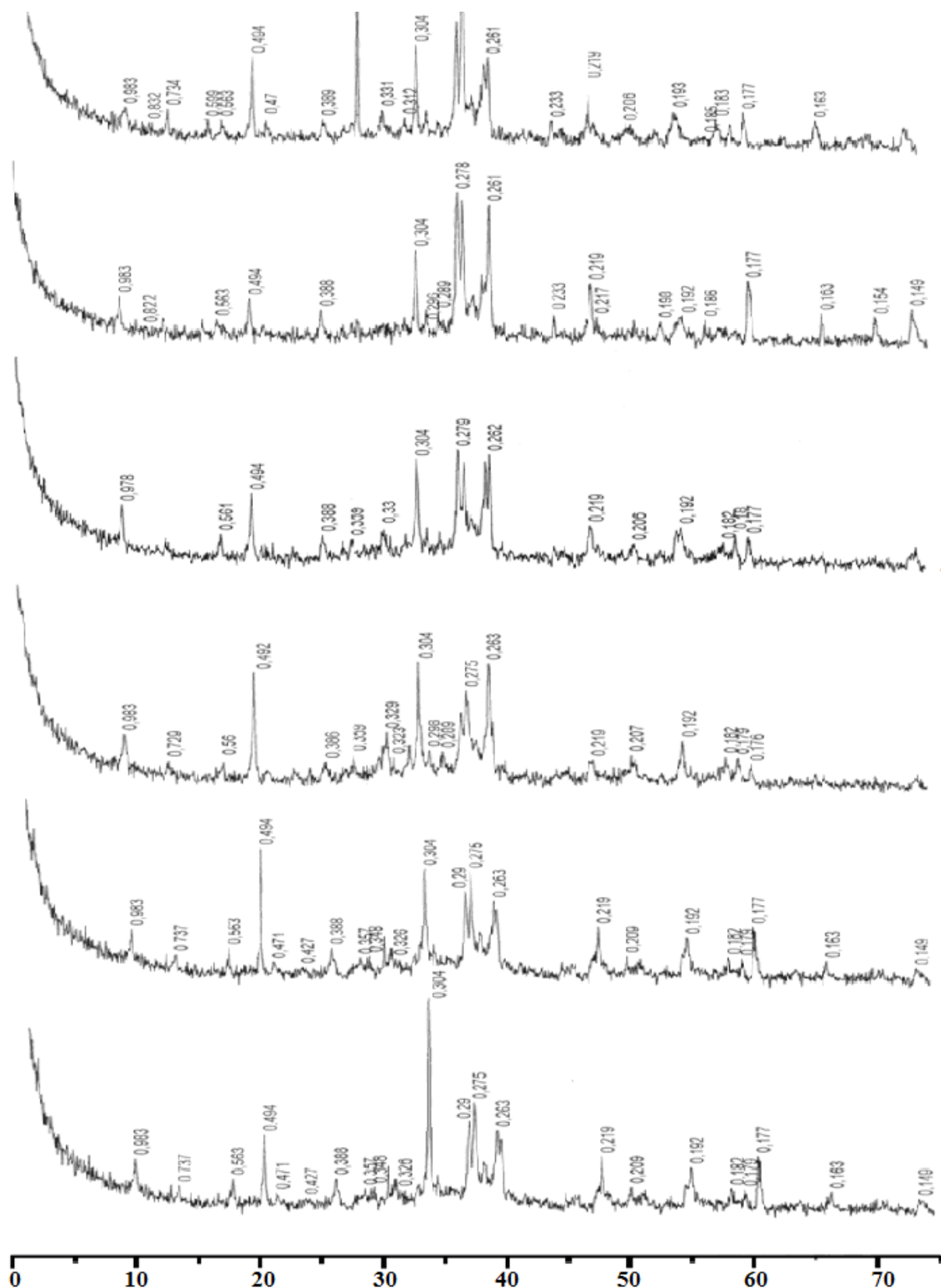


Рисунок 2 - РФА цементного камня

1 – негидратированный цемент; 2, 4, 6 – композиция на основе портландцемента без добавки после твердения через 1, 7, 28 суток;

3, 5, 7 - композиция на основе портландцемента с комплексной добавкой ШАГ после твердения через 1, 7, 28 суток

На рисунке 3 приведены результаты инфракрасной спектроскопии (ИКС) цементного камня. Поглощение области 3400 см^{-1} характеризует наличие в цементной пасте и цементном камне Si-OH групп, интервал $1400\text{--}1460\text{ см}^{-1}$ линии соответствует колебаниям свободной (химически несвязанной) воды, интервал $900\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ соответствует связям Si-O-Si в гидросиликатах кальция – основных носителях прочности цементного камня.

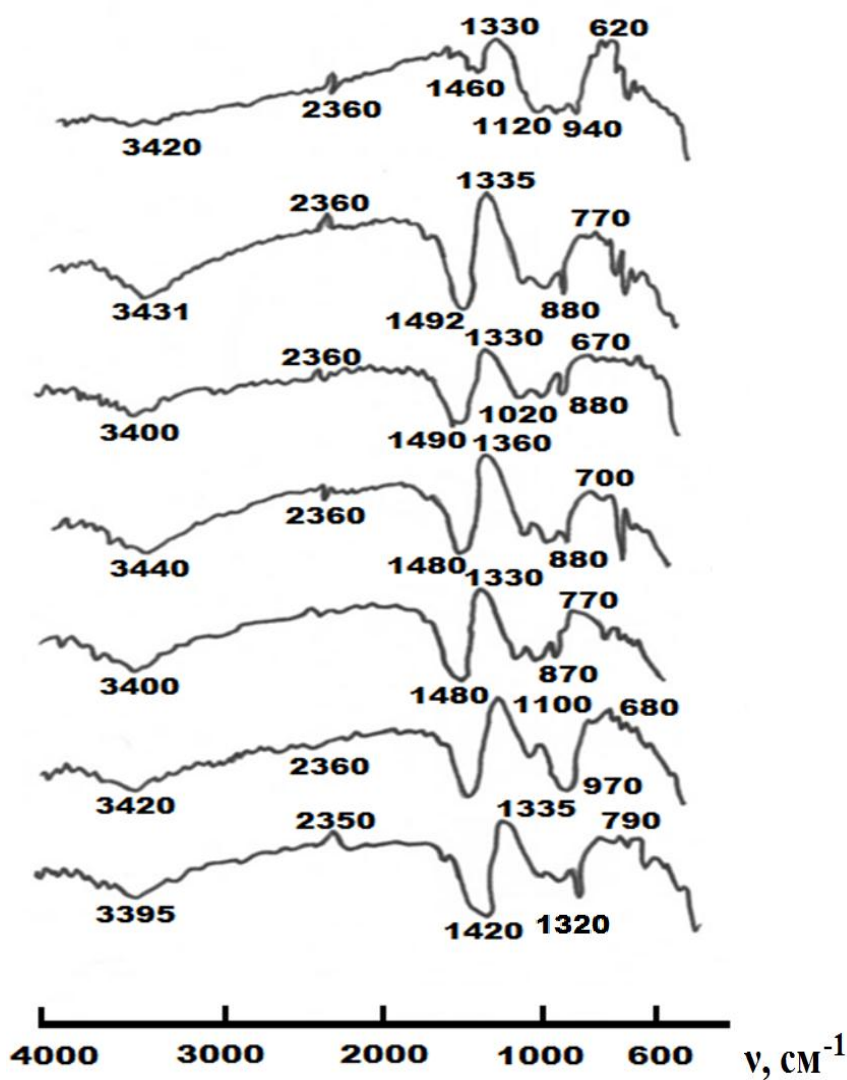


Рисунок 3 - ИК-спектры цементного камня

1 – негидратированный цемент;

2, 4, 6 – композиция на основе портландцемента без добавки после твердения через 1, 7, 28 суток;

3, 5, 7 - композиция на основе портландцемента с комплексной добавкой ШАГ после твердения через 1, 7, 28 суток

Смещение линий в модифицированном составе в интервале $900-1000\text{ см}^{-1}$ в сторону больших значений свидетельствует о большей степени полимеризации гидросиликата кальция, которая отражается на большей прочности модифицированного состава в сравнении с бездобавочным составом.

Интенсивность линий в диапазоне $3000-4000\text{ см}^{-1}$ свидетельствует о наличии Si-OH групп в цементном камне и большая интенсивность их в модифицированном составе свидетельствует о том, что модифицированный цементный камень характеризуется более высокой удельной поверхностью гидратных новообразований.

Полученные результаты подтвердили положительное и эффективное влияние комплексной добавки ШАГ на процессы гидратации портландцемента, состав и структуру цементного камня.

Литература

1. Патент Украины № 37100 «Добавка в бетон».
2. Коваль П.М., Харченко С.З., Шургая А.Г. Особенности технологии бетонирования плиты автопроезда моста в гавань в городе Киеве. Труды Научно - практической конференции «Эффективность применения в бетонах современных добавок». Киев, 2009.
3. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Гудименко К.В. Комплексные модификаторы для повышения качества бетонов для мостового строительства // Сборник к XI Международной научно-практической конференции «Дни современного бетона» Запорожье. – 2010.
4. Гранковский И.Г. Структурообразование в цементных вяжущих системах.- Киев: Наукова думка, 1984. - 299 с.
5. Чистяков В.В., Дорошенко Ю.М., Гранковский И.Г. Интенсификация твердения бетона.- Киев: Будивельник, 1988. - 118 с.
6. Теория цемента/ Под. Ред. А. А. Пашенко.- К.: Будівельник, 1991. -168с.

УДК 625.7/.8

Батракова А.Г., канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В работе предложена методика, позволяющая на основе георадарных технологий оперативно определять как толщину слоев дорожной одежды, так и их плотность (пористость). Предложенная методика может быть использована для усовершенствования процедур определения текущего состояния (в частности, несущей способности) конструкции дорожных одежд. Получаемые данные необходимо учитывать при разработке алгоритмов назначения мероприятий по содержанию и ремонту автомобильных дорог.

Ключевые слова: георадарные технологии, толщина слоев дорожной одежды, плотность, пористость.

Анотація. В роботі запропоновано методику, що дозволяє на основі георадарних технологій оперативно визначати як товщину шарів дорожнього одягу, так і їх щільність (пористість). Запропонована методика може бути використана для удосконалення процедур визначення поточного стану (зокрема, несучої здатності) конструкції дорожнього одягу. Отримані дані необхідно враховувати при розробці алгоритмів призначення заходів з утримання та ремонту автомобільних доріг.

Ключові слова: георадарні технології, товщина шарів дорожнього одягу, щільність, пористість.

Annotation. In this paper based on GPR technology method that allows to identify in a real time investigations a thickness of a layer of pavement, and its

density (porosity) is proposed. The proposed method can be used to improve the procedures for determining the current state (e.g., carrying capacity) of the construction of road pavements. The resulting data should be considered during development of algorithms for road's maintenance and reconstruction.

Key words: GPR technologies, pavement layers thickness, density, porosity.

Одним из ключевых этапов мероприятий по содержанию автомобильных дорог является мониторинг их состояния. Цель мониторинга – оценка остаточного ресурса для разработки оптимальной стратегии содержания и ремонта автомобильных дорог. Для решения этой задачи используются различные подходы, основанные как на прямых методах контроля (керны), так и на обработке результатов косвенных измерений (модуля упругости, чаши прогиба). Эти методы либо слишком дорогостоящи, либо не дают полной картины состояния конструкции (косвенные измерения). В то же время, известно, что деградация дорожных покрытий – сложный процесс, который в зависимости от многих факторов протекает по-разному. К этим факторам относят: величину и характер циклических транспортных нагрузок, климатические условия, особенности самой конструкции и материалов (природных и искусственных) из которых она состоит. В силу этих причин полной теории и универсальных всеобъемлющих моделей разрушения дорожных одежд к настоящему времени не существует. В то же время, важность задачи диктует постоянный интерес к ней и совершенствование различных подходов к ее решению. Эти подходы в свою очередь, должны опираться на адекватный учет различных факторов, влияющих на деградацию покрытия дороги с одной стороны и на новые технологии – с другой.

В связи с развитием средств подповерхностного зондирования возникли новые методики применения георадарного оборудования для оценки состояния конструкций автомобильных дорог. Например, в связи с появлением и все большей популярностью технологий восстановления на полную глубину (по терминологии в западной литературе Full-depth reclamation (FDR)) к методам контроля и оценки состояния дорожных конструкций предъявляются новые требования.

Данные анализа экономической эффективности и срока службы таких конструкций, как отмечают авторы работы [1], значительно различаются. Это сильно затрудняет использование имеющихся результатов предшествующих

обследований автомобильных дорог и препятствует разработке типовых рекомендаций по проектированию и проведению ремонтных мероприятий. Поэтому авторами работы [1] была проведена комплексная оценка участков дорог с использованием как георадаров, так и других методик:

- измерения статического и динамического модулей упругости (resilient modulus, dynamic modulus);
- косвенного определения прочности на растяжение (indirect tensile strength);
- тестирования конструкции с помощью установки ударного нагружения (falling-weight deflectometer FWD);
- оценки экономической эффективности вложений (life-cycle cost analysis – LCCA).

В рамках такого подхода, прежде всего, были проведены отборы кернов на контролируемых участках автодорог. Затем в лабораторных условиях было проведено исследование отобранных образцов на предмет соответствия проектным требованиям и измерены их модуль упругости и прочность на растяжение при ограниченных динамических нагрузках. Далее для оперативной оценки толщины конструктивных слоев дорожной одежды на обследуемом участке использовался георадар. Затем, в выбранных точках определялась величина статического прогиба (D_0) и эффективный структурный показатель (SN_{eff}), называемый также индексом толщины. Полученные значения SN_{eff} использовались для вычисления коэффициентов слоев (a_i) –коэффициентов, определяемых эмпирическим путем, и отражающих функциональные возможности материалов соответствующих слоев. Согласно основному уравнению для SN_{eff} , для многослойной конструкции, он определяется по следующей формуле:

$$SN_{eff} = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3, \quad (1)$$

где D_i – толщина i -го слоя;

m_i – коэффициент, характеризующий его дренирующие свойства.

С помощью методики в [1], по сути, решается обратная задача – определения значений коэффициентов слоев. Разумеется, структурный показатель формально может быть записан и для каждого слоя в отдельности:

$$SN_1 = a_1 \cdot D_1. \quad (2)$$

Следует отметить, что, несмотря на относительную простоту задачи определения толщины слоя, значение коэффициента слоя не может быть рассчитано с помощью прямых формул. Это связано с тем, что свойства слоев конструкции определяются совокупностью многих факторов, таких как прочность материала, сдвигоустойчивость, модуль упругости, содержание влаги и даже положение относительно других слоев. С 1962 года в США используется значение $a_1 = 0,44$ для асфальтобетона. Это значение было получено эмпирическим путем по результатам «Дорожного Теста» для нежестких покрытий и используется многими дорожными организациями до настоящего времени. В последнее время в связи с появлением новых материалов – щебеночно-мастичных асфальтобетонов, вечных покрытий (PerpetualPavement и др.) предпринимаются попытки откорректировать это значение применительно к новым условиям [2].

В то же время проводится разработка методов определения фактических значений этих коэффициентов и эксплуатационных показателей по данным обследований. Смысл этих методов состоит в определении структурного показателя, связанного с эффективным модулем покрытия (общим модулем всех слоев, расположенных на подложке – E_p) формулой вида [2]:

$$SN_{eff} = c_0 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_p}. \quad (3)$$

где D – общая толщина покрытия на основании (в дюймах);

E_p – эффективный модуль покрытия (модуль всех слоев, лежащих на основании в единицах psi);

c_0 – эмпирический постоянный коэффициент ($c_0 = 0,0045$).

$$d_0 \cdot E_p - k_0 \cdot \frac{E_p}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} = k_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right], \quad (4)$$

где d_0 – прогиб в центре приложения нагрузки (в тысячных долях дюйма);

M_R – модуль упругости основания (в единицах psi);

D – общая толщина покрытия на основании (в дюймах),

a – радиус пластины (нагрузки, в дюймах),

$k_0 = 1,5 \cdot p \cdot a$,

p – давление нагрузки (в единицах psi).

Модуль упругости основания, являющийся фундаментальным свойством материала, может быть вычислен на основе следующей формулы [2]:

$$M_R = C \cdot \left[\frac{P \cdot (1 - \mu^2)}{\pi r \cdot d_r} \right], \quad (5)$$

где P – приложенная нагрузка (в фунтах силы);

μ – коэффициент Пуассона;

r – радиальное расстояние, на котором измеряется прогиб (в дюймах);

d_r – величина прогиба на расстоянии r (в тысячных дюйма);

$C = 0,33$ – постоянный коэффициент.

Таким образом, приведенные формулы образуют замкнутую задачу по определению структурного показателя из результатов измерений.

Однако, как уже отмечалось, свойства покрытия и конструкции в целом определяются всей совокупностью влияющих факторов. Отсюда следует важный с практической точки зрения вопрос о влиянии каждого из факторов на общий показатель конструкции в данной точке. Иными словами, если, например, в данной точке получено некоторое значение структурного показателя, то какими факторами обусловлено это значение и его отклонение, например, от значений в соседних точках. Очевидно, что обработка

результатов измерений по приведенной выше методике не может дать ответ на этот вопрос, поскольку исходные данные представляют собой лишь интегральные показатели. Они не позволяют ответить на ряд практических вопросов о конкретных причинах, которые привели к зафиксированному состоянию конструкции в данный момент времени. Поэтому весьма актуальной является задача определения не только интегральных (совокупных) характеристик конструкции, но и вклада каждого компонента конструкции (слоя) в итоговый результат и главное – выяснение причины (или комплекса причин), вызвавших отклонения в характеристиках.

Эффективным потенциалом для решения данной задачи обладают методы подповерхностного зондирования и соответствующие средства (георадары). Современные георадары вместе с программным обеспечением, созданным на основе соответствующих алгоритмов обработки импульсных сигналов, позволяют определять не только временные задержки сигналов (для построения георадарного профиля), но и толщины конструктивных слоев покрытия, а также электрофизические характеристики материалов слоев. Электрофизические характеристики материалов конструктивных слоев дорожных одежд (в первую очередь, ϵ), в свою очередь, существенным образом зависят от таких важных для практических приложений физико-механических показателей как влажность, пористость, плотность (степень уплотнения) [3]. Для практических приложений важную роль играет информация о содержании влаги (в различных формах), плотности и пористости материалов. Поэтому в данной работе рассмотрим методику определения толщины и плотности материалов слоев основания дорожной одежды с помощью георадаров и ее влияние на общие показатели конструкции.

Стандартная обработка сигналов георадара подразумевает в первую очередь определение времени задержки (или просто задержки) сигнала, отраженного от внутренних неоднородностей исследуемой конструкции (границы слоев). Главная же проблема интерпретации георадарных данных – зависимость задержки, как от толщины слоев, так и от их диэлектрической проницаемости. Иными словами, при изменении задержки будет непонятно – чем это вызвано, изменением толщины слоя или, допустим, изменением пористости (или влагосодержания) материала.

Поэтому предлагается использовать следующий вариант решения данной проблемы, состоящий в разбиении исходной задачи на две составляющие:

определение диэлектрической проницаемости слоя (и связанного с этим параметра – плотности) и последующее определение его толщины. Для этого понадобится дополнительная операция – так называемая калибровка. Суть этой операции состоит в первоначальном измерении характеристик сигнала, отраженного от тонкого листа металла, лежащего на поверхности слоя.

Сначала для ясности изложения рассмотрим задачу для однослойной структуры, то есть для слоя, лежащего на бесконечно толстом основании (рис. 1).

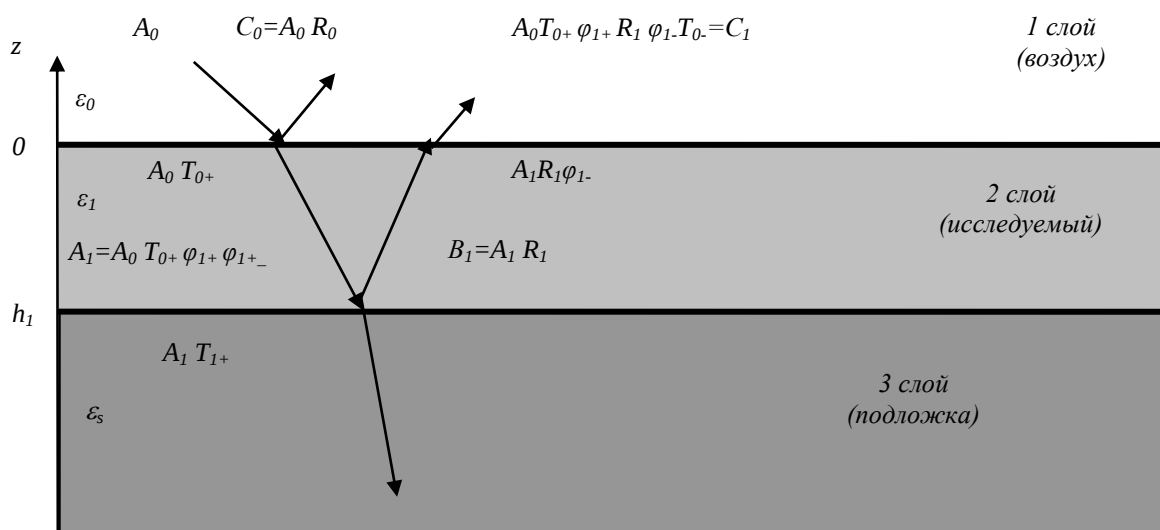


Рисунок 1 - Исследуемая структура и обозначения характеристик поля

В таком случае в приемную антенну георадара сначала попадет сигнал, отраженный от верхней границы слоя. Затем придет сигнал, отраженный от нижней границы слоя и прошедший сквозь верхнюю границу обратно к антенне. При каждом отражении от границы или прохождении сквозь границу часть энергии сигнала уходит на сопутствующий процесс прохождения (отражения от) границы. Соответственно амплитуды таких сигналов, которые называют переотраженными, быстро уменьшаются и их учитывать не будем. Обозначим амплитуды волн (сигналов), распространяющихся вниз (рис.1) A_0 , A_1 . Амплитуды волн, распространяющихся вверх, будем обозначать B_1 , B_2 . Отношения этих амплитуд после отражения или прохождения к исходным будем называть коэффициентами отражения или прохождения, и обозначать R и T соответственно. Снабдим эти коэффициенты индексами, определенными

номером соответствующей границы. Таким образом, R_0 – коэффициент отражения от верхней границы слоя.

Из теории электромагнетизма известно, что коэффициенты отражения и прохождения электромагнитных волн через плоскую границу раздела двух диэлектриков связаны с диэлектрическими проницаемостями сред соотношениями [4,5]:

$$R_0 = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_0}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_0}}, \quad T_{0+} = \frac{2\sqrt{\varepsilon_0}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_0}}, \quad T_{0-} = \frac{2\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_0}}. \quad (6)$$

Индексы $0+$ и $0-$ в последних соотношениях означают, что коэффициенты прохождения получены для волн, идущих сверху вниз и снизу вверх соответственно.

Если на верхнюю границу слоя положить лист металла (например, медную фольгу), то коэффициент отражения для такой границы будет равен минус 1. Это означает, что в антенну георадара попадет сигнал той же амплитуды, что и зондирующий, но имеющий обратную полярность. Если теперь, не сдвигая георадар, убрать лист металла, то антенна зафиксирует новое временное распределение сигнала, т.е. суперпозицию сигналов, отраженных не только от верхней границы, но и от внутренних структурных неоднородностей дорожной конструкции (в данном случае границ слоя). Основной смысл такой операции калибровки в том, что теперь можно осуществить «привязку» характеристик нового сложного сигнала (суперпозиции отражений) к некоторому опорному (более простому) сигналу, в качестве которого и был выбран сигнал, отраженный от листа металла.

Следующий шаг состоит в определении диэлектрической проницаемости верхнего слоя (ε_1). Для этого перепишем формулу (6) в виде:

$$\varepsilon_1 = \left(\sqrt{\varepsilon_0} \frac{1+R_0}{1-R_0} \right)^2. \quad (7)$$

Подчеркнем, что диэлектрическая проницаемость верхней среды (в данном случае воздуха) известна (для воздуха она равна 1). Знание диэлектрической проницаемости слоя позволяет определить коэффициент

прохождения через верхнюю границу по формуле (6), а также вычислить набег фазы:

$\varphi_{1\pm} = e^{ik_1 h_1}$, где $k_1 = \left(\frac{\omega}{\tilde{h}}\right) \cdot \sqrt{\varepsilon_1}$ - волновое число первого слоя;

c – скорость света;

ω – частота сигнала.

Знание этих величин позволяет применить указанный алгоритм к следующей границе и вычислить диэлектрическую проницаемость нижнего слоя (в данном случае это бесконечно толстое основание).

Для определения толщины слоя h_1 необходимо на основании определенной экспериментально задержки Δt записать:

$$h_1 = \frac{(c \cdot \Delta t)}{2 \sqrt{\varepsilon_1(\omega)}}. \quad (8)$$

При наличии нескольких слоев указанную последовательность операций необходимо повторить. Подчеркнем, что данные формулы получены в предположении отсутствия потерь либо их малости.

Анализ формулы (8) показывает, что на точность определения свойств дорожных одежд существенное влияние будет оказывать точное знание диэлектрической проницаемости (вообще говоря, комплексной), а также ее дисперсионных свойств. Но получить простые аналитические формулы для определения частотной зависимости диэлектрической проницаемости (дисперсии) материалов, используемых в дорожном строительстве, не представляется возможным ввиду их сложного композиционного состава. Однако, для определения диэлектрической проницаемости материала (например, асфальтобетона), состоящего из смеси различных компонентов, существуют несколько простых моделей. Эти модели описываются соответствующими аналитическими уравнениями [6]:

$$\text{- модель Нельсона : } n_e = v_1 n_1 + v_2 n_2 + v_3 n_3 + \dots + v_N n_N ; \quad (9)$$

$$\text{- модель Ландау: } \sqrt[3]{\varepsilon_e} = v_1 \sqrt[3]{\varepsilon_1} + v_2 \sqrt[3]{\varepsilon_2} + v_3 \sqrt[3]{\varepsilon_3} + \dots + v_N \sqrt[3]{\varepsilon_N} ; \quad (10)$$

$$\text{- модель Лихтенекера: } \ln \varepsilon_e = v_1 \ln \varepsilon_1 + v_2 \ln \varepsilon_2 + v_3 \ln \varepsilon_3 + \dots + v_N \ln \varepsilon_N , \quad (11)$$

где $n_e = \sqrt{\varepsilon_e}$ – эквивалентный показатель преломления всей среды,

N – общее количество составляющих (включая воздух),

$v_1, v_2, \dots, v_N$ – объемная доля каждой составляющей ($v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_N = 1$).

Объемная доля каждого компонента может быть вычислена по формуле:

$$v_n = \frac{m_n}{d_n} \cdot \frac{100}{V_e} (\%), \quad (12)$$

где v_n, m_n, d_n – соответственно объемная доля, массовая доля, удельная плотность n – й компоненты;

V_e – общий объем образца.

Введем в рассмотрение эквивалентную диэлектрическую проницаемость материала с максимальной плотностью (без воздушных полостей) и обозначим ее через ε_m . Тогда формула (9) может быть переписана в виде:

$$n_e = k_a v_1 + v_m n_m, \quad (13)$$

где v_1 – объемная доля пор (содержание воздуха);

v_m, n_m – объемная доля других компонент и их эффективный показатель преломления;

n_e – эффективный показатель преломления всего материала;

k_a – поправочный коэффициент, определяемый путем калибровки.

Далее определяем с помощью (7) ε_1 , т.е. эффективную диэлектрическую проницаемость верхнего слоя. Затем рассчитываем соответствующий эффективный показатель преломления $n_{1,e} = \sqrt{\varepsilon_1}$. В итоге теперь мы можем рассчитать объемную долю воздуха по формуле, следующей из (13):

$$v_1 = \frac{n_{1,e} - v_m n_m}{k_a}. \quad (14)$$

При этом предполагается, что значения величин v_m, n_m известны, т.е. получены на этапе предварительных измерений.

Калибровочные данные предлагается получать в лабораторных условиях следующим образом:

1. Изготавливается образец с максимальной плотностью, измеряются его объем V_m (толщина h_m) и масса P_m , определяется его плотность.

2. На поверхность приготовленного образца кладется тонкий лист металла и измеряется отраженный сигнал (и его амплитуда A_0), который фиксируется (запоминается) в программе обработки данных.

3. Лист металла убирается с поверхности и производится измерение отраженного от поверхности образца сигнала и его амплитуды A_1 . Все остальные параметры (в первую очередь положение антенны георадара относительно поверхности) должны оставаться неизменными. При этом желательно, чтобы образец имел значительную толщину, позволяющую разделить сигналы, отраженные от верхней и нижней границ образца. Глубина может (не обязательно) составлять 20 и более сантиметров. Отраженный сигнал также фиксируется в программе.

4. По формуле $R_{0,m} = \frac{A_1}{A_0}$ вычисляется коэффициент отражения и полученное значение подставляется в формулу (7), которую теперь перепишем в виде $n_{1,m} = n_0 \frac{1 + R_0}{1 - R_0}$.

5. Далее из этого же материала готовится менее плотный образец и его параметрам приписываются индексы l . Затем для этого образца измеряются исходные параметры, в том числе и объемная доля воздуха $v'_{1,l}$. Повторяются этапы 2-4.

6. Этапы 1-5 повторяются для новых образцов с уменьшающейся плотностью. Данные заносятся в таблицу.

7. Производится обработка полученных результатов, состоящая в вычислении объемной доли воздуха в образцах по формуле (14), где поправочный коэффициент k_a полагается равным 1 и полученные результаты сравниваются с истинными значениями $v'_{1,l}$. На основании сравнения данных вычисляется значение поправочного коэффициента k_a .

Таким образом, предложенная методика позволяет оперативно определять как толщину слоев дорожной одежды, так и их плотность (пористость), что может быть использовано для определения текущего состояния (в частности, несущей способности) конструкции. Следовательно, эти данные необходимо учитывать при разработке алгоритмов назначения ремонтных мероприятий. В последующем предложенная процедура может быть развита для диагностики состояния всех слоев многослойных конструкций на основе методов решения обратных задач, рассмотренных в [7].

Литература

1. Diefenderer B. K., Apeageyi A. K. Analysis of Full-Depth Reclamation Trial Sections in Virginia. / B.K. Diefenderer, A.K. Apeageyi // Final Report VCTIR. – 2011. – 54 p.
2. Pologruto M. Procedure for Use of Falling Weight Deflectometer to Determine AASHTO Layer Coefficients. / M. Pologruto // Transportation Research Record 1764: [Transportation R.B.]. – Washington: D.C. – 2001.
3. Fauchard C. Influence of compaction on bituminous mixtures at microwaves frequencies. / C. Fauchard, Bo Li, E. Ferrari, L. Laguerre, X. Derobert et al. // NDTCE'09. Non-Destructive Testing in Civil Engineering Nantes: France, June 30th – July 3rd. – 2009. – P. 1-7.
4. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию: учебное пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Изд. МГУ, 2005. – 153 с.
5. Jol Harry M. Ground penetrating radar, theory and applications. / M. Jol Harry. – Elsevier B.V., 2009. – 508 p.
6. Mardeni R.R. Road pavement density analysis using a new non- destructive ground penetrating radar system / R.R. Mardeni, S.A. Raja Abdullah, H.Z.M. Shafri // Progress In Electromagnetics Research. – Vol. 21. – 2010. – P. 399-417.
7. Батракова А.Г. Определение плотности и влажности грунтов земляного полотна методами георадиолокации / А.Г. Батракова, Д.О. Батраков // Дороги і мости: Збірник наукових статей. – Київ: ДержНДІ ім. М.П. Шульгіна – 2006. – Вип. 5. – С. 15-35.

Кияшко И.В., канд. техн. наук, Пархоменко А.Ю.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН
ПРИ ОЦЕНКЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ
СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Анотація. Розглянуто теоретичні аспекти використання методу спектрального аналізу поверхневих хвиль для контролю якості влаштування цементобетонних шарів дорожнього одягу. Наведено залежності параметрів розповсюдження хвильових полів від фізико-механічних властивостей матеріалу.

Ключові слова: цементний бетон, неруйнівний контроль якості, модуль пружності, хвиля Релея, дисперсійна крива.

Аннотация. Рассмотрены теоретические аспекты использования метода спектрального анализа поверхностных волн для контроля качества устройства цементобетонных слоев дорожной одежды. Приведены зависимости параметров распространения волновых полей от физико-механических свойств материала.

Ключевые слова: цементный бетон, неразрушающий контроль качества, модуль упругости, волна Релея, дисперсионная кривая.

Annotation: Theoretical aspects of Spectral Analysis of Surface Waves Method using for nondestructive testing of Portland cement concrete pavements. Dependency of wave`s fields propagation parameters on physical and mechanical properties is caused.

Key words: portland cement concrete, nondestructive testing, elasticity modulus, rayleigh wave, dispersion curve.

В мировой практике разработка и использование методов неразрушающего контроля качества продукции является одним из

приоритетных направлений. Среди направлений неразрушающего контроля качества устройства дорожных одежд жесткого типа перспективным становится разработка и использование акустической группы методов, среди которых наиболее актуальным является метод спектрального анализа параметров распространения поверхностных волн (SASW – Spectral Analysis of Surface Waves) [1]. Данный метод нашел широкое применение при геологической разведке земных недр.

Суть метода лежит в оценке изменения параметров распространения поверхностных волн от точки возбуждения до некоторой точки среды, которая контролируется. Изменение этих параметров определяется исключительно свойствами материала на пути распространения колебаний. Очевидно, что энергия механических колебаний в любой среде передается посредством физического взаимодействия структурных частиц, составляющих эту среду. При ударном воздействии на конструкцию, в ней возникает волновое поле, которое характеризуется широким диапазоном частот и равным распределением энергии колебаний по всем частотным составляющим. Распространение данного поля связано с распространением двух основных видов волн: волны сжатия (Р-волна) и волны сдвига (S-волна). При падении данных волн на свободную (дневную) поверхность на ней возникают свободные колебания, распространяющиеся в виде поверхностных волн [2]. Одним из типов таких волн является волна Релея (R-волна). Параметры распространения волн сжатия и сдвига являются основной информационной характеристикой акустической группы методов неразрушающего контроля качества. Однако, для регистрации данных параметров в большинстве случаев требуется двухсторонний доступ к конструкции, что невозможно при оценке свойств материалов, составляющих слои дорожной одежды. Решение данной задачи заключается в оценке параметров распространения волн сжатия и сдвига по параметрам распространения волн Релея. Данный тип волн обладает высокой энергоемкостью, распространяется вдоль свободной поверхности конструкции по всей толщине материала и может быть зарегистрирован при условии одностороннего доступа к сооружению или конструкции.

В линейной теории упругости, закон Гука выражает линейную зависимость между тензором деформации ξ и тензором напряжений σ в упругой среде при этом характеризуется следующей зависимостью [3]:

$$\sigma = 2\mu\xi + \lambda\theta, \quad (1)$$

где λ – первый параметр Ламе,

μ – второй параметр Ламе,

θ - единичная объёмная деформация.

Второй параметр Ламе представляет собой модулем сдвига и в литературных источниках чаще обозначается как G [2,3,4]. Модуль сдвига описывает отклик материала на сдвиговую нагрузку и связан с модулем упругости E (модулем Юнга) через коэффициент Пуассона ν (формула 2). Так же, модуль сдвига описывает взаимосвязь между скоростью распространения волн сжатия V_p и волн сдвига V_s , плотностью среды распространения волновых полей ρ и коэффициентом Пуассона материала среды (формулы 3-4) [2].

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}, \quad (2)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{G \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 - 2\nu)}}, \quad (3)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (4)$$

При этом, известна зависимость между скоростью распространения волн Релея V_R и волн сдвига V_s :

$$\frac{V_R}{V_s} = \frac{0.87 + 1.12 \cdot \nu}{1 + \nu}. \quad (5)$$

Таким образом, используя формулы 2-5 можно составить зависимость между скоростью распространения поверхностной волны Релея, коэффициентом Пуассона, плотностью и модулем упругости материала среды в котором распространяются волновые поля:

$$E = \left(\frac{1 + \nu}{0.87 + 1.12 \nu} \cdot V_R \right)^2 \cdot \rho \cdot 2 \cdot (1 + \nu). \quad (6)$$

Модуль упругости материала - одна из основных расчетных характеристик при проектировании цементобетонных конструкций, к которым

относятся дорожные одежды жесткого типа. Соответствие фактических значений модуля упругости свежееуложенного слоя из цементного бетона проектным значениям является необходимым условием для обеспечения нормативного срока службы всей дорожной конструкции. На практике, основным критерием оценки физико-механических параметров цементобетона стала прочность на сжатие. Данный параметр контролируется в лабораторных условиях при пробных замесах запроектированной смеси, а также в период строительства. Положениями ВБН В.2.3-218-008 [5] регламентируется соотношение расчетного модуля упругости по прочности на сжатие в зависимости от класса бетона. Этот факт позволяет использовать метод спектрального анализа распространения поверхностных волн для контроля качества устройства слоев дорожной одежды жесткого типа неразрушающим способом.

Одним из основных достоинств применения метода спектрального анализа параметров распространения поверхностных волн кроме оценки физико-механических параметров, является также возможность определения толщины слоя дорожной одежды. При оценке распространения поверхностных волн в реальных средах учитывается наличие в них сейсмических границ, на которых упругие свойства среды и плотность имеют четко выраженные изменения. При падении волны на границу раздела двух сред возникают вторичные волны: отраженные в первой среде и преломленные (проходящие) во второй среде. Амплитуда смещений вторичной волны пропорциональна амплитуде падающей волны. Коэффициент отражения (преломления) является функцией угла падения и соотношения акустических жесткостей (волновых сопротивлений) сред. Глубина локализации поверхностной волны пропорциональна её длине, которая определяется соотношением скорости распространения и частоты волны [6]. Поскольку поверхностные волны распространяются в упругих средах без дисперсии, скорость их распространения не зависит от частоты волны, а зависит исключительно от свойств среды. Интенсивность затухания амплитуды колебаний частиц по глубине имеет экспоненциальную зависимость и для материалов с различным коэффициентом Пуассона определяет соотношение глубины локализации волны к её длине [6,7]. Для определения геометрических и физико-механических параметров цементобетонных слоев используют зависимость скорости распространения волны Релея от частоты или длины волн. Такая

зависимость называется дисперсионная кривая. Наличие во фронте волны широкого спектра частот, достаточного для анализа свойств материала, обеспечивает использование активного источника нагружения импульсного типа, при этом, чем короче время импульсного нагружения, тем более широким будет частотный спектр волны возбуждения.

Таким образом, использование параметров распространения поверхностных волн для контроля качества устройства монолитных слоев жесткой дорожной одежды позволит получить достаточно точные результаты по геометрическим и прочностным параметрам. Высокая скорость проведения испытаний в тестовой точке без привлечения специализированной лаборатории, возможность использования предлагаемого метода, как в лабораторных, так и в полевых условиях на различных этапах строительства и эксплуатации дорожных сооружений делает данный метод наиболее перспективным среди существующих методов неразрушающей диагностики.

Литература

1. Кіяшко І.В. Особливості використання віброакустичних методів неруйнівного контролю якості дорожнього одягу жорсткого типу. / І.В. Кіяшко, О.Ю. Пархоменко, Д.М. Новаковський. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2011. – Вип. 40. У 2 ч. Ч. 1. – С. 445- 453.
2. Кунциков Б.К. Общий Курс геофизических методов разведки/ Кунциков Б.К., Кунцикова М.К. – М.: Недра. 1976.- 429 с.
3. Филоненко-Бородич М.М. Теория упругости/ Филоненко-Бородич М.М. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 364 с.
4. S. Nazarian, D. Yuan, K. Smith, F. Ansari, C. Gonzalez. Acceptance Criteria of Airfield Concrete Pavement Using Seismic and Maturity Concepts: Appendices. Report IPRF-01-G-002-02-2. Programs Management Office 5420 Old Orchard Road Skokie, IL 60077. May, 2006. – 98 p.
5. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких та жорсткими прошарками дорожніх одягів. Відомчі будівельні норми України. - К.: 1997р.. Видання офіційне.
6. Richart F.E. Jr, Wood R.D., Hall J.R. Jr (1970) “Vibration of soils and foundations”, Prentice-Hall, New Jersey.
7. Foti S. Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, PhD Dissertation, Politecnico di Torino. – Italy, 2000. – 229 с.

Угненко Е.Б., д-р техн. наук, Сорочук Н.И. (ХНАДУ)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Представлені двох- і тривимірні рівняння турбулентної дифузії, а також уравнения позовжньої дисперсії із зазначенням граничних умов. Удосконалена математчна модель може бути використана для визначення якості поверхневих вод при реконструкції автомобільних доріг.

Ключові слова: поверхневий стік, математична модель, турбулентна дифузія, рівняння позовжньої дисперсії.

Аннотация. Представлены двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии, а также уравнение продольной дисперсии с указанием граничных условий. Усовершенствованная математическая модель может быть использована для определения качества поверхностных вод при реконструкции автомобильных дорог.

Ключевые слова: поверхностный сток, математическая модель, турбулентная диффузия, уравнение продольной дисперсии.

Annotation. In this article two- and three-dimensional equation of turbulent diffusion and the equation of longitudinal dispersion with the boundary conditions are presented. The developed mathematical model can be used to determine the quality of surface waters during roads reconstruction.

Key words: surface runoff, the mathematical model, turbulent diffusion, the equation of longitudinal dispersion.

Однокомпонентные модели качества воды используются в прогнозных расчетах содержания неконсервативных веществ в водоемах и водотоках при эксплуатации и реконструкции автомобильных дорог. С их помощью описываются процессы биохимической трансформации веществ. Зависимость скорости биохимической трансформации веществ от гидродинамических характеристик потока и внешних условий учитывается с помощью

коэффициента неконсервативности. Величина коэффициента неконсервативности:

$$k = k_{cm}k_d, \quad (1)$$

где k_{cm} - статический коэффициент неконсервативности, сут.⁻¹, характеризующий скорость биохимической трансформации вещества в статических условиях (при отсутствии течения). Величина этого коэффициента определяется для каждого вещества экспериментально. Значения статических коэффициентов неконсервативности веществ для нормальных условий (температура воды 20°C и атмосферное давление 1 атм.) приводятся в справочной литературе [4]; k_d - динамический коэффициент неконсервативности, сут.⁻¹, учитывающий интенсификацию процессов биохимической трансформации в водном потоке. Величина этого коэффициента всегда больше или равна 1 и увеличивается при росте скорости потока в диапазоне от 0 до 0,2 м/с.

При проведении прогноза качества воды водных объектов расчет процессов переноса и трансформации веществ осуществляется на основе уравнения турбулентной диффузии. При среднесрочном или долгосрочном прогнозировании используется запись этого уравнения для условий установившегося потока. Для водотоков обычно используется запись этого уравнения для условий установившегося потока. Для водотоков обычно используется одномерное уравнение продольной дисперсии, которое получается из трехмерного уравнения турбулентной диффузии осреднением его по живому сечению потока. Для водоемов в зависимости от их гидродинамических характеристик могут использоваться одно-, двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии [2]. Двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии, как правило, не имеют аналитического решения и решаются численными методами с применением компьютерных программ. Уравнение продольной дисперсии при граничном условии $C(0) = C_0$:

$$D \frac{d^2 C}{dx^2} - v \frac{dC}{dx} - k \cdot C + f = 0 \quad (2)$$

имеет аналитическое решение вида:

$$C(x) = C_0 \cdot \exp(\gamma \cdot x) + \frac{f}{k} (1 - \exp(\gamma \cdot x)) \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{v - \sqrt{v^2 + 4 \cdot k \cdot D}}{2D}$$

где C_0 - концентрация вещества в начальном створе, г/м³; k - коэффициент неконсервативности вещества, 1/с; v - скорость потока, м/с; D - коэффициент продольной дисперсии, м²/с; f - интенсивность аллохтонного поступления вещества, г/м³.

Одним из основных внешних диффузных (равномерно распределенных по всему потоку) источников поступления в водный объект веществ является неорганизованный поверхностный сток с автомобильных дорог. В этом случае интенсивность аллохтонного поступления вещества в водный объект определяется по формуле:

$$f = \frac{Q_{нов} \cdot C_{нов}}{L \cdot w} \quad (4)$$

где $Q_{нов}$ и $C_{нов}$ - расход и концентрация вещества в поверхностном стоке соответственно, м³/с и г/м³; L -протяженность водосборной территории (участка автомобильной дороги) вдоль водного объекта, м; w - площадь живого сечения потока, м². При отсутствии диффузного поступления вещества извне величина f принимается равной нулю.

Для консервативного вещества прогноз качества воды при наличии его внешнего диффузного поступления в водный объект производится по формуле:

$$C(x) = C_0 + \frac{f}{v} \cdot x, \quad (5)$$

Если в водный объект одновременно поступают сточные воды организованных выпусков и неорганизованный поверхностный сток с автомобильной дороги, то решение определяется в соответствии с принципом суперпозиции для неконсервативных веществ по формуле:

$$D \frac{d^2 C}{dx^2} - v \frac{dC}{dx} - k \cdot C + f = 0 \quad (6)$$

Двухкомпонентные модели качества воды получили широкое распространение при прогнозных расчетах содержания органических веществ, оцениваемого величиной БПК, и растворенного кислорода в воде водоемов и водотоков. Содержание кислорода в поверхностных водах определяется соотношением его поступления, главным образом, в процессе атмосферной реаэрации и потреблением его в основном на процессы биохимического окисления органических веществ [3].

Атмосферная реаэрация представляет собой процесс поступления кислорода из атмосферы в воду через свободную поверхность потока. Поступление кислорода в водный объект ограничивается его растворимостью в воде. Количественной характеристикой растворимости кислорода является величина концентрации насыщения, то есть концентрации растворенного кислорода в воде, при которой кислород находится в состоянии равновесия. Величина концентрации насыщения зависит от температуры воды и определяется по таблицам или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$C_s = 14,62 - 0,4042 \cdot T + 0,00842T^2 - 0,00009T^3, \quad (7)$$

где T - температура воды, °С.

Скорость переноса кислорода через свободную границу потока характеризуется коэффициентом реаэрации. Величина этого коэффициента зависит от температуры и солености воды, турбулентности потока, характеристик газообмена между водой и атмосферой. Экспериментально установлено, что процесс реаэрации обуславливается явлением молекулярной диффузии на границе сред "вода-воздух". Существует ряд эмпирических формул для определения величины коэффициента реаэрации. Наибольшее распространение получила формула О'Коннора-Доббинса, полученная для турбулентного потока при температуре воды 20° С:

$$k = 3,68 \sqrt{\frac{v}{h^3}} \quad (8)$$

где k_2 - коэффициент реаэрации, 1/сут.;

v – скорость течения, м/с,

h – глубина потока, м.

Обычно величина коэффициента реаэрации лежит в диапазоне от 0,1 до 2,0 1/сут. Зависимость величины коэффициента реаэрации от температуры учитывается по формуле:

$$k_2(T) = k_2(20) - 1,024^{T-20} \quad (9)$$

Величина коэффициента неконсервативности для БПК может меняться в диапазоне от 0,05 до 0,7 1/сут. Для природных вод она обычно принимается равной 0,23 1/сут. Прогноз величины БПК и содержания растворенного кислорода в поверхностных водах, как правило, производится на основе математической модели Стриттера - Фелпса. Эта модель справедлива при следующих ограничениях:

- расход и гидравлические характеристики потока постоянны;
- в водоеме соблюдается режим полного перемешивания [1].

Выводы

Анализ решения уравнения зависимости величины коэффициента реаэрации от температуры показывает, что при отсутствии аллохтонного поступления органических веществ в водном объекте дефицит кислорода стремится к нулю. Это означает, что в результате процесса самоочищения содержание кислорода в воде выходит на уровень насыщения. Если в водный объект поступают органические вещества, например, с поверхностным стоком с прилегающей территории, то дефицит кислорода отличен от нуля и стремится к величине f/k_2 . Содержание растворенного кислорода при этом устанавливается на уровне $S = C_s - f/k_2$. При большом поступлении органических веществ (если $f > C_s k_2$) растворенный кислород полностью расходуется на биохимическое окисление органических веществ и содержание его в водном объекте приближается к нулю.

Литература

1. Бочеввер Ф.М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения / Бочеввер Ф.М., Орадовская А.Е. - М.; Недра, 1972. -129 с.
2. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. / Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. - Л.: Стройиздат, 1980. -224 с.
3. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. - К.: Держмінекобезпеки України, 1998. -28с.
4. Романенко В.Д. Экологическая оценка воздействия дорожного строительства на водные объекты / Романенко В.Д., Окснюк О.П., Жукинский В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. – К.: Наук. Думка, 1990. – 256 с.

УДК691.662

Петрович В.В., канд. техн. наук, **Скрыпник Т.В.**, канд. техн. наук,
Скрыпник В.Ю.

ПРОБЛЕМЫ ФИНАСИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УКРАИНЕ

Анотація. В статті проаналізовані існуючі джерела фінансування дорожнього будівництва в Україні. Розглянуті перспективи розвитку дорожньої галузі в зв'язку з розширенням сектору державно-приватного партнерства, в тому числі і будівництва доріг на умовах концесії.

Ключові слова: джерела фінансування, бюджет, дорожні фонди, державне агентство, концесійна угода.

Аннотация. В статье проанализированы существующие источники финансирования дорожного строительства в Украине. Рассмотрены перспективы развития дорожной отрасли в связи с расширением сектора государственно-частного партнерства, в том числе и строительства дорог на условиях концессии.

Ключевые слова: источники финансирования, бюджет, дорожные фонды, государственное агентство, концессионное соглашение.

Annotation. The article considered existing sources of funding road construction in Ukraine. The prospects of development of road network are analyzed in the expansion of public-private sector partnerships, including construction of roads under concession.

Key words: sources of funding, budget, travel funds, government agency, concession agreement.

По данным Государственного агентства автомобильных дорог "Укравтодор" по состоянию на 2010 г. в Украине насчитывается 946,4 км автомобильных дорог государственного значения и 8208,1 км дорог местного значения[1].

Для содержания, ремонта и реконструкции существующих и строительства новых дорог необходимы ежегодные финансовые поступления из бюджета страны, т.к. автомобильные дороги являются государственной собственностью[1].

Законом Украины "Об источниках финансирования дорожного хозяйства Украины" [2] определено, что в госбюджете ежегодно предусматриваются расходы на проведение дорожных работ. С этой целью должен был быть создан Государственный дорожный фонд с самостоятельными источниками доходов. В Налоговом кодексе учтены эти источники – налог на транспортные средства, сбор за проведение предпринимательской деятельности, средства из госбюджета.

С 2000 г. действие ст. 3 указанного закона в части формирования дорожных фондов ежегодно приостанавливалось законами о бюджете [2]. Длительное время финансирование дорожного хозяйства осуществляется только за счет специального фонда госбюджета, то есть за счет привлеченных "Укравтодором" колоссальных кредитов.

На финансирование дорожного хозяйства страны в 2012 г. планируют потратить 20,2 млрд. грн., однако значительная часть средств из специального фонда госбюджета (5,7 млрд. грн.) пойдет на погашение существующих кредитов.

Основными кредиторами Государственного агентства автомобильных дорог "Укравтодор" выступают Международный банк реконструкции и развития (МБРР), Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), Европейский инвестиционный банк (ЕИБ) и другие международные организации. Государство также финансирует "Укравтодор" и, кроме того, выступает гарантом по кредитным обязательствам. В связи с постоянным дефицитом оборотных средств, практика заимствований для "Укравтодора" приобрела системный характер. Вследствие чего объем средств, который ежегодно выделяется из госбюджета на погашение обязательств, постоянно растет. Так, объем привлеченных "Укравтодором" в течение 2002-2008 гг. кредитов составил 11,269 млрд. грн. При этом общие затраты этого ведомства

на 2009 г. на развитие сети и содержание автомобильных дорог были утверждены в объеме 11,8 млрд. грн. В 2008-2009 гг. “Укравтодор” продолжал занимать средства на краткосрочную перспективу и под высокие проценты у Укрэксимбанка и Ощадбанка.

Следует заметить, что значительные средства специального фонда продолжают использоваться не на развитие и содержание автодорог, а на обслуживание привлеченных ресурсов. В 2002 г. доля долговых обязательств в общем объеме расходов специального фонда, которая направляется на развитие дорожной отрасли, составляла 0,4 %. В 2011 г. эта доля достигла 24%. Учитывая объем привлеченных кредитов на развитие сети автомобильных дорог и намерения по их дальнейшему привлечению, нагрузка на государственный бюджет по погашению долговых обязательств будет расти. По данным ЕБРР, в 2012 г. этот показатель достигнет 40%. Сумма на обслуживание кредитов меняется ежегодно, и после нескольких лет пиковой нагрузки выплаты по кредитам существенно уменьшатся. “Укравтодор” [3] в 2011 г. выплатил кредиторам 4,3 млрд. грн. и собирается погасить в 2012 г. 5,7 млрд. грн. В последующие годы долговая нагрузка постепенно снизится.

При этом в государственном агентстве продолжают активно привлекать кредиты международных организаций.

Условиями кредитования ЕБРР предусматривается проведение открытых тендеров. Победитель тендера строит дорогу за собственные средства, а ЕБРР в соответствии с принципом возмещения расходов перечисляет деньги только за готовое полотно и после проведения независимым инженером экспертизы. Кроме того, компания-подрядчик берет на себя обязательство по дальнейшему обслуживанию дорожного полотна. Помимо этого, система закупок товаров и услуг для проекта, финансируемого ЕБРР, строится по правилам закупок товаров и услуг этой организации. Сейчас на этапе реализации находится четвертый проект “Улучшение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог на подходах к г. Киеву”. В его рамках ЕБРР и ЕИБ предоставят Украине EUR900 млн. [4]

Президент Виктор Янукович рассчитывает на то, что с 2013–2014 года ежегодно в Украине будет строиться 2 – 2,5 тыс. км дорог [5]. В качестве сравнения он привел данные о том, что в Казахстане 1 км дороги обходится в пересчете на национальную валюту в 43 млн. гривен, в Словении – 55 млн., Польше – 93 млн., Германии – 97 млн. гривен. [7]

Средневзвешенная стоимость прокладывания 1 км дороги в Европе составляет 6 – 8 млн евро.

Государственное агентство автомобильных дорог "Укравтодор" считает, что в Украине до конца 2016 года необходимо построить 5 тыс. км автомагистралей, которые ориентировочно стоят 25 млрд долларов.

Получить такие средства из государственного бюджета невозможно, поэтому возникает необходимость развития государственно-частного партнерства, в том числе и строительство дорог на условиях концессии.

Под концессией понимают форму государственно-частного партнёрства, то есть вовлечение частного сектора в эффективное управление государственной собственностью или в оказание услуг, обычно оказываемых государством, на взаимовыгодных условиях [6].

Концессия подразумевает, что концедент (государство) передаёт концессионеру право на эксплуатацию автомобильных дорог. Взамен концедент получает вознаграждение в виде разовых (паушальных) или периодических (роялти) платежей [1]. Концессионные соглашения реализуются на основе публичного имущества, в том числе с использованием бюджетных средств. В случае отсутствия вовлечения в партнёрство публичного имущественного ресурса имеет место наделение частного партнёра правом ведения определённого бизнеса, исключительные или монопольные права, на ведение которого принадлежат публично-правовому образованию. Например: строительство новой автомобильной дороги с правом последующей ее эксплуатации в течение определенного периода.

Роль концессий в мировой экономике возрастает. Если на протяжении XX века концессии находили применение преимущественно в недропользовании, то в 1990-е годы в концессию стали передаваться многочисленные иные объекты государственной собственности.

В случае привлечения концессионеров к построению дорог правительство Украины должно гарантировать их прибыль деньгами государственного бюджета. Если установленное количество автомобилей проходит по такой дороге, то концессионер получает свою прибыль, если количество автомобилей выше указанной, то часть прибыли поступает в государственный бюджет, но если количество автомобилей, проехавших по дороге, меньше, то государство должно компенсировать стоимость за каждую машину из госбюджета.

«В Чехии и Венгрии это закончилось полным дефолтом, поэтому я не хочу, чтобы мы сегодня имели неоплатные боги перед западным миром, ведь они и так не малы», – отметил Вице-премьер-министр Украины – министр инфраструктуры Борис Колесников.

Тем не менее, в мире и многих странах Европы есть платные дороги, построенные на условиях государственно-частного партнерства, в том числе и на условиях концессии [7].

Таблица 1– Протяженность платных дорог в странах Европы

Страна	Общая протяженность автомобильных дорог, тыс. км	Протяженность платных дорог (государственно-частное партнерство; концессия), тыс. км	% платных дорог
Франция	11	8,5	77,3
Китай	32	28	87,5
Испания	8,2	2,7	32,9
Италия	6,7	5,69	84,9

В Российской федерации уже работает ряд объектов на условиях государственно-частного партнерства. На стадии подготовки в России федеральной целевой программы "Развитие транспортной системы России (2010 – 2015 годы)" были проанализированы и сравнивались два варианта решения проблем, связанных с возможной задержкой в реализации инвестиционного проекта строительства скоростной автомобильной дороги Москва – Санкт-Петербург на участке 15-й –58-й км.

При первом варианте предусматривалась самостоятельная реализация проекта, при втором – решение рассматривалось с применением программно-целевого метода, позволяющего обеспечить оптимальное решение задач с координацией усилий организаций, частных инвесторов и государства.

В результате предпочтение было отдано второму варианту с упором на богатый зарубежный опыт государственно-частного партнерства. В условиях кризиса такое решение, в котором значительная роль отводится государству, представляется единственно правильным для России.

Общая стоимость проекта – свыше 60 млрд. руб., из которых 23 млрд руб. выделяет РФ, остальные средства привлекает концессионер ООО «Северо-Западная концессионная компания». Банковское финансирование реализовано в виде синдицированного кредита на сумму 29,2 млрд. руб. на срок 20 лет от двух российских банков — Сбербанк России и государственной корпорации «Внешэкономбанк». Для финансирования проекта также будут выпущены 20-летние рублевые облигации «Северо-Западной концессионной компании» на сумму 10 млрд. руб., обеспеченные государственной гарантией в соответствии с постановлением Правительства РФ от 5 марта 2010 года.

В соответствии с контрактом, заключенным между ОАО «Мостотрест» и заказчиком ООО «Северо-Западная концессионная компания» стоимость контракта – 48,38 млрд. рублей.

Новая автомагистраль сформирует скоростной автодорожный маршрут, который будет способствовать развитию системы автомобильных дорог Российской Федерации, входящих в состав международных транспортных коридоров.

Автомобильная дорога обеспечит пропускную способность на направлении транспортного коридора "Север - Юг". Существенно снизит транспортные издержки и повысит безопасность движения на автодорожном маршруте, входящем в состав международного транспортного коридора № 9. Повысит качество жизни населения путем вывода транзитного движения автомобильного транспорта из городов и населенных пунктов, а также обеспечит скоростные связи Санкт-Петербурга и Москвы с Финляндией и другими странами Европейского союза.

Следует отметить, что в условиях жесточайшего финансово-экономического кризиса интенсивную подготовительную работу проделало правительство России в отношении реализации этого проекта на условиях концессии.

27 июля 2009 года было подписано концессионное соглашение Росавтодора с консорциумом ООО «Северо-западная концессионная компания» по проекту «Строительство скоростной автомобильной дороги Москва – Санкт Петербург на участке 15-й – 58-й км», в котором наряду с российскими компаниями принимает участие французская компания Vinci и ее дочерняя компания Eurovia. [8].

Предполагается, что для автомагистрали наиболее загруженный движением участок федеральной автодороги М-10 "Россия" будет дублирующим (альтернативным) маршрутом для бесплатного проезда.

Независимым Техническим Экспертом проекта выбрана компания «АИКОМ Россия Лимитед», российский филиал английской компании AECOM Technology Corporation (ведущий мировой поставщик консультационных, технических и управленческих услуг для транспорта, строительства, энергетики), которая будет контролировать соблюдение всех технических и качественных параметров строительства, определенных в Концессионном Соглашении.

Для сравнения в Украине в 2008 г. было введено в эксплуатацию 25 км, в 2009 – 92 км, в 2010 – 973 км, в 2011 – 1700 км автомобильных дорог.

В первую очередь по концессию в Украине подпадут участки, на которых должна быть максимальная интенсивность движения: направления из Киева в Крым и к границе с Российской Федерацией, первый объект – это Харьков – Щербаковка – по новому направлению, которая примкнет к дороге Харьков – Краснодар – Перещепино – Новомосковск. Это будет дорога первой категории от границы с РФ до Днепропетровская. Общей протяженностью 49,9 км. Второй объект: Ульяновка – Николаев – Херсон – Красноперекоск – Симферополь – направление Киев – Крым, и третий – это от Новомосковска до Симферополя. В 2012г. Украине уже реализуется концессионный объект – дорога Львов – Броды.

Как сообщал УНИАН, в конце 2010 г. стало известно, что несколько иностранных компаний заинтересованы в строительстве концессионных дорог в Украине [10]. В частности, появилась информация, что иностранная компания Gerlux Group S.A. (Люксембург) заинтересована в таких объектах, как строительство автодорог Львов – Тернополь – Винница – Умань – Знаменка – Днепропетровск ; Одесса – Николаев – Днепропетровск; Красноперекоск – Джанкой – Керчь; Херсон – Новоазовск и южной Трансеевропейской магистрали Западная граница Украины (с. Косины) - Киев. Французская Vinci – второй очереди Большой кольцевой дороги (БКД) вокруг Киева, Hyundai Engineering (Южная Корея) – автодорог Броды – Ривне; Днепропетровск – Запорожье – Мелитополь – Джанкой – Симферополь; ITNL (Индия) - автодороги Ульяновск – Николаев – Херсон – Красноперекоск – Симферополь; Bouygues (Франция) – Одесса – Рени и КПП «Щербаковка» –

Харьков; Strabag (Австрия) – первой очереди БКД вокруг Киева. Кроме того, в строительстве на условиях концессии дороги Львов-Броды заинтересовано украинское ОАО «ВНК Розточчя СТ».

Индийская ITNL в феврале 2011года выделила средства на разработку технико-экономического обоснования (ТЭО) по строительству заинтересовавших ее объектов: на разработку ТЭО по строительству дороги Львов – Луганск и Керченского моста на условиях концессии, а также Большой кольцевой дороги вокруг Киева.

Государственное агентство «Укравтодор» планирует появление первой платной дороги в Украине через 3 – 4 года [11]. В условиях Украины плата за проезд концессионной дорогой предположительно может составить 30 коп./км для легкового автомобиля и 1 грн./км – для грузового.

По словам Председателя Государственного агентства автомобильных дорог Украины Владимира Демишкана, платные дороги будут возводиться на средства инвесторов, а не государства, при этом пролегать параллельно бесплатным дорогам.

Анализируя выше изложенные данные, можно сделать следующие

Выводы

1. С 2000 г. Государственное агентство автомобильных дорог "Укравтодор" не получает финансовой поддержки государства в части формирования дорожного фонда, финансирование дорожного хозяйства осуществляется только за счет специального фонда госбюджета.
2. Заемные средства на ремонт и содержание сети автомобильных дорог не покрывают потребностей отрасли в связи необходимостью обслуживания долговых обязательств привлеченных ресурсов.
3. Вследствие ограничения финансирования, развитие транзитных направлений возможно только на условиях концессии, в которой значительная роль отводится государству, аналогично опыту Российской федерации.
4. Выделяя перечень приоритетных автомобильных дорог Украины, возникает возможность привлечения иностранных концессионеров к разработке технико-экономического обоснования (ТЭО), непосредственного строительства и дальнейшей эксплуатации объекта концессии.

Литература

1. Головна сторінка Державного агентства Автомобільних доріг України «Укравтодор» [Електронний ресурс].<http://www.ukravtodor.gov.ua/>
2. Про джерела фінансування дорожнього господарства України. Верховна Рада України; Закон від 18.08.1991 № 1562-XII [Електронний ресурс].
<http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1562-12>
3. Укравтодор планирует строительство дорог в 2012 году(по материалам «Экономические известия») [Електронний ресурс] / С. Агеев, 06.01.2012.
<http://miagroup.com.ua/component/content/article/1-latest-news/164-ukrainautodorplansbuildingofhighwaysin2012.html>
4. Кредитные линии ЕБРР [Електронний ресурс]./Фінансово-аналитическая группа «ПРО-Консалтинг» анализ рынков, маркетинговые исследования, бізнес-план 2004-2012.
http://pro-consulting.com.ua/uslugi/finans/kredit_progr/nick_286/
5. Янукович сказал, сколько нужно строить дорог в Украине (партнер раздела ТНК-ВР в Украине) [Електронний ресурс]. Газета «Дело», Издательство «Экономика» 05.04.2011. - Режим доступа до газети:
<http://delo.ua/business/janukovich-skazal-skolko-nuzhno-155285/>
6. Концессия//Экономический словарь [Електронний ресурс].
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%CA%EE%ED%F6%E5%F1%F1%E8%FF>
7. Платные дороги в странах Европы, стоимость и порядок оплаты автодорог [Електронний ресурс] / ООО «Мосинтур»
<http://mosintour.ru/default.asp?Id=968>
8. CrewingBizUa.: Концессионное соглашение о строительстве скоростной дороги Москва – Санкт-Петербург подписано в 2009 году [Електронний ресурс] / По информации сайта PortNews
<http://www.crewing.biz.ua/Article24788.html>
9. Головной участок скоростной автодороги Москва – Санкт-Петербург введут в эксплуатацию через 3 года. [Електронний ресурс] / ЗАО «Анализ, Консультация и Маркетинг». «АКМ» от 29.09.2011 <http://stroitelstvo.aurumv.ru/2011/09/29/головной-участок-скоростной-автодор/>
10. Платные дороги в Украине хотят построить 6 иностранных компаний [Електронний ресурс]/ по материалам УНИАН.// ООО "Интерактивный Маркетинг"<http://podrobnosti.ua/economy/2010/12/30/744079.html>
11. Укравтодор намерен сделать платными 2-3 дороги [Електронний ресурс]: по материалам РБК – Украина // ООО "КП-ТВ"
<http://www.ricardo.com.ua/news/business/189113>

Канін О.П., канд. техн. наук, Соколова Н.М., канд. екон. наук,
Харченко А.М., канд. техн. наук

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ ГОСПОДАРСТВОМ

Анотація. Розроблено Інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством, призначену для обґрунтування управлінських рішень з підтримки мережі автомобільних доріг на потрібному експлуатаційному рівні на основі обробки і відображення даних про поточний та прогнозований стан доріг і мостів, потреби в їх ремонтах і необхідних для їх здійснення витрат.

Ключові слова: інформаційно-аналітичні системи, програмний комплекс, веб-технології, Інтернет, база даних, стан доріг, стан мостів.

Аннотация. Разработана Информационно-аналитическая система управления дорожным хозяйством, предназначенная для обоснования управленческих решений по поддержке сети автомобильных дорог на нужном эксплуатационном уровне на основе обработки и отображения данных о текущем и прогнозируемом состоянии дорог и мостов, потребности в их ремонтах и необходимых для их осуществления затрат.

Ключевые слова: информационно-аналитические системы, программный комплекс, веб-технологии, Интернет, база данных, состояние дорог, состояние мостов.

Annotation. Developed Information system management of the road assigned to justify management decisions to support the network of roads on the required performance levels based on processing and displaying data on the current and projected state of roads and bridges in need of repairs and necessary for their implementation expenditures.

Key words: information-analytical systems, software system, Web Technology, Internet, database, roads condition, bridges condition.

Визначення проблеми. В процес управління станом доріг задіяна велика кількість людей багатьох рівней управління дорожнім господарством, які безперервно взаємодіють при прийнятті рішень різної важливості і тривалості дії. Систематизація інформації, необхідної для обґрунтування рішень, її формалізоване збереження та обробка, зручні засоби використання – все це створює необхідні умови для підвищення ефективності управлінських рішень, проте раніше створені і діючі на сьогодні програмні засоби не поєднані в єдиний комплекс, що суттєво знижує їх результативність.

Мета статті. Розкрити призначення Інформаційно-аналітичної системи управління дорожнім господарством України (ІАСУ ДГ), як перспективного інформаційно-програмного комплексу, що є надбудовою над вже функціонуючими окремо інформаційними системами (СУСП [1], АЕСУМ [2] тощо), необхідного для швидкого відображення інформації про поточний та прогнозований стан доріг і мостів, потреби в капітальних і поточних ремонтах і необхідних для їх здійснення витрат, об'ємів виконаних робіт для обґрунтування управлінських рішень з підтримки мережі доріг на потрібному експлуатаційному рівні.

Виклад основного матеріалу. Інформаційно-аналітичні системи, що функціонують у дорожній галузі, призначені для обґрунтування рішень щодо підтримки дорожньої інфраструктури на прийнятному рівні сервісу для користувачів доріг шляхом розбудови, ремонтів та утримання мережі доріг.

Одним з головних недоліків комп'ютерних систем управління дорожньою інфраструктурою є той факт, що для різних елементів інфраструктури (наприклад, дорожнього одягу або мостів) використовуються індивідуальні системи управління. Проблема полягає не у кількості систем управління, а у відсутності зв'язку між такими системами. З огляду взаємодії між різними типами інфраструктурних об'єктів, беручи до уваги зусилля і гроші, витрачені на кожен окрему систему управління, ізольовані рішення не можуть бути найбільш економічними. Незалежно від того, наскільки добрий результат функціонування кожної системи окремо, загальний результат може бути поганим через відсутність взаємодії. Нове рішення повинне в значній мірі ліквідувати цей недолік. Саме з цією метою у 2012 році на фундаменті веб-технологій була розроблена ІАСУ ДГ.

Потенційними користувачами ІАСУ ДГ є, в першу чергу, працівники різних рівнів і ланок управління дорожнім господарством – керівні посадовці та

співробітники центрального апарату Державного агентства автомобільних доріг України, служб автомобільних доріг в областях, Автономній республіці Крим, м. Севастополі, підрядні дорожньо-експлуатаційні організації. Крім того, передбачено, що за необхідності доступ до певних даних відносно стану доріг і мостів можуть мати інші зацікавлені сторони, включаючи користувачів доріг.

Взаємодія користувачів з системою здійснюється в двох головних режимах. В першому режимі користувачі мають доступ до вибірок аналітичних даних, які спеціально підготовлені в рамках окремих програмних комплексів СУСП і АЕСУМ (а в подальшому і в інших, по мірі їх розробки та впровадження) і передані за допомогою створених в цій роботі програмних засобів в базу даних (БД) ІАСУ ДГ. В другому режимі користувачі здійснюють введення даних безпосередньо в БД СУСП і АЕСУМ для їх поповнення та редагування безпосередньо з місць розташування користувачів через мережу Інтернет. Програмний комплекс реалізовано з використанням ASP.NET 4.0 та мови програмування C#.

ІАСУ ДГ складається з трьох підсистем (веб-програм), основними функціями яких є: ідентифікація (аутентифікація) користувачів; авторизація користувачів; фільтрація, вибірка та відображення даних веб-броузером; формування звітів та графіків у звітах за запитами користувачів; вивід звітів у форматах: Word (*.doc), Excel (*.xls) та Acrobat (*.pdf); модифікація баз даних СУСП і АЕСУМ.

Підсистема ІАСУ ДГ – Аналітика призначена для відображення на броузері клієнта системи аналітичних даних щодо поточного стану і поточної та перспективної потреби в ремонтах дорожніх одягів і мостів як в цілому по Укравтодору, так і в розрізі служб автомобільних доріг або окремих ділянок доріг та формування звітів.

Підсистема ІАСУ ДГ - СУСП призначена для введення даних в базу даних СУСП за допомогою веб-технологій. Користувач підсистеми має в своєму розпорядженні тільки Інтернет броузер і є клієнтом ІАСУ ДГ – СУСП. Його задача полягає у введенні оперативних даних про наявність і стан дорожнього одягу.

Підсистема ІАСУ ДГ – АЕСУМ призначена для введення даних в базу даних АЕСУМ. Користувач підсистеми має в своєму розпорядженні тільки інтернет броузер і є клієнтом ІАСУ ДГ – АЕСУМ. Його задача полягає у

введенні оперативних даних про наявність і стан мостів на автомобільних дорогах.

На рис. 1, 2, 3, 4 наведені зразки екранних форм, які видаються клієнту за допомогою ІАСУ ДГ. Вихідних форм ІАСУ ДГ досить багато, вони дозволяють особі, що приймає рішення, отримати достатнє уявлення про поточний стан та потребу в ремонтах доріг і мостів.

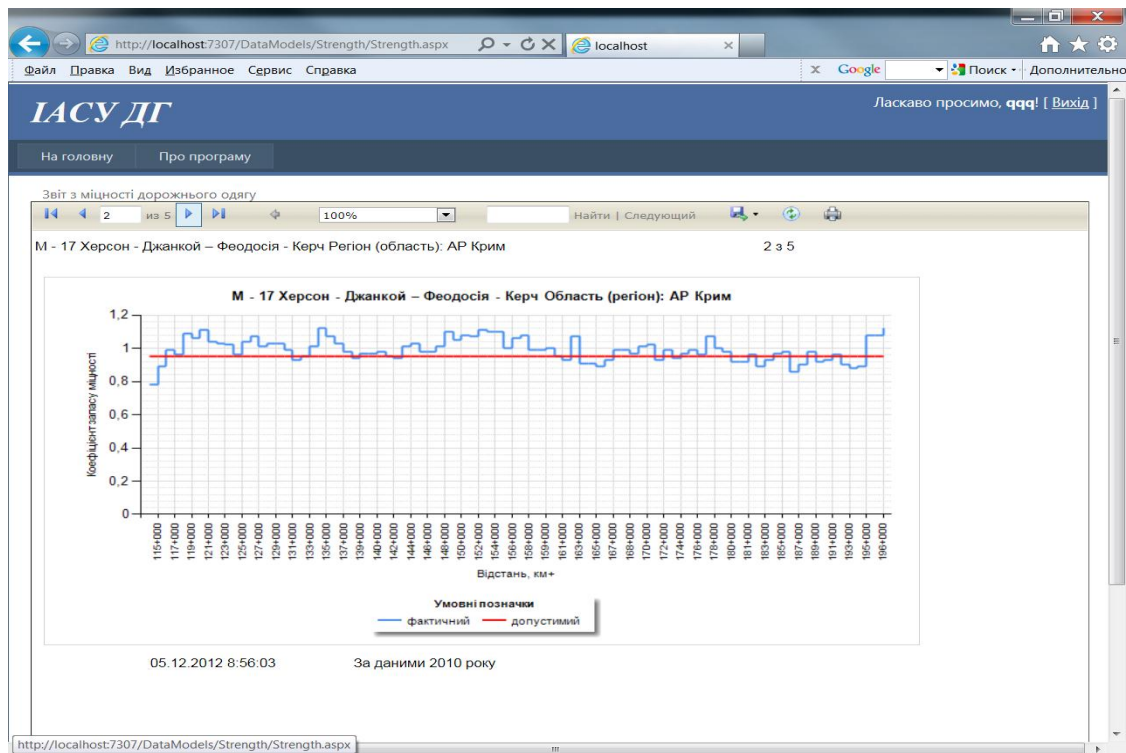


Рисунок 1 – Графік коефіцієнту запасу міцності окремої ділянки дороги

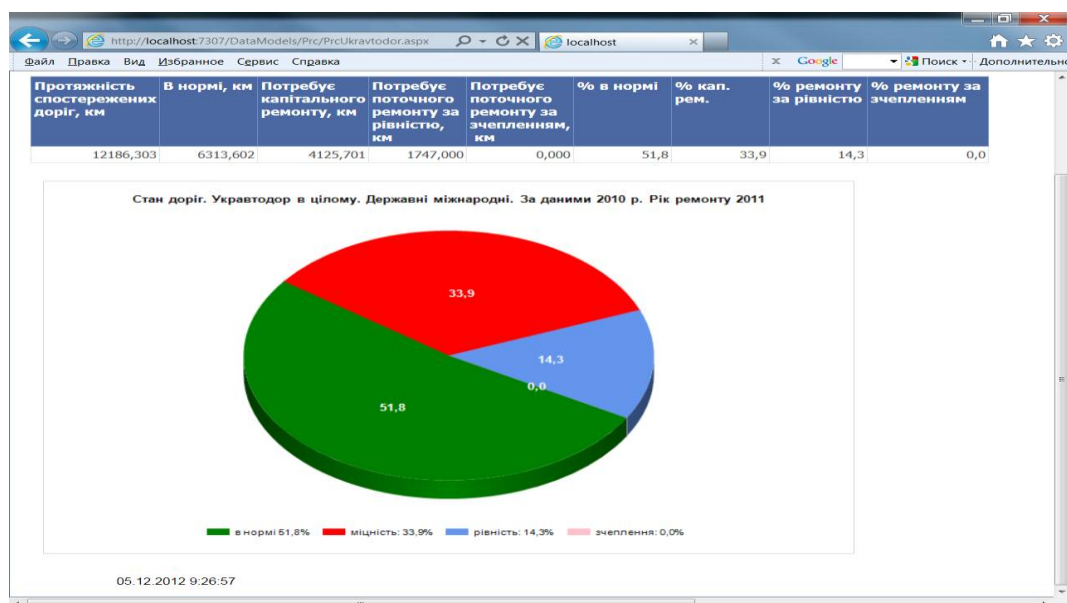


Рисунок 2 – Потреба в ремонтах дорожнього одягу

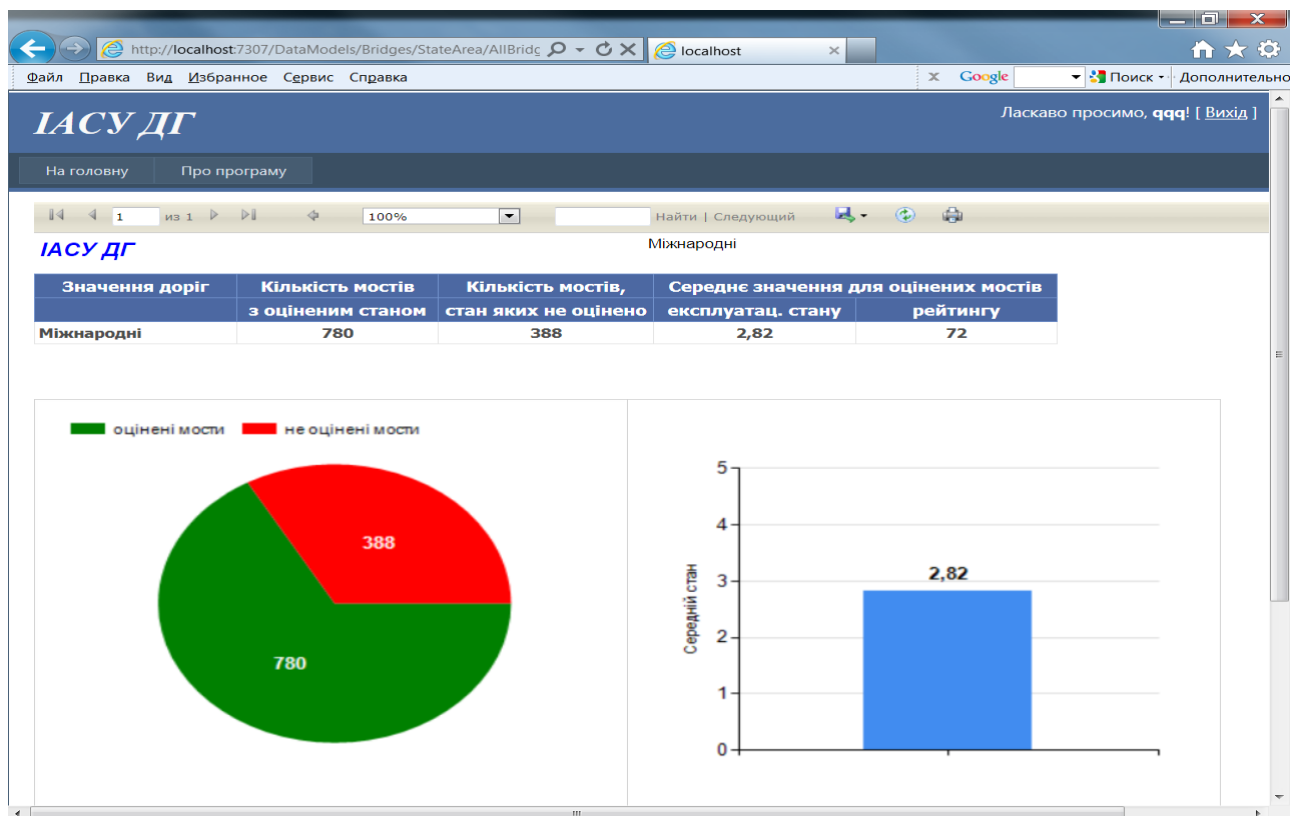


Рисунок 3 – Звіт про експлуатаційний стан мостів

РОЗРАХУНКОВА РІЧНА ПОТРЕБА В ФІНАНСОВИХ РЕСУРСАХ НА РЕМОНТИ ДОРІГ НА 2011 РІК

№	Служба автомобільних доріг в області	Капітальний ремонт		Поточ. ремонт (рівність)		Поточ. ремонт (зчепл.)		Всього тис. грн
		км	тис. грн	км	тис. грн	Сф	Cost Сф	
1	Служба автомобільних доріг в Автономній Республіці Крим	367,093	1433597,7	354,500	206018,0	0,000	0,0	1639615,7
2	Служба автомобільних доріг у Вінницькій області	370,063	926593,2	259,000	119457,0	0,000	0,0	1046050,2
3	Служба автомобільних доріг у Волинській області	336,561	1093254,5	167,500	79943,5	0,000	0,0	1173198,0
4	Служба автомобільних доріг у Дніпропетровській області	431,962	1540545,1	503,000	329979,0	0,000	0,0	1870524,1
5	Служба автомобільних доріг у Донецькій області	382,159	1637565,8	255,500	138953,1	0,000	0,0	1776518,9
6	Служба автомобільних доріг у Житомирській області	447,296	1547618,6	249,000	117412,3	46,000	0,0	1665030,9
7	Служба автомобільних доріг у Закарпатській області	266,114	935201,6	130,000	85657,0	0,000	0,0	1020858,6
8	Служба автомобільних доріг у Запорізькій області	492,146	1948738,6	171,500	84825,0	0,000	0,0	2033563,6
9	Служба автомобільних доріг у Івано-Франківській області	226,673	691665,4	376,000	249003,2	0,000	0,0	940668,6
10	Служба автомобільних доріг у Київській області	742,801	2141690,6	125,000	60632,0	0,000	0,0	2202322,6
11	Служба автомобільних доріг у Кіровоградській області	78,565	209445,6	2,500	994,5	0,000	0,0	210440,1
12	Служба автомобільних доріг у Луганській області	272,610	1014736,3	83,000	45793,8	0,000	0,0	1060530,1
13	Служба автомобільних доріг у Львівській області	408,730	1332754,2	250,500	136091,8	0,000	0,0	1468846,0
14	Служба автомобільних доріг у Миколаївській області	245,093	879777,8	188,000	114199,8	0,000	0,0	993977,6
15	Служба автомобільних доріг у Одеській області	207,000	680296,2	7,000	3120,0	0,000	0,0	683416,2
16	Служба автомобільних доріг у Полтавській області	483,992	1430103,7	254,000	157422,2	0,000	0,0	1587525,9
17	Служба автомобільних доріг у Рівненській області	415,328	2032775,9	158,000	77671,7	0,000	0,0	2110447,6
18	Служба автомобільних доріг у Сумській області	424,277	1451435,2	152,500	77265,5	0,000	0,0	1528700,7
19	Служба автомобільних доріг у Тернопільській області	458,185	1482022,6	134,000	76443,2	0,000	0,0	1558465,8
20	Служба автомобільних доріг у Харківській області	411,985	1804798,1	68,500	48668,4	0,000	0,0	1853466,5
21	Служба автомобільних доріг у Херсонській області	487,637	2479461,3	116,000	61256,6	0,000	0,0	2540717,9
22	Служба автомобільних доріг у Хмельницькій області	416,380	1227814,1	308,000	182143,0	0,000	0,0	1409957,1
23	Служба автомобільних доріг у Черкаській області	542,023	1978467,8	219,500	105176,5	0,000	0,0	2083644,3
24	Служба автомобільних доріг у Чернігівській області	258,935	748615,3	311,000	138131,5	0,000	0,0	886746,8
25	Служба автомобільних доріг у Чернівецькій області	164,599	553948,1	115,000	62883,6	0,000	0,0	616831,7
26	Служба автомобільних доріг у м. Севастополь	17,410	68601,9	42,000	21964,8	0,000	0,0	90566,7
	Всього	9355,617	33271525,2	5000,500	2781107,0	46,000	0,0	36052632,2

Рисунок 4 – Звіт про розрахункову потребу в фінансових ресурсах

Тестування програмного комплексу ІАСУ ДГ дозволяє зробити висновок про його достатню швидкодію та надійність.

Висновки

Розроблена Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством України (ІАСУ ДГ) дозволяє:

- здійснити швидкий і надійний доступ до даних про поточний стан доріг і мостів і потребу в їх ремонтах широкому колу уповноважених користувачів різного рівня для прийняття ними рішень по управлінню дорожнім господарством або в цілях інформування;
- значно розширити кількість спеціалістів, які можуть поновлювати через Інтернет центральні бази даних на основі інформації поточних обстежень доріг і мостів за рахунок коштів з експлуатаційного утримання доріг;
- не встановлювати на місцях спеціальне програмне забезпечення, а користуватись лише браузером;
- зменшити витрати на обслуговування програмних комплексів за рахунок централізації збереження та попередньої обробки інформації.

Література

1. Кизима С.С. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, Вип.62. – Київ: НТУ, 2001.
2. Лантух-Лященко А.І. До розробки галузевої аналітичної експертної системи управління мостами / А.І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, Вип. 69. – К.: НТУ, 2004. – С. 120 – 126.

УДК 628.334

Жук В.М., канд. техн. наук, Павлишин В.Г.

ЗМІНА ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ БЛОЧНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД ПРИ ВІДСУТНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ

Анотація. В статті проаналізовано зміну гідравлічного режиму роботи блочних очисних споруд поверхневих стічних вод (ОСПСВ) з байпасним трубопроводом при відсутності спеціальних пристроїв для регулювання витрати дощового стоку. Розроблено математичну модель для дослідження нерівномірності надходження поверхневих стічних вод на ОСПСВ. Отримано залежності коефіцієнта нерівномірності витрати k від витрати притоку дощових стічних вод при різних значеннях діаметра байпасного трубопроводу d_{bp} , а також залежність коефіцієнта k від безрозмірної витрати притоку Q'_{en} при оптимальному значенні діаметра байпасної лінії.

Ключові слова: очисні споруди поверхневих стічних вод, байпасний трубопровід, коефіцієнт нерівномірності витрати, регулятор витрати.

Аннотация. В статье проанализированы изменения гидравлического режима работы блочных очистных сооружений поверхностных сточных вод (ОСПСВ) с байпасным трубопроводом при отсутствии специальных устройств для регулирования расхода дождевого стока. Разработана математическая модель для исследования неравномерности поступления поверхностных сточных вод на ОСПСВ. Получены зависимости коэффициента неравномерности расхода k от расхода притока дождевых сточных вод при различных значениях диаметра байпасного трубопровода d_{bp} , а также зависимость коэффициента k от безразмерного расхода притока Q'_{en} при оптимальном значении диаметра байпасной линии.

Ключевые слова: очистные сооружения поверхностных сточных вод, байпасный трубопровод, коэффициент неравномерности расхода, регулятор расхода.

Annotation. The paper presents the analysis of the changes in hydraulic regime of the block-type stormwater treatment plant (SWTP) with a bypass line and without special devices, controlling the stormwater discharge. A mathematical model for the investigation of stormwater discharge irregularity is proposed. The dependences of the discharge irregularity coefficient k from the stormwater inflow discharge for various values of the bypass line diameter d_{bp} , as well as the dependence of the coefficient k versus the dimensionless inflow discharge Q'_{en} for the optimal value of bypass line diameter, are obtained.

Key words: stormwater treatment plant, bypass line, discharge irregularity coefficient, discharge regulator.

Постановка проблеми. Очисні споруди поверхневих стічних вод (ОСПСВ) є важливим елементом системи водовідведення. Надійність роботи цих споруд у першу чергу залежить від режиму надходження дощових стічних вод. Відомо, що гідрографи притоку дощових стічних вод характеризується значною нерівномірністю в часі, що впливає на гідравлічний режим роботи очисних споруд. При відсутності специфічних забруднень у поверхневому стоці в склад блочних очисних споруд входять такі основні елементи: вхідний колодязь, блок очисних модулів (пісковловлювач, тонкошаровий і коалесцентний модулі, сорбційний фільтр) та контрольний колодязь. Важливою задачею є стабілізація витрати стічних вод, що надходять на ОСПСВ, при різких змінах витрати притоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні десятиліття відзначаються підвищеним інтересом до розвитку технологій очищення поверхневого стоку. Вітчизняні та закордонні дослідники все більше уваги звертають на пошук нових матеріалів і технологій, які забезпечували б інтенсифікацію процесів очищення на ОСПСВ та надійність їх роботи. Вагомий внесок у дослідження питань, пов'язаних з очищенням поверхневого стоку з урбанізованих територій зробили Алексеев М.И., Баланда В.Ю., Гриднева М.А., Дикаревский В.С., Иванов В.Г., Касаткин А.В., Курганов А.М., Молоков М.В., Нечаев А.П., Тихомирова О.П., Шифрін В.Н. та ін. [1–7].

На практиці сьогодні найчастіше влаштовують ОСПСВ блочного типу без доочищення на сорбційних фільтрах та без додаткових пристроїв для

регулювання витрати (рис. 1). Очевидно, що різке збільшення витрати притоку при випаданні дощів великої інтенсивності призводить до зростання рівня води у вхідному колодязі КК-1. Тому, незважаючи на значно менший гідравлічний опір байпасного трубопроводу, можливе зростання об'ємної витрати поверхневого стоку, який надходить на блочні ОСПСВ. Це призводить до перевантаження та переповнення очисних споруд, зменшення ефективності очищення, загрожує збуренням раніше затриманих забруднень та виносом їх у відвідний трубопровід.

Метою роботи є аналіз зміни гідравлічного режиму роботи блочних ОСПСВ з байпасним трубопроводом при відсутності спеціальних пристроїв для регулювання витрати дощового стоку.

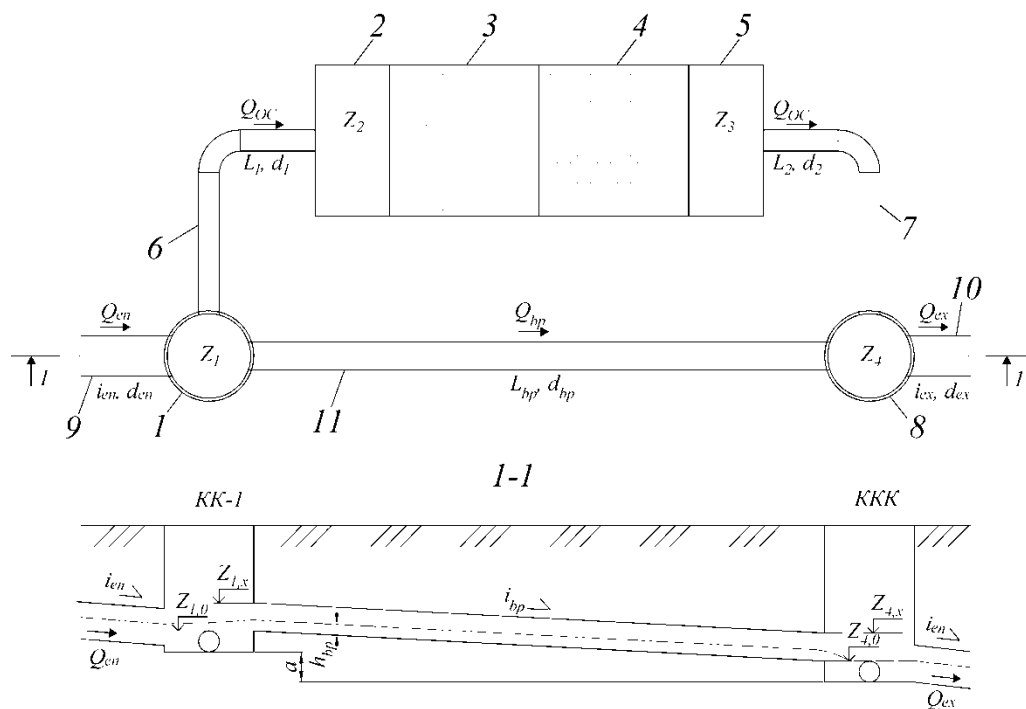


Рисунок 1 – Розрахункова схема блочних ОСПСВ з байпасним трубопроводом: 1 – вхідний колодязь; 2 – пісковловлювач; 3 – блок тонкошарових відстійників; 4 – блок коалесцентного очищення; 5 – вихідне відділення; 6, 10 – підвідний та відвідний трубопроводи блоку ОСПСВ; 7 – трубопровід після ОСПСВ; 8 – контрольний колодязь; 9, 10 – підвідний та відвідний трубопроводи мережі дощового водовідведення; 11 – байпасний трубопровід

В блочних ОСПСВ, представлених на рис. 1, поверхневий стік спочатку потрапляє у вхідний колодязь 1, у якому на різних відмітках влаштовані підвідний трубопровід до блочних ОСПСВ 6 та байпасний трубопровід 11, призначений для згладжування пікових витрат поверхневого стоку. По

трубопроводу 6 поверхневі стічні води надходять до блочних ОСПСВ, які складаються з таких елементів: вхідного відділення, яке виконує функцію пісковловлювача для затримання тяжких мінеральних забруднень; блоку тонкошарових модулів, де затримуються завислі речовини; блоку коалесцентних модулів, призначених для затримання нафтопродуктів; вихідного відділення, з якого очищений стік відводиться в контрольний колодязь 8. Перепад відміток а між вхідним 1 та контрольним 8 колодязями визначається втратами напору в ОСПСВ, підвідному і відвідному трубопроводі. Перепад відміток а пов'язаний з номінальною продуктивністю ОСПСВ Q_{OC} наступною залежністю:

$$a = (Z_{1,0} - Z_{4,0}) = (S_1 + S_2 + S_{OC})Q_{OC}^2, \quad (1)$$

де $Z_{1,0}$, $Z_{4,0}$ – відмітки шелиги підвідного і відвідного трубопроводів ОСПСВ відповідно у вхідному колодязі КК-1 та контрольному колодязі ККК; S_1 , S_2 , S_{OC} – гідравлічний опір відповідно підвідного, відвідного трубопроводу та блочних ОСПСВ.

Номінальна витрата ОСПСВ згідно з діючим нормативним документом [8] визначається за формулою:

$$Q_{OC} = K_{OC}Q_r, \quad (2)$$

де Q_r – розрахункова витрата дощового стоку перед вхідним колодязем; K_{OC} – коефіцієнт, що визначає, яку частину від розрахункової витрати дощового стоку необхідно подати на очисні споруди.

Коефіцієнт K_{OC} залежить в загальному випадку від кліматичних умов, від періоду одноразового перевищення інтенсивності випадання дощу P , на який розрахована водовідвідна мережа, та від періоду $P_{оч}$, на який розраховані очисні споруди; згідно [8] приймають $P_{оч}=0,05-0,1$ року.

Для трубопроводів гідравлічний опір визначається за формулою:

$$S_i = \left(\frac{8(\lambda L / d^5 + \sum \zeta / d^4)}{\pi^2 g} \right), \quad (3)$$

де L , d , λ , $\sum \zeta$ – відповідно довжина, внутрішній діаметр, коефіцієнт гідравлічного тертя та сума коефіцієнтів місцевих опорів трубопроводу. Як

правило, діаметри підвідного і відвідного трубопроводів приймають однаковими ($d_1=d_2=d$).

Аналіз втрат напору всередині блочних ОСПСВ показує, що в них переважають місцеві втрати напору (за винятком схем з доочищенням стоку на сорбційних фільтрах), що дозволяє при $Re > 10^4$ визначати гідравлічний опір ОСПСВ за аналогічною формулою:

$$S_{oc} = \frac{\sum \zeta_{oc}}{\pi^2 g d^4}, \quad (4)$$

де $\sum \zeta_{oc}$ – сумарний коефіцієнт місцевого опору ОСПСВ, приведений до діаметра відвідного трубопроводу.

Для збільшення пропускної здатності байпасного трубопроводу його доцільно прокладати з максимально можливим похилом. Це відповідає такому висотному розташуванню байпаса, при якому відмітки його лотків на початку та в кінці дорівнюють відповідним відміткам шелиги підвідного та відвідного трубопроводів (рис. 1). Знаючи перепад a , можна визначити похил байпасного трубопроводу i_{bp} :

$$i_{bp} = \frac{a}{L_{bp}}, \quad (5)$$

де L_{bp} – довжина байпасного трубопроводу.

При незначній інтенсивності випадання дощу весь поверхневий стік з витратою Q_{en} , який потрапляє у вхідний колодязь 1, надходить на очищення в блочні ОСПСВ. При значенні притоку $Q_{en}=Q_{oc}$, позначка $Z_1=Z_{1,0}$, $Z_4=Z_{4,0}$ і трубопроводи 6 і 7 починають працювати повним перерізом, а витрата по трубопроводу байпасу все ще відсутня: $Q_{bp}=0$.

При витраті притоку $Q_{en}>Q_{oc}$ рівень води у вхідному колодязі зростає ($Z_1>Z_{1,0}$) і трубопровід байпасу 11 працює в безнапірному режимі (1 етап). Глибину наповнення байпасного трубопроводу за умови рівномірного руху можна прийняти рівною:

$$h_{bp} = (Z_1 - Z_{1,0}). \quad (6)$$

При зростанні рівня води у вхідному колодязі до відмітки $Z_{1,x}$ починається напірний режим течії в байпасному трубопроводі. Запишемо рівність втрат напору на паралельних лініях у цей момент часу:

$$(Z_{1,x} - Z_{4,x}) = (S_1 + S_2 + S_{OC})Q_{оч,x}^2 = S_{bp} \cdot Q_{bp,x}^2, \quad (7)$$

де $Q_{оч,x}$, $Q_{bp,x}$ – об’ємна витрата рідини відповідно крізь ОСПСВ та в байпасному трубопроводі на початку напірного режиму; $Z_{1,x}$, $Z_{4,x}$ – рівень води відповідно у вхідному та контрольному колодязях на початку напірного режиму течії води в байпасному трубопроводі; $Z_{1,x} = (Z_{1,0} + d_{bp})$; S_{bp} – гідравлічний опір байпасного трубопроводу, визначається за формулою (3).

З рівняння (7):

$$Q_{bp,x} = Q_{оч,x} \cdot \sqrt{\frac{S_1 + S_2 + S_{OC}}{S_{bp}}}. \quad (8)$$

Позначимо відношення гідравлічних опорів на паралельних ділянках ОСПСВ через A :

$$(S_1 + S_2 + S_{OC}) / S_{bp} = A. \quad (9)$$

Витрата притоку на початку напірного режиму роботи байпасного трубопроводу дорівнює $Q_{ен,x}$. З рівняння матеріального балансу:

$$Q_{ен,x} = (Q_{оч,x} + Q_{bp,x}) = Q_{оч,x} (1 + \sqrt{A}),$$

звідки

$$Q_{оч,x} = \frac{Q_r}{1 + \sqrt{A}}; \quad (10)$$

$$Q_{bp,x} = \frac{Q_r \sqrt{A}}{1 + \sqrt{A}}. \quad (11)$$

При безнапірному режимі руху в байпасному трубопроводі, при $Q_{OC} < Q_{ен} < Q_r$, витрату Q_{bp} можна знайти, використовуючи рівняння Шезі для безнапірного потоку. У випадку визначення коефіцієнта Шезі за формулою Маннінга об’ємна витрата байпасного потоку на першому етапі:

$$Q_{bp} = C_{bp} \cdot \omega_{bp} \cdot \sqrt{R_{bp} \cdot i_{bp}} = \frac{1}{n} \cdot R_{bp}^{\frac{2}{3}} \cdot \omega_{bp} \cdot \sqrt{i_{bp}}, \quad (12)$$

де C_{bp} – коефіцієнт Шезі; ω_{bp} – площа живого перерізу; R_{bp} – гідравлічний радіус потоку; n – коефіцієнт шорсткості байпасного трубопроводу.

При напірному русі поверхневих стічних вод у байпасному трубопроводі (2 етап), тобто при $Z_1 > Z_{1,x}$:

$$(Z_1 - Z_4) = (S_1 + S_2 + S_{oc}) Q_{oc}^2 = S_{bp} \cdot Q_{bp}^2, \quad (13)$$

де Q_{oc} , Q_{bp} – об’ємна витрата рідини, яка в деякий момент часу t проходить відповідно через очисні споруди та байпасний трубопровід.

Тоді витрата дощового стоку, що надходить на ОСПСВ на другому етапі:

$$Q_{oc} = \frac{Q_{en}}{1 + \sqrt{A}}. \quad (14)$$

Використовуючи залежності (1–14) та застосовуючи чисельні методи, виконано типовий гідравлічний розрахунок блочних ОСПСВ, влаштованих згідно схеми, представленої на рис. 1, при різній об’ємній витраті притоку Q_{en} . Розрахункова витрата дощових стічних вод прийнята рівною $Q_r = 50$ л/с (при періоді $P = 1$ рік). При значенні коефіцієнта $K_{oc} = 0,2$ необхідна номінальна продуктивність ОСПСВ складає $Q_{oc} = 10$ л/с.

При розрахунках прийнято наступні геометричні параметри ОСПСВ:

- байпасний трубопровід: $L_{bp} = 6,76$ м; $d_{bp} = 150, 160, 170, 180, 190, 200$ мм;
- підвідний трубопровід до ОСПСВ: $L_1 = 3$ м; $d_1 = 126,6$ мм;
- відвідний трубопровід після ОСПСВ: $L_2 = 3$ м; $d_2 = 126,6$ мм;
- ОСПСВ: загальна довжина $L = 4,76$ м.

Аналіз показує, що при збільшенні витрати притоку понад $Q_{en,x}$ має місце досить швидке зростання витрати рідини, що надходить в ОСПСВ. За основний показник, який характеризує нерівномірність гідравлічного навантаження на ОСПСВ, прийнято коефіцієнт нерівномірності витрати k :

$$k = Q_{oc} / Q_{oc}. \quad (15)$$

На рис. 2 представлено залежності коефіцієнта нерівномірності k для ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с та $K_{OC}=0,2$ від безрозмірної витрати Q'_{en} у вхідному колодязі:

$$Q'_{en} = Q_{en} / Q_r. \quad (16)$$

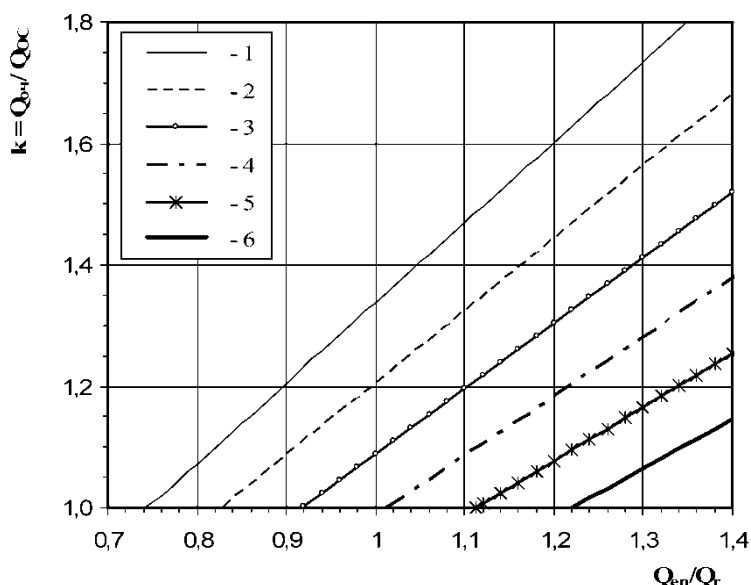


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнта нерівномірності надходження дощового стоку на ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с від співвідношення Q_{en}/Q_r при різних значеннях діаметра байпасного трубопроводу d_{bp} : 1 – 150 мм; 2 – 160 мм; 3 – 170 мм; 4 – 180 мм; 5 – 190 мм; 6 – 200 мм

Як видно з рис. 2, нерівномірність надходження дощових стічних вод на ОСПСВ істотно залежить від діаметра байпасного трубопроводу. Для розглянутого типорозміру ОСПСВ з номінальною продуктивністю $Q_{OC}=10$ л/с та без сорбційного фільтра при діаметрах байпасного трубопроводу $d_{bp}=150$ – 170 мм вже при значеннях притоку, менших за розрахункове значення Q_r має місце напірний режим рідини в байпасному трубопроводі та досить значний коефіцієнт нерівномірності k . Наприклад, при $Q_{en}=Q_r=50$ л/с та діаметрі байпасної лінії $d_{bp}=150$ мм має місце зростання витрати через ОСПСВ на 33,7% вище за номінальну витрату, при $d_{bp}=160$ мм перевищення номінальної продуктивності складає 20,5%, а при $d_{bp}=170$ мм – 8,9%. Оптимальним для розглянутих ОСПСВ є байпасний трубопровід з внутрішнім діаметром $d_{bp}=180$ мм, для якого початок напірного режиму має місце при $Q_{en}=Q_r$.

З іншого боку, зростання витрати притоку понад Q_r спричиняє суттєве перевантаження ОСПСВ у випадку відсутності регулятора витрати. Наприклад,

при випаданні дощу з $P=2$ роки витрата притоку згідно з нормативним документом [9] становить:

$$Q_{en} = Q_{r,P=2} = Q_r \cdot (1 + \lg P / \lg m_p)^\gamma = 50 \cdot (1 + \lg 2 / \lg 110)^{1,54} = 61,8 \text{ л/с},$$

де m_p , γ – кліматичні коефіцієнти; для рівнинних областей України згідно з [1] $m_p=110$; $\gamma=1,54$. Безрозмірна витрата притоку у цьому випадку: $Q'_{en}=1,236$.

У таблиці наведено значення коефіцієнта нерівномірності витрати k залежно від періоду одноразового перевищення інтенсивності дощу P для розглянутих вище ОСПСВ при оптимальному для них значенні діаметра байпаса $d_{bp}=180$ мм.

Таблиця 1 -Залежність коефіцієнта нерівномірності находження стічних вод на блочні ОСПСВ без регулятора витрати від значення періоду P ($Q_r=50$ л/с; $Q_{oc}=10$ л/с; $d_{bp}=180$ мм)

P , роки	1	1,5	2	3	4	5	10
$Q_{r,P}$, л/с	50	56,79	61,80	69,09	74,44	78,69	92,39
Q'_{en}	1	1,136	1,236	1,382	1,489	1,574	1,848
k	1	1,121	1,218	1,361	1,465	1,548	1,815

Аналіз результатів, представлених у табл., показує що для розглянутих ОСПСВ коефіцієнт нерівномірності витрати k пов'язаний з безрозмірною витратою притоку Q'_{en} лінійною залежністю:

$$k = 0,985 Q'_{en}, \quad (17)$$

що добре узгоджується з теоретичним розв'язком $k=Q'_{en}$, який має місце при автотельності гідравлічних опорів всіх ділянок та за умови початку напірного режиму роботи байпаса при витраті притоку $Q_{en}=Q_r$.

Висновок

У роботі проаналізовано зміну гідравлічного режиму роботи блочних очисних споруд поверхневих стічних вод з байпасним трубопроводом при відсутності пристроїв для регулювання витрати дощового стоку. Отримано, що при відсутності регулятора витрати вже при незначному перевищенні

інтенсивності дощу над розрахунковою інтенсивністю, що відповідає значенню $P=1$ рік, надходження дощового стоку на ОСПСВ характеризується суттєвою нерівномірністю. Для стабілізації витрати стічних вод на ОСПСВ у широкому діапазоні вхідних витрат доцільно використовувати спеціальні регулятори витрати.

Література

1. Молоков М. В. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок / М. В. Молоков, В. Н. Шифрин. — М.: Стройиздат, 1977. — 104 с.
2. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. — Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. — 224 с.
3. Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.04 / Иванов В.Г. — СПб., 1998. — 304 с.
4. Баланда В. Ю. Оптимизация локальной очистки поверхностного стока предприятий железнодорожного транспорта: дис. канд. тех. наук: 05.23.04 / Баланда Виталий Юрьевич. — СПб., 2004. — 166 с.
5. Касаткин А. В. Разработка метода очистки поверхностного стока с проезжей части автомобильных дорог: дис. канд. тех. наук: 05.23.11, 05.23.04 / Касаткин Андрей Валерьевич. — М., 2007. — 157 с.
6. Гриднева М.А. Совершенствование отведения и очистки поверхностных сточных вод урбанизированных территорий: дис. канд. тех. наук: 05.23.04 / Гриднева Марина Александровна. — Самара, 2002. — 202 с.
7. Тихомирова О.П. Блочные установки для очистки сточных вод предприятий железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. Серия "Строительство. Проектирование" / О. П. Тихомирова. — Л ЦНИИТЭИ МПС, 1996. — Вып. 2. — С. 1–21.
8. Временные рекомендации по проектированию сооружений для очистки поверхностного стока с территорий промышленных предприятий и расчету условий выпуска его в водные объекты. — М.: ВНИИ "ВОДГЕО" Госстроя СССР, 1982. — 50 с.
9. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 72 с.

Кожушко В.П. д-р техн. наук

АНАЛИЗ РАБОТЫ НЕРЕГУЛЯРНОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПРИ ВОЙЗДЕЙСТВИИ ВРЕМЕННОЙ ЗАГРУЗКИ

Анотація. Розглянуто питання визначення розподільної здатності нерегулярної прольотної будови автодорожнього мосту, побудованого за індивідуальним проектом. Показано можливість використання для вирішення цього питання розробленого автором методу розрахунку прольотної будови і усередненої схеми прольотної будови.

Ключові слова: випробувальне навантаження, коефіцієнт поперечної установки, метод важіля, нерегулярна система, усереднена схема прольотної будови.

Аннотация. Рассмотрен вопрос определения распределительной способности нерегулярного пролетного строения автодорожного моста, построенного по индивидуальному проекту. Показана возможность использования для решения этого вопроса разработанного автором метода расчета пролетного строения и усредненной схемы пролетного строения.

Ключевые слова: испытательная нагрузка, коэффициент поперечной установки, метод рычага, нерегулярная система, усредненная схема пролетного строения.

Annotation. The possibility of application of the developed by the author method of span structure calculation and the averaged scheme of span structure for solving the above-mentioned problem is shown.

Key words: test loading, coefficient of transverse mounting, liver method, irregular system, averaged scheme of span structure.

В послевоенные годы на территории Украины были построены сотни мостов по индивидуальным проектам, из имеющихся под рукой материалов как отечественного, так и зарубежного производства. По этой причине конструкции этих мостов отличаются разнообразием и иногда имеют индивидуальную конструкцию. Эти мосты, несмотря на низкое качество работ при возведении и небрежной эксплуатации, дожили до наших дней, используются для пропуска транспорта и в настоящее время. Понятно, что для удлинения сроков их эксплуатации, принятия решения об их реконструкции и усилении, а, возможно, и замена новыми мостами, необходимо установить ресурсы их несущей способности. А это, в свою очередь, требует установления истинной распределительной способности пролетных строений, которые представляют собой резко нерегулярные системы, т.е. систем, в которых расстояния между главными балками (прогонами) в поперечном направлении различны, а изгибная и крутильная жесткость главных балок резко отличаются между собой. Часто, несмотря на, казалось бы, примитивную конструкцию пролетных строений мостов, расчет их (в частности определение распределения способности пролетных строений) вызывает определенные затруднения. Стоит вопрос о правильности выбора метода пространственного расчета пролетных строений при воздействии временных нагрузок, а выбор метода зависит не только от конструкции пролетного строения, но также от конструкции и качества объединения конструктивных элементов между собой и их состояния на момент обследования или испытания сооружения.

В связи с этим нами проанализирована работа пролетного строения моста резко нерегулярной схемы, обследование и испытание которого были выполнены сотрудниками кафедры мостов, конструкций и строительной механики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) с участием автора весной 2011 года. Мост – многопролетный. Пролётные строения – металлические, состоящие из 4-х прогонов в поперечном сечении (см. рис.). Крайние элементы пролетных строений (прогоны 1 и 4) – это два рельса типа 1а, сваренные между собой таким образом, что головки рельс расположены у нейтральной оси сечения. Высота прогонов h составляет 28см, ширина полок $b=12,5$ см, площадь поперечного сечения $A=111,28\text{см}^2$, момент инерции при изгибе $I_{1,4}=8463\text{см}^4$. Прогоны 2 и 3

имеют более сложное поперечное сечение. Верхний элемент этих прогонов – рельс 1а, перевернутый головкой вниз. К нему снизу приварен по всей длине двутавр № 20, к нижней полке, которого приварена треугольная металлическая ферма вершиной вниз. Металлическая ферма с треугольной решеткой – сварная, из равнобоких уголков калибра 75, используемых для поясов ферм, и равнобоких уголков калибра 50, из которых выполнены элементы решетки. Раскосы приварены к поясам с нарушением требований норм: продольные оси элементов в узлах фермы не сходятся в одной точке, расположенной на нейтральной оси поясов; раскосы приварены внахлест поясов, т.е. без фасонки; длина панелей различна по длине фермы. Приведенный момент поперечного сечения при изгибе $I_{2,3}=55928\text{см}^4$, т.е. в 6,61 раза больше моментов инерции крайних прогонов. Расстояния в поперечном направлении составляют: между прогонами 1 и 2 – 106см, между прогонами 2 и 3 – 163см, между прогонами 3 и 4 – 120см (см. рис.).

Поперек моста на прогоны уложены дубовые поперечины сечением 10×8см, а по поперечинам вдоль моста устроены две колеи шириной 60см из досок толщиной 5см. Движение транспорта – одностороннее, осуществляется по продольным полосам. Расстояние между продольными полосами составляет 163см, а ширина моста между перилами ровно 475см. Пролет прогонов – 790см.

Одно пролетное строение мостов было испытано. Испытательной нагрузкой служили автосамосвал КрАЗ-256Б массой 26,5т в загруженном состоянии, которым была загружена середина пролета. Автомобиль был установлен так, чтобы задние его оси располагались симметрично относительно поперечной оси моста, проходящей через середину пролетного строения, т.е. задние оси располагались на расстоянии 70см от поперечной оси моста. Передняя ось автомобиля выходила за пределы пролета. Прогибы замерялись прогибомерами Максимова, которые были установлены под первым и четвертым прогонами, т.к. установить прогибомеры под прогонами 2 и 3 не представлялось возможным.

Для выявления распределительной способности пролетного строения использованы два метода:

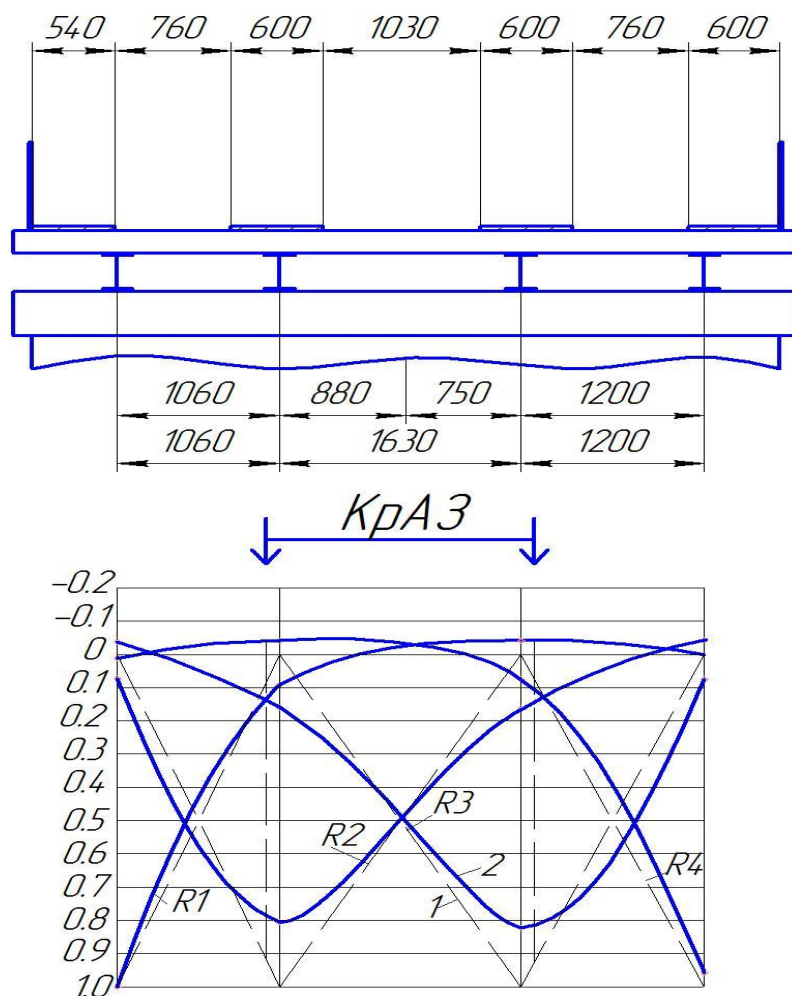


Рисунок 1 – Линии влияния усилий, передаваемых поперечинами на прогоны: 1 – по рычагу; 2 – по усредненной схеме, предложенной автором

Метод рычага и метод автора [1-5]. Расчет пролетного строения по методу автора выполнен по усредненной схеме, когда изгибная жесткость всех прогонов принята средней, равной $E_s I_s = 0,67011 \cdot 10^5 \text{ кНм}^2$, а расстояния между прогонами в поперечном направлении одинаковыми ($d = 129,7 \text{ см}$). Изгибная жесткость поперечного элемента (накатин) $E_{\text{пол}} I_{\text{пол}} = 0,10931 \cdot 10^3 \text{ кНм}^2$, т.е. в 618,5 раз меньше средней жесткости прогона. Эти характеристики необходимы при определении показателя гибкости системы α , который аналогичен показателю, принимаемому в методе упругих опор. В данном случае он равен примерно 5. По данным расчета построены линии влияния усилий, передаваемых поперечинами на прогоны (см. рис.). На этом же рисунке приведены линии влияния, полученные по рычагу.

После загрузки линии влияния испытательной нагрузкой определены коэффициенты поперечной установки, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Значение коэффициентов поперечной установки

Метод расчета	Прогон			
	1	2	3	4
Рычага	0,0475	0,450	0,440	0,0675
Автора	0,050	0,445	0,4325	0,070

Таким образом, коэффициенты поперечной установки, полученные по двум методам, отличаются в крайних прогонах на 3,70 и 5,20%, в средних прогонах на 1,11 и 1,70%, т.е. практически совпадают.

Для проверки возможности использования упомянутых методов расчета при выявлении распределительной способности данного пролетного строения определены теоретические прогибы от испытательной нагрузки крайних прогонов.

Они равны:

по методу рычага: $y_1 = 0,56\text{см}$; $y_4 = 0,79\text{см}$;

по методу автора: $y_1 = 0,59\text{см}$; $y_4 = 0,82\text{см}$.

Экспериментальные прогибы (замеренные в процессе испытания сооружения) составили: $y_1 = 0,55\text{см}$, $y_4 = 0,73\text{см}$.

Таким образом, расчет резко нерегулярного пролетного строения методом автора по усреднённой схеме дает приемлемые для практики проектирования результаты.

Разница между экспериментальными прогибами и прогибами, полученными по методу автора, была бы еще меньше, если бы удалось точно определить изгибную жесткость 2 и 3 прогонов. Для этого надо бы было отдельно испытать каждый из прогонов 2 и 3, что при испытании реального сооружения не представляется возможным.

Расчеты показали, что уже при показателе гибкости системы $\alpha = 5$, пролетное строение следует рассчитывать по методу рычага.

Следует отметить, что предлагаемый метод богаче методов рычага, внецентренного сжатия или упругих опор, т.е. он дает возможность определить угол поворота и прогиб левого (или правого) конца поперечного элемента, а

значит, построить для ряда сечений поперечного элемента не только линии влияния изгибающих моментов и поперечных сил, но также линии влияния углов поворота и прогибов.

Анализируя данные расчета, можно сделать вывод о нерациональности конструкции данного пролетного строения, т.к. средние прогоны в 6,5-9,5 раз нагружены сильнее крайних. При реконструкции такого типа пролетных строений и устройстве сплошного проезда по ширине необходимо серьезное усиление крайних прогонов или замена пролетного строения на новое при условии, что опоры и грунты смогут воспринять новые нагрузки.

Выводы

При расчете балочных пролетных строений, даже резко нерегулярной системы, возможно использование метода расчета автора по усредненным жестким и линейным параметрам.

Литература

1. Кожушко В.П. Расчет пролетных строений балочных мостов разрезной системы/ В.П. Кожушко// Сопротивление материалов и теория сооружений.- 1980.-Вып.36.-С.118-122.
2. Кожушко В.П. Расчет неразрезных и балочных мостов регулярной и нерегулярной систем на временную нагрузку / В.П. Кожушко // Изд. вузов. Стр-во и архитектура.-1959-№5.-С.118-122.
3. Кожушко В.П. Визначення зусиль від тимчасового навантаження у головних балках металевих і сталобетонних балкових прольотних будовах нерегулярної структури за усередненою схемою/ В.П. Кожушко, С.А. Біндюг//Авт. дороги і дор. буд-во. –К.:НТУ,2002 – С.122-124.
4. Кожушко В.П. Распределительная способность пролетных строений автодорожных мостов нерегулярных систем/ В.П. Кожушко //Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009-Вип.56-С.43-50.
5. Кожушко В.П. Использование усредненной схемы при расчете балочных железобетонных пролетных строений нерегулярной системы/ В.П. Кожушко //Будівельні конструкції.-2011.-К.: НДІБК, 2011.- Вип..74. Кн.1. – С.465-474.

Козлачков С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДЕФОРМАЦИОННОГО ШВА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ВЕЛОСИПЕДНОГО ТРАНСПОРТА

Исследование [1], [2] и техническое решение посвящено конструкциям деформационных швов гребенчатого и модульно-гребенчатого типов, используемых в мостостроении, и направлено на обеспечение безопасности проезда велосипедного транспорта по деформационному шву.

Все конструкции гребенчатых деформационных швов (ДШ) [3, 4] имеют существенный недостаток: открытие продольного и поперечного зазора между гребенчатыми пальцами, при раскрытии ДШ, который может быть препятствием для движения велосипедного транспорта. В связи с этим, для гребенчатых ДШ существуют жесткие требования, ограничивающие максимальное расстояние между гребенчатыми пальцами. Это ограничение в какой-то степени позволяет повысить безопасность гребенчатого ДШ для проезда велосипедистов, но одновременно и ограничивает его возможность воспринимать поперечные смещения и повороты в плане пролетных строений, существенно снижая функциональность ДШ.

Известна конструкция устройства для гребенчатого ДШ (патент EP1033442(A2), 06.09.2000, REISNER & WOLFF ENGINEERING), в которой этот недостаток устранен благодаря установке между гребенчатыми пальцами упругой гребенчатой пластины, соединенной одной стороной болтовым соединением с верхней частью гребенчатой плиты.

Недостатком этой конструкции является наличие дополнительных болтовых соединений (как минимум, два болта на каждую упругую гребенчатую пластину), увеличивающих вероятность их самопроизвольного раскручивания, в процессе эксплуатации, под действием переменных нагрузок и, следовательно, снижающих уровень безопасности при проезде ДШ велосипедным и другими видами транспорта. Также вероятность самопроизвольного раскручивания этих болтовых соединений возрастает и из-за невозможности обеспечения необходимого момента затяжки резьбового соединения, из-за применения болтов малого диаметра, в виду малой ширины упругой гребенчатой пластины.

Целью технического решения [5], [6] является повышение безопасности при движении транспорта по велосипедной части (защитному устройству) ДШ, за счет максимально возможного снижения количества болтовых соединений и обеспечения необходимого момента затяжки их резьбовых соединений, для предотвращения самопроизвольного раскручивания, при эксплуатации ДШ.

Технический результат достигается за счет того, что продольный профиль упругих гребенчатых пластин имеет ступенчатую или двусторонне симметрично-ступенчатую единую (составную) форму, что обеспечивает жесткое закрепление их нижних частей с крайними или промежуточными несущими балками без дополнительных, а при помощи уже установленных, болтовых соединений, между этими несущими балками и гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой). В этом болтовом соединении, как правило, применяются высокопрочные болты, имеющие необходимый диаметр для создания требуемой величины силового момента затяжки, для предотвращения их самопроизвольного раскручивания, при эксплуатации.

Упругие гребенчатые пластины целесообразно объединять, при помощи одной плоской пластины, в секции по длине соответствующей, закрепленной над ней, секции гребенчатой плиты, для более плотного прилегания поверхностей соединения между собой, и для удобства монтажа и демонтажа.

На рисунках представлены варианты исполнения конструкции ДШ и упругих гребенчатых пластин: на рис. 1 план, на рис. 2 и 3 продольный профиль, в разрезе, фрагмента секции ДШ с гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами 1, и с гребенчатыми плитами с двусторонне направленными пальцами 2, рис. 3, упругие гребенчатые пластины 3, нижние части 4, упругих гребенчатых пластин 3, фрагменты крайних несущих балок 5 и промежуточной несущей балки 6, рис. 3, болтовое соединение 7, плоская пластина 8; на рис. 4 план, на рис. 5 продольный профиль рис. 4, в разрезе, на рис. 6 фрагмент поперечного профиля рис. 4, нижние части 4 и плоская пластина 8, фрагмента секции упругих гребенчатых пластин 3, со ступенчатой формой; на рис. 7 план, на рис. 8 продольный профиль рис. 7, в разрезе, на рис. 6 фрагмент поперечного профиля рис. 7, нижние части 4 и плоская пластина 8, фрагмента секции упругих гребенчатых пластин 3, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой. Для наглядности на рис. 9 и 10 приведены объемные изображения гребенчатого ДШ.

ДШ гребенчатого или модульно-гребенчатого типа, перекрываемый с противоположных сторон односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1,

или включающий еще и двусторонне направленные гребенчатые пальцы (как минимум, одну гребенчатую плиту с двусторонне направленными пальцами) 2, между которыми расположены упругие гребенчатые пластины 3, имеющие ступенчатую (в устройстве ДШ с односторонне направленными гребенчатыми пальцами 1) или двусторонне симметрично-ступенчатую (в устройстве ДШ с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 2) форму, с целью жесткого закрепления нижних частей 4, упругих гребенчатых пластин 3, между крайней несущей балкой 5 и односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1, или между промежуточной несущей балкой 6 и двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с двусторонне направленными пальцами) 2, при помощи уже установленного болтового соединения 7. Упругие гребенчатые пластины 3 объединены в секции, при помощи плоской пластины 8, включающей нижние части 4, упругих гребенчатых пластин 3. При любом эксплуатационном раскрытии ДШ незакрепленная часть упругих гребенчатых пластин 3 всегда перекрывается противоположно лежащими и, тем самым, закрывая щели между противоположно лежащими и соседними односторонне направленными гребенчатыми пальцами 1 и (или) двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 2.

Упругие гребенчатые пластины 3, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой, могут иметь единую или составную форму, относительно центральной оси симметрии, в зависимости от конкретных условий применения.

Ширина упругих гребенчатых пластин 3 должна быть равна ширине между соседними односторонне направленными пальцами 1, или между соседними двусторонне направленными пальцами 2, в самом узком месте – в местах их соединения с крайней несущей балкой 5, или с промежуточной несущей балкой 6, или у основания гребенчатой плиты с односторонне направленными пальцами 1, или с двусторонне направленными пальцами 2. Длина упругих гребенчатых пластин 3 должна незначительно превышать длину односторонне направленного гребенчатого пальца 1 (двусторонне направленного гребенчатого пальца 2), с целью их зацепления, при максимальном раскрытии ДШ. Толщина упругих гребенчатых пластин 3 определяется упругими свойствами материала и расчетными нагрузками, которые они должны выдерживать в течение расчетного срока эксплуатации.

Для увеличения жесткости упругих гребенчатых пластин 3 их толщина может быть увеличена и за счет увеличения количества слоев, при помощи установки секций упругих гребенчатых пластин 3 одной на другую. Изготавливаться секция упругих гребенчатых пластин 3 из пружинной стали может методом гильотинного разрезания и холодного профилирования, или холодной штамповки, с вырезом и изгибом, по проекту.

Научная новизна технического решения заключается в том, что:

1. Впервые, помимо основной функции, обеспечения безопасного движения велосипедного транспорта, конструкция обеспечивает защиту от проникновения под ДШ снега, льда, мусора, гравия и щебня, с проезжей части моста, тем самым, предотвращая смерзание и повреждение гребенчатых пальцев, неравномерное раскрытие модулей, возможные разрывы ленточного компенсатора, или его выдавливание из пазов несущих балок. Предотвращение смерзания и повреждения гребенчатых пальцев ДШ обусловлено еще и тем, что мостовое сооружение всегда находится под действием изменяющихся временных динамических нагрузок, температурных изменений и других воздействий, вызывающих деформацию пролетных строений, изменение их размеров, смещения и повороты в различных направлениях, которые в совокупности передаются и на упругие гребенчатые пластины, вызывая их колебания (вибрацию), что и будет препятствовать кристаллизации влаги при отрицательных температурах, и вызывать разрушение льда, попавшего на ДШ с проезжей части. В связи с этим,

2. целесообразно применение конструкции по всей длине ДШ, под основной поток транспортных средств, без снижения безопасности проезда, так как болтовая схема, при этом, не изменяется. К тому же, обеспечивая требования по безопасности, для проезда велосипедистов, с помощью упругих гребенчатых пластин, по всей длине гребенчатого ДШ,

3. целесообразно пересмотреть нормы по ограничению максимального расстояния между гребенчатыми пальцами, обеспечивая необходимую жесткость развитием их вертикального сечения, и, тем самым, существенно повысить функциональность ДШ по восприятию поперечных смещений и поворотов в плане пролетных строений.

4. Благодаря увеличенному зазору, между соседними гребенчатыми пальцами, можно полностью исключить возможность их смерзания и повреждения, проектируя необходимый зазор между ними не только для предельно-допустимых, но и для критических перемещений и поворотов пролетных строений.

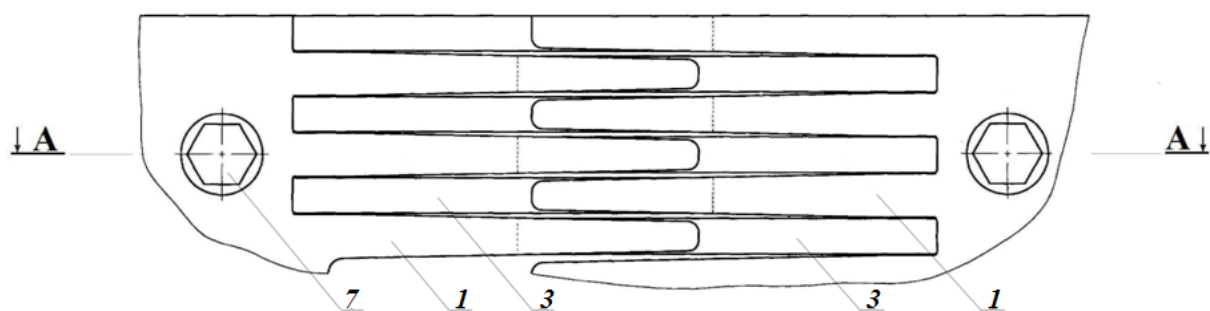


Рисунок 1 - Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (план)

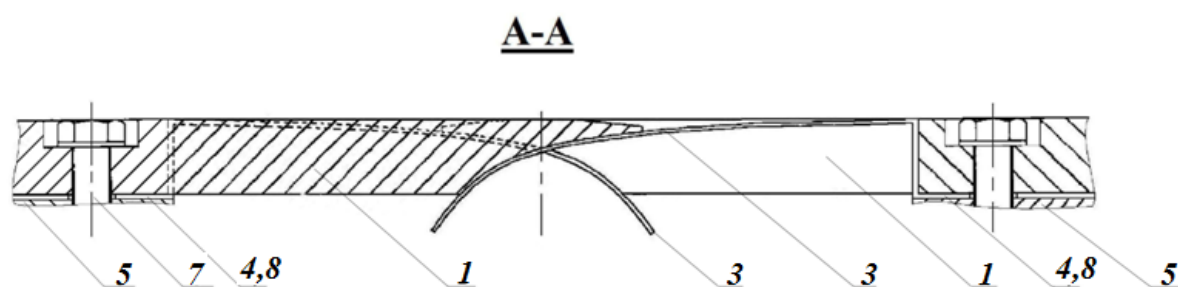


Рисунок 2 - Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (продольный профиль, в разрезе)

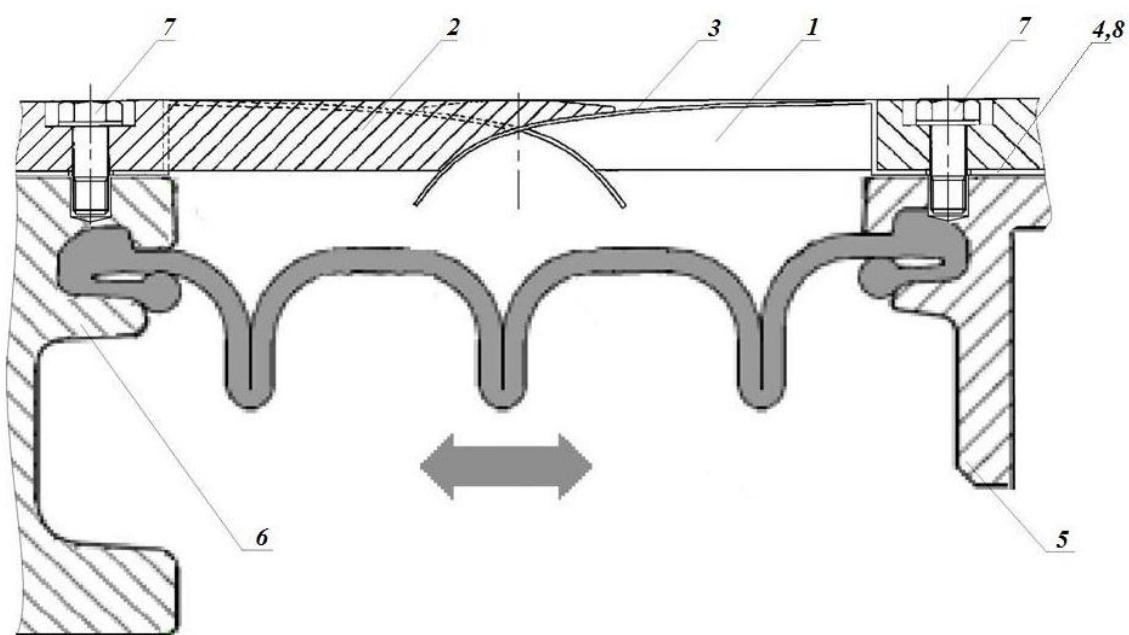


Рисунок 3 - Фрагмент секции модульно-гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (продольный профиль, в разрезе)

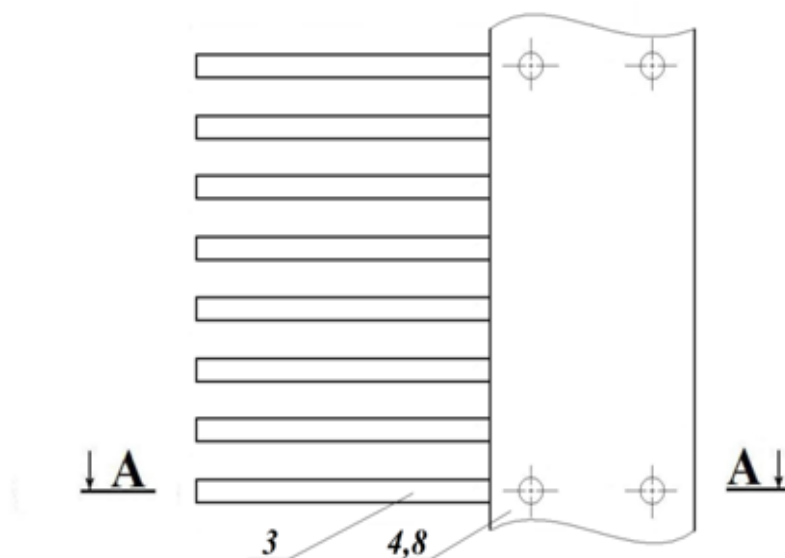


Рисунок 4 - Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, со ступенчатой формой (план)

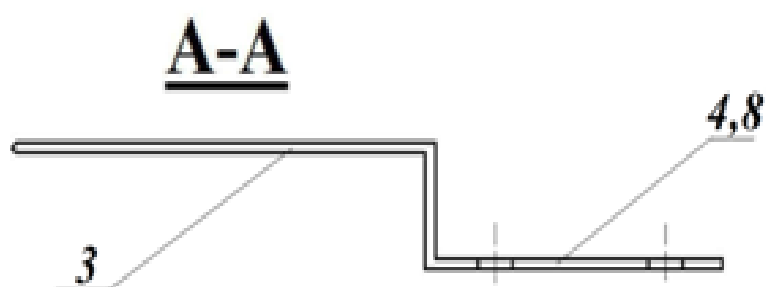


Рисунок 5 - Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, со ступенчатой формой (продольный профиль, в разрезе)

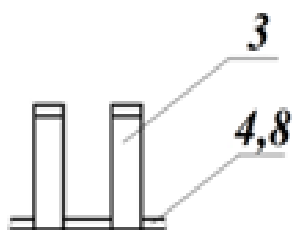


Рисунок 6 - Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин (поперечный профиль)

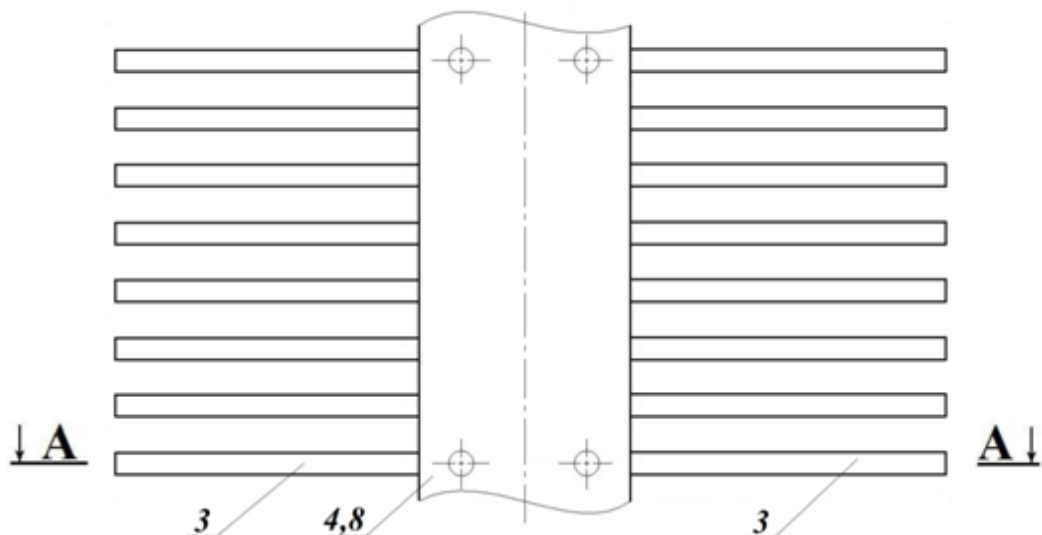


Рисунок 7 - Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой (план)

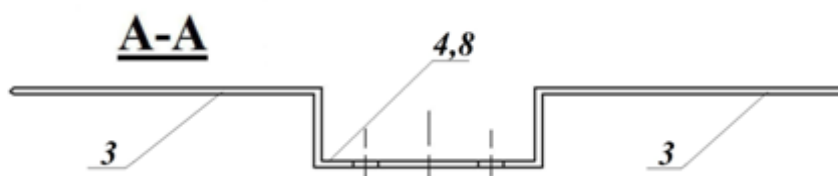


Рисунок 8 - Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой (продольный профиль, в разрезе)

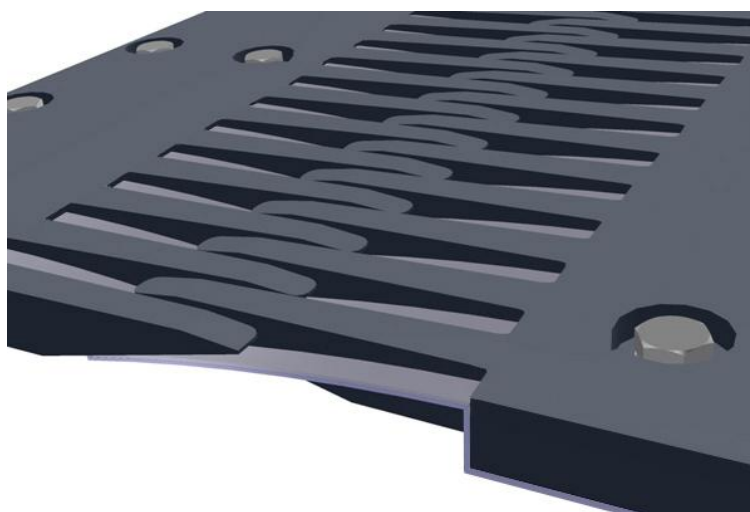


Рисунок 9 - Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (3D)



Рисунок 10 - Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (3D)

Литература

1. Ramberger G. Structural bearings and expansion joints for bridges. Structural Engineering Documents 6 / G. Ramberger. – Switzerland, Zurich: IABSE, 2002. – P. 51-89.
2. Bridge Engineering Handbook. Chapter 25. Expansion Joints / R.J. Dornis; Ed. by W.-F. Chen, L. Duan. – USA, Florida, Boca Raton: CRC Press, 2000. – P. 25-1 – 25-14.
3. Шестериков В.И. Определение перемещений концов пролётных строений при проектировании автодорожных мостов / В.И. Шестериков / Тр. ГП Росдорнии, НИЦ «Мосты», ОАО ЦНИИС. – М.: Инфрмавтодор, 2002. – Вып. 12. – С. 25-55.
4. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов: монография / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов и др. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. – 214 с.
5. Заявка 2011108903 Российская Федерация, МПК⁷ E01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 09.03.2011; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20 – 11 с.
6. Межд. заявка PCT/RU2011/000269, МПК⁷ E01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 31.01.2011; опубл. 13.10.2011 в Бюл. МБ ВОИС, публ. № WO 2011126413 – 21 с.

Телегин М.А.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБЧАТОГО ПРОДОЛЬНОГО РЕБРА СТАЛЬНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ В ЗОНЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКОЙ

Аннотация. Приведены результаты расчетов напряженного состояния коробчатого продольного ребра стальной ортотропной плиты в зоне пересечения с поперечной балкой.

Ключевые слова: мост, ортотропная плита, продольное ребро, напряженное состояние.

Анотація. Наведені результати розрахунків напруженого стану коробчатого поздовжнього ребра сталевій ортотропній плиті в зоні перетину з поперечною балкою.

Ключові слова: міст, ортотропної плити, поздовжнє ребро, напружений стан.

Annotation. The calculation results of the stress state of the longitudinal edges of box steel orthotropic plate in the area of the intersection with the cross bar.

Key words: bridge, orthotropic plate, longitudinal rib stress.

Методика расчета продольных ребер ортотропной плиты согласно [1] основана на использовании первой теории прочности или теории максимальных нормальных напряжений:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{don}.$$

Оценивая напряженное состояние среднего сечения продольного ребра, можно отметить справедливость данного подхода, так как в нижней фибре ребра, где возникают максимальные продольные нормальные напряжения, поперечные (вертикальные) нормальные напряжения, как и касательные стремятся к нулю. Вместе с тем оценка работы опорного сечения продольного ребра позволяет предположить, что напряженное состояние данного сечения более сложное и применение первой теории прочности может быть не совсем корректным.

Для корректной оценки работы данного сечения необходимо использование конечно-элементной расчетной схемы с более детальной разбивкой в зоне пересечения ребра и поперечной балки (рисунок 1). При расположении колес подвижной нагрузки соосно расчетному продольному ребру были получены эпюры нормальных и касательных напряжений в зоне выреза в стенке поперечной балки (рисунок 2-4).

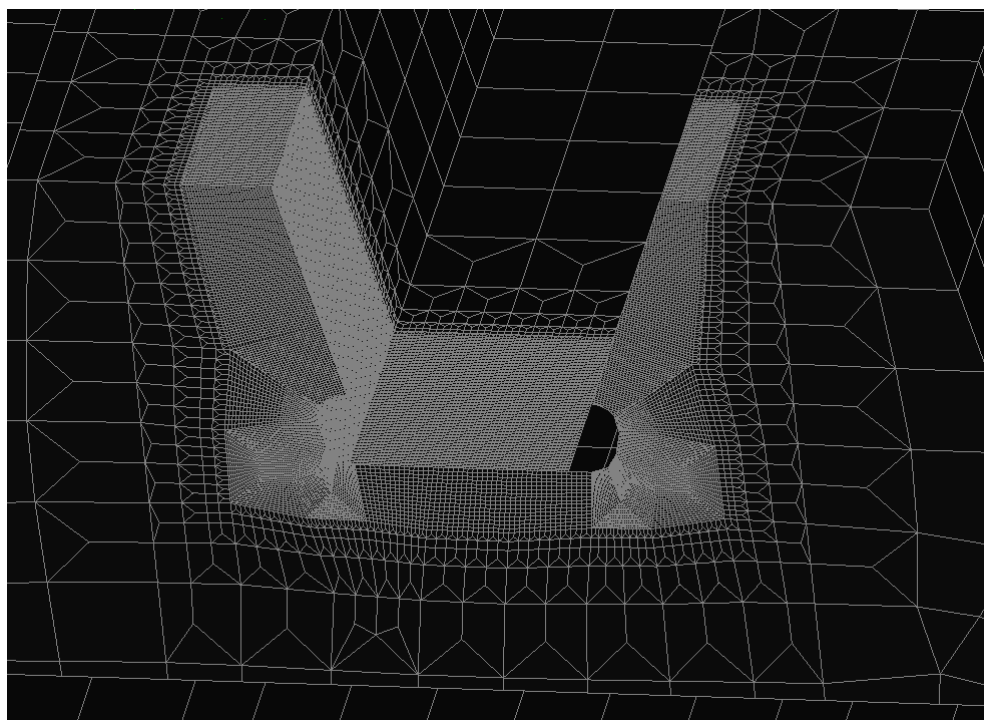


Рисунок 1 - Фрагмент расчетной схемы с коробчатыми продольными ребрами

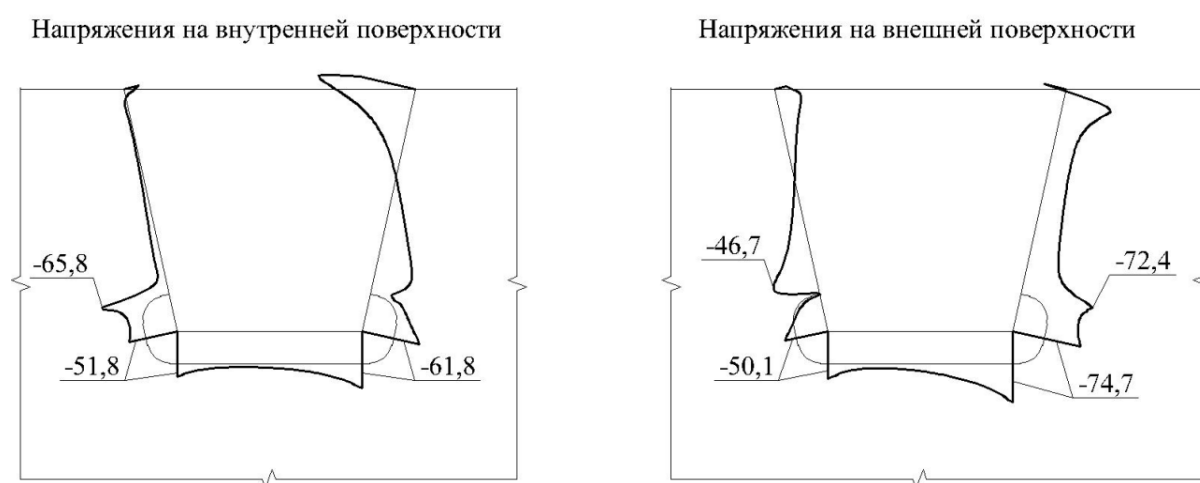
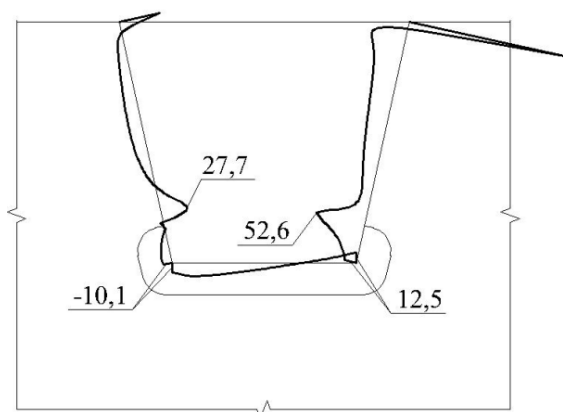


Рисунок 2 - Продольные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

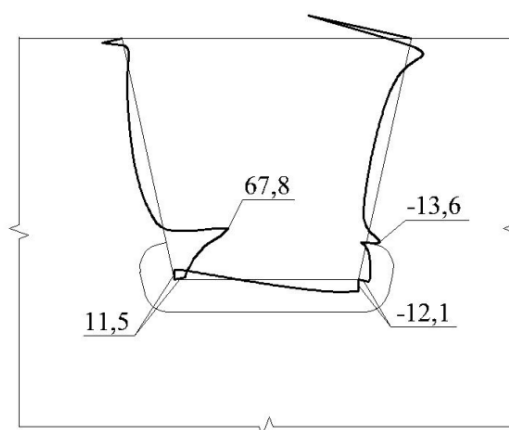
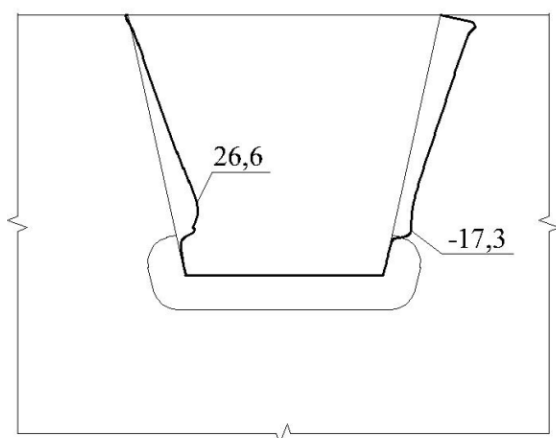


Рисунок 3 - Поперечные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

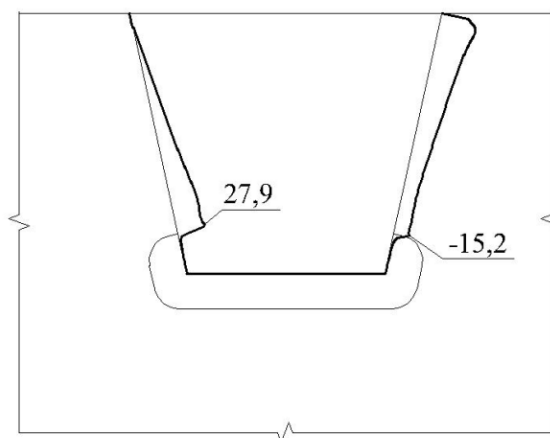


Рисунок 4 - Касательные напряжения по контуру ребра, МПа

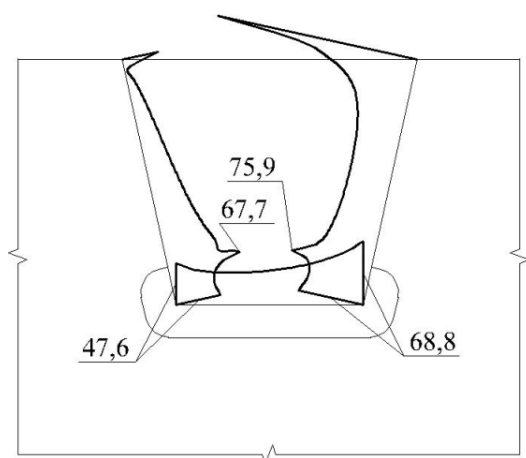
Учитывая, что опорное сечение продольного ребра рассчитывается в зоне положительных моментов главных балок (когда ортотропная плита сжата), растягивающие напряжения, возникающие в верхней части стенок ребра, во внимание не принимались. Рассматривая напряжения в нижней половине ребра, можно сделать вывод о том, что наибольшие напряжения (как нормальные, так и касательные) возникают как в зоне окончания выкружки в стенке поперечной балки, так и в нижней фибре ребра. Также необходимо отметить, что величина поперечных (вертикальных) нормальных напряжений в коробчатом ребре превысила величину продольных нормальных напряжений. Данный эффект был также получен экспериментальным путем и отмечен в работе [2]. Учитывая этот факт, можно предположить, что в данном случае применение теории прочности, учитывающей несколько компонентов напряженного состояния, позволит более качественно оценить работу данного сечения ребра. Учитывая,

что металл одинаково работает на сжатие - растяжение, наиболее подходящей является IV теория прочности – энергетическая. Формула определения эквивалентных напряжений по энергетической теории прочности имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

По данной формуле были получены эквивалентные напряжения и построены эпюры (рисунок 5).

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

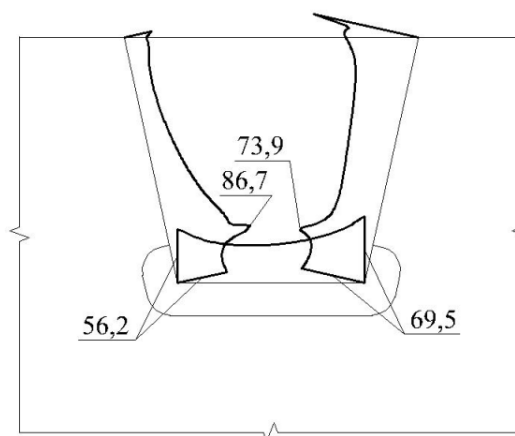


Рисунок 5 - Эквивалентные напряжения по контуру ребра, МПа

Максимальные эквивалентные напряжения находятся в зоне окончания выкружки в стенке поперечной балки и превышают (на 16%) продольные нормальные напряжения, возникающие в поясе ребра. При этом максимальные напряжения были получены на внешней поверхности ребра со стороны продольной оси моста.

Таким образом, расчет опорного сечения коробчатого продольного ребра необходимо производить по эквивалентным напряжениям, определенным, к примеру, по IV теории прочности.

Учитывая, что при получении эквивалентных напряжений учитываются все типы нормальных и касательных напряжений, необходим поиск наиболее невыгодного положения временной нагрузки для данного сечения ребра. В результате произведенных расчетов было получено такое положение (рисунок 6), а также были построены эпюры напряжений при данном нагружении (рисунок 7-10).

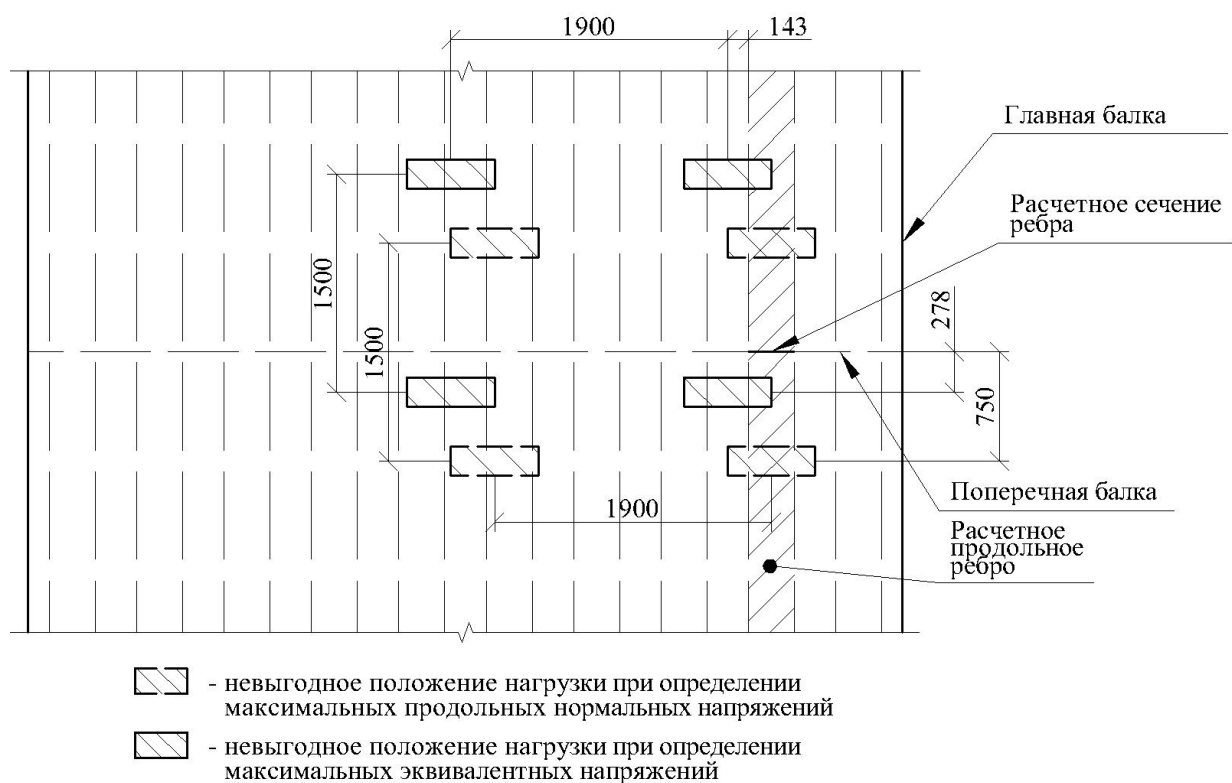


Рисунок 6 - Наиболее невыгодные положения колесной нагрузки при расчете опорного сечения ребра

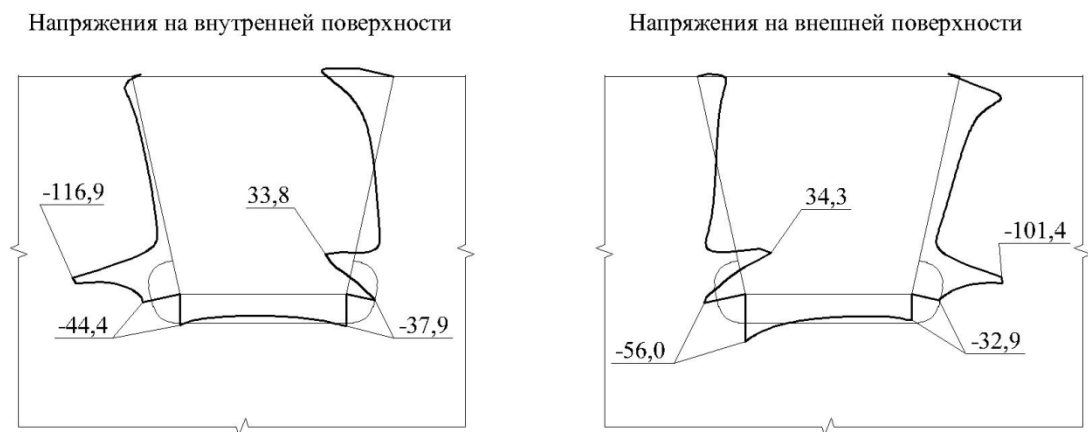


Рисунок 7 - Продольные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

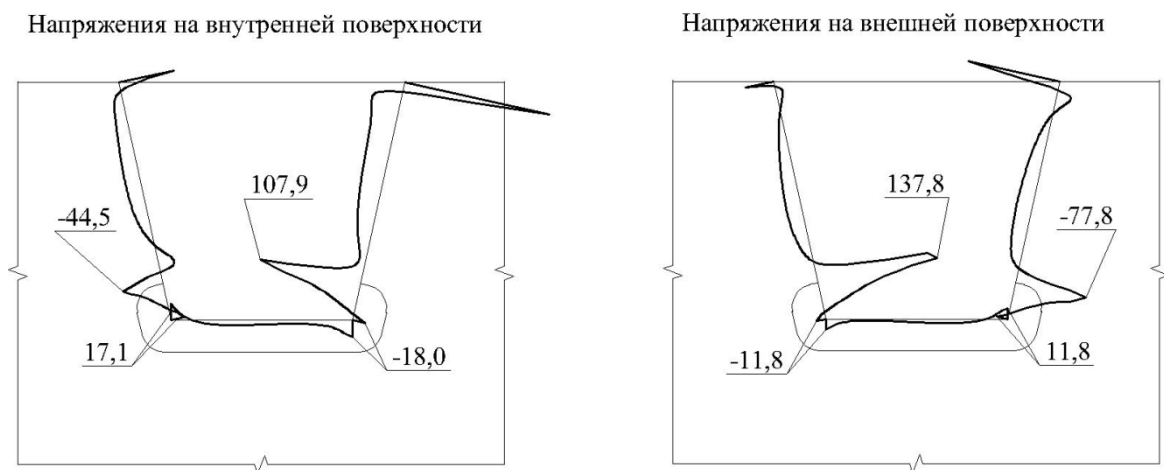
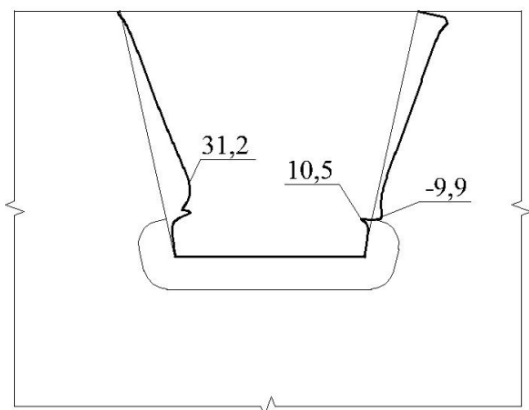


Рисунок 8 - Поперечные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

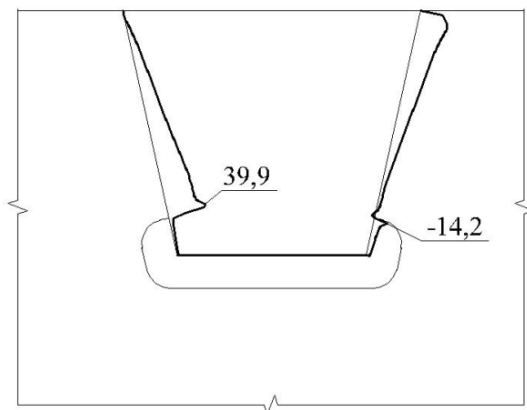
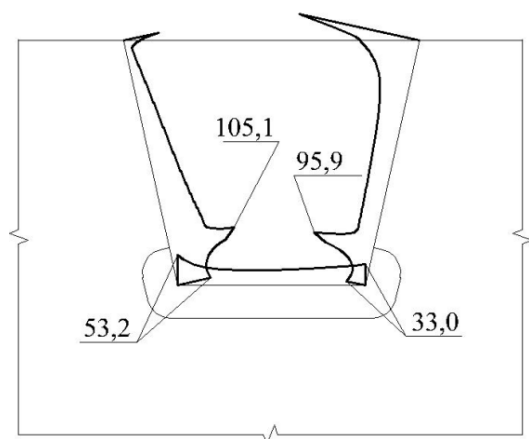


Рисунок 9 - Касательные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

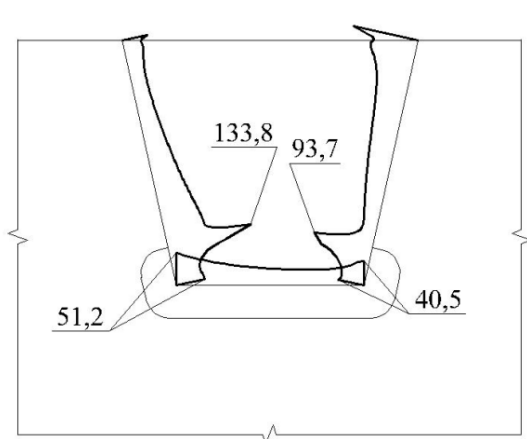


Рисунок 10 - Эквивалентные напряжения по контуру ребра, МПа

При смещении нагрузки в более невыгодное положение эквивалентные напряжения увеличились со 86,7 МПа до 133,8 МПа (на 54%). При этом наибольшее влияние при этом нагружении оказали поперечные нормальные напряжения (137,8 МПа).

Таким образом, при анализе работы опорного сечения коробчатого продольного ребра необходим расчет по теории прочности, учитывающей все компоненты напряженного состояния, которые могут быть получены с помощью пространственных расчетных схем.

Литература

1. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». – М., 2011.
2. W. De Corte, C. Delesie and Ph. Van Bogaert «Examination of local stresses in relation to fatigue failure at the rib to floorbeam joint of orthotropic plated bridge decks». Bridge Structures. – 2007. – Vol. 3. – Issue 3&4. – P. 183-191.

УДК 624.21:001.891

Овчинников И.И., д-р техн. наук, Козлачков С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

Исследование и техническое решение посвящено конструкциям деформационных швов (ДШ), используемых в мостостроении, для компенсации средних и значительных эксплуатационных линейных, а также объемных перемещений между смежными пролетными строениями или между пролетным строением и устоем моста. Обзор и анализ конструктивных особенностей этих типов ДШ, их преимущества и недостатки, на основе опыта их эксплуатации, показали необходимость разработки конструкций, удовлетворяющих современным требованиям, предъявляемым к ДШ.

Автомобильные мостовые сооружения призваны служить для преодоления транспортом и пешеходами различных препятствий: водных преград, участков со сложным рельефом, других транспортных путей. Однако сами мостовые сооружения в настоящее время редко могут быть построены без устройства разрывов основных несущих конструкций по длине. Эти устройства были названы деформационными швами (ДШ).

Исследованием [1] было установлено, что неисправности ДШ могут приводить к существенным повреждениям конструкций моста: пролетных строений, опор, опорных частей, подферменников, фундаментов опор, мостового полотна – словом, всех основных элементов мостового сооружения. Кроме того, от состояния ДШ непосредственно зависит степень безопасности движения по мосту, как транспорта, так и пешеходов. Все это привело к тому, что за рубежом достаточно давно ДШ стали проектироваться на основании тщательно проработанных и научно обоснованных методов расчета, а изготавливаться с жесткими допусками из качественных и долговечных материалов, отвечающих самым высоким требованиям по прочности и выносливости. Не случайно выпуск наиболее совершенных в техническом плане ДШ был освоен зарубежными фирмами, основной специализацией которых было производство машиностроительной продукции, а не

строительных конструкций и изделий. По сложности конструкции, характеру работы и специфике изготовления современные ДШ мостовых сооружений (особенно средних и больших перемещений) относятся больше к механизмам, нежели к известным строительным конструкциям.

Анализ отечественных и зарубежных конструкций ДШ, используемых на средние и большие перемещения, на основе опыта их применения и предъявляемых к ним современных требований, по обеспечению необходимого уровня безопасности и комфорта позволил сделать вывод о том, что исследуемые конструкции не обеспечивают выполнение этих требований, в полной мере. В определенной степени эту проблему, некоторые зарубежные производители ДШ, пытаются решить при помощи комбинации в одной конструкции ДШ элементов различного типа ДШ, одни из которых в большей степени обеспечивают требования по уровню безопасности (модульные конструкции), а другие – по уровню комфорта (шумопоглощающие, зубчатые пластины). Но, т.к. пластины не имеют достаточной величины сопротивления транспортной нагрузке, их длина ограничена, и, следовательно, количество поперечных разрывов поверхности ДШ остается прежней, что незначительно снижает шумовую эмиссию из-за высоких импульсных силовых воздействий и вибрации от колеса автомобиля, вызванных сегментным устройством конструкции проезжей поверхности модульного ДШ.

Целью исследования является установление и устранение причин недостатков, свойственных конструкциям ДШ, применяемых на средних и больших перемещениях.

Из опыта применения известно, что на средние и большие перемещения, не смотря на учет всевозможных факторов, влияющих на пространственное перемещение пролетных строений и, в соответствие с этим, выбор оптимальной конструкции ДШ из ныне существующих, он не свободен от недостатков, которые проявляются при эксплуатации, и не в полной мере соответствует современным требованиям по безопасности и комфорту, предъявляемым сегодня к ДШ. Это и понятно: чем больше продольное перемещение, тем сложнее обеспечить восприятие и других, возрастающих, пространственных перемещений. Зачем же тогда проектировать средние и большие разрывы между пролетными строениями (устоем), не проще ли изменить схему моста на разрезную, увеличив количество разрывов (ДШ), но уменьшив длину отдельного перемещения? Во-первых, это не всегда оправдано, прежде всего, из соображений экономической целесообразности и эффективности ведения строительных работ. Во-вторых, это не всегда оправдано, исходя из

предъявляемых современных требований по уровню комфорта и безопасности к мосту, в целом: желательно, чтобы один ДШ собирал и воспринимал все перемещения моста, не зависимо от его длины, удовлетворяя, в тоже время, предъявляемым современным требованиям по уровню комфорта и безопасности. Таким образом, приоритет современных требований к мосту, в целом, является определяющим по отношению к ДШ. Тенденция к схеме моста очевидна, а ее реализация обеспечивается лишь наличием (или отсутствием) конструкции ДШ, которая должна удовлетворять предъявляемым современным требованиям по уровню комфорта и безопасности, для определенного мостового сооружения. Следовательно, задачей удовлетворения предъявляемых современных требований к мостовому сооружению, в целом, и к ДШ, в частности, является разработка такой конструкции ДШ, которая была бы способна обеспечить положительный результат по предъявляемым требованиям для мостового сооружения любой длины.

Противоречие решений одной задачи для моста и его ДШ, в вопросе обеспечения удовлетворения предъявляемых современных требований, наводит на мысль о создании, для этой цели, конструкции ДШ с комбинацией различных типов конструкций ДШ, применяемых в схожих обстоятельствах, конкурирующих между собой, и обладающих различными достоинствами и недостатками. Имеются в виду ДШ модульного и гребенчатого типа. К тому же, любопытно, что, в данном случае, различие проявляется в полной противоположности их достоинств и недостатков: достоинства одних являются недостатками других, и наоборот. Можно предположить, что единство противоположностей в комбинированной конструкции ДШ позволит устранить недостатки, свойственные конструкции каждого из этих типов ДШ, в отдельности, и интегрировать их достоинства.

Известны конструкции модульных ДШ, например, Swivel-Joist (MaurerSöhne), которые способны воспринимать значительные линейные и угловые перемещения в плане. Так, при линейных продольных перемещениях ДШ стандартного исполнения 1200 мм поперечные перемещения достигают ± 600 мм. ДШ может воспринимать также вертикальные перемещения пролетных строений относительно друг друга до ± 45 мм. В случае необходимости, ДШ такой конструкции могут создаваться и на большие перемещения. Верхний предел линейных продольных перемещений для модульных ДШ в настоящее время ограничен лишь максимальной величиной перемещений пролетных строений существующих мостов. Таким образом, конструкциями модульных ДШ предельные перемещения пока не

ограничиваются, и для построенных по такому принципу ДШ предельные перемещения достигают 2500 мм и более.

Существенными недостатками этих конструкций является высокая шумовая эмиссия, высокие импульсные силовые воздействия и вибрация, передающиеся на конструкцию пролетных строений и устоев, в окрестностях ДШ, в особенности на места примыкания к ДШ дорожного покрытия, что часто приводит к разрушению обоих, делая небезопасным проезд, а также на подвеску автотранспорта, преждевременно изнашивая ее и создавая не комфортные условия для пассажиров, под воздействием ударной нагрузки от передачи вертикального ускорения шине автомобиля, при его проезде через значительно раскрытый ДШ, из-за поперечных к направлению движения неровностей, обусловленных конструкцией сегментного устройства проезжей поверхности модульного ДШ.

Известны конструкции модульных ДШ в которых эти недостатки частично устранены, (патент WO 02068760 (A1), 06.09.2002), например, благодаря приваренным сверху ромбовидным пластинкам (система GOMaurerSöhne), а также повернутым в плане прямоугольным и другим конфигурациям зубчатых (гребенчатых) и синусоидальных пластинкам (патент WO 0227102 (A1), 04.04.2002). Особенность этих зубчатых (гребенчатых) пластинок заключается в длине консоли, незначительно превышающей ширину промежуточной несущей балки, и тем самым, незначительно снижающей величину расхождения шва, между пластинками.

Недостатком этих конструкций является физическое ограничение длины консоли пределом жесткости зубчатой (гребенчатой) пластины, (горизонтально расположенной под действие вертикальных нагрузок), находящихся между собой в прямо пропорциональной зависимости, что и препятствует существенному снижению длины и количеству продольных разрывов дорожного покрытия ДШ, определяющих уровень звуковых и механических вибраций.

Известен также ДШ гребенчатого типа, перекрываемый с противоположных сторон консольными односторонне направленными пальцами гребенчатых плит (патент EP1359254(A2), 05.11.2003, REISNER & WOLFF ENGINEERING). Продольный профиль гребенчатого пальца этого ДШ представляет собой консольную балку в миниатюре, обычно с увеличением сечения к основанию, способной сопротивляться значительным вертикальным нагрузкам. Благодаря этим прочностным свойствам и своей конструкции, позволяющей практически исключить продольные разрывы поверхности ДШ,

при эксплуатации гребенчатых ДШ было выявлено, что при соблюдении всех эксплуатационных процедур, они обеспечивают комфортные условия проезда, т.к. обладают высокой жесткостью плит, и непрерывной, ровной поверхностью проезда (при малых вертикальных перемещениях), поэтому и шумовая эмиссия в уровне проезжей части у них самая низкая (ниже чем по асфальтовому или бетонному дорожному покрытию).

Недостатком ДШ гребенчатого типа, с консольными гребенчатыми плитами в частности, является то, что они плохо воспринимают любые перемещения, кроме горизонтально продольных, проявляя чувствительность к перекосам консольных гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости (свыше 10^0), что нередко приводит к их заклиниванию, а также к их вертикальным смещениям друг относительно друга, что нарушает условия проезда и ограничивает перекрываемую ими длину ДШ.

Достоинства этого типа ДШ и отсутствие равноценной альтернативы этим конструкциям, не смотря на их недостатки, предопределили то, что ДШ гребенчатого типа до сих пор широко используются на эксплуатируемых и вновь строящихся мостах во всем мире.

Целью технического решения [2, 3, 4] является увеличение длины ДШ гребенчатого типа, за счет устранения перекосов гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости и их вертикальных смещений.

Технический результат достигается за счет того, что крайние несущие балки, жестко соединенные с односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами), упруго соединены модульными компенсаторами, как минимум, с одной промежуточной несущей балкой, жестко соединенной с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой с двусторонне направленными пальцами).

На рисунках представлены примеры вариантов реализации ДШ модульно-гребенчатого типа с консольными гребенчатыми пальцами. На рис. 1 схематично показан продольный профиль фрагмента ДШ в разрезе, перекрываемого с противоположных сторон односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1, жестко соединенных с крайними несущими балками 2, упруго соединенных модульными компенсаторами 3, как минимум, с одной промежуточной несущей балкой 4, жестко соединенной с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой с двусторонне направленными пальцами) 5.

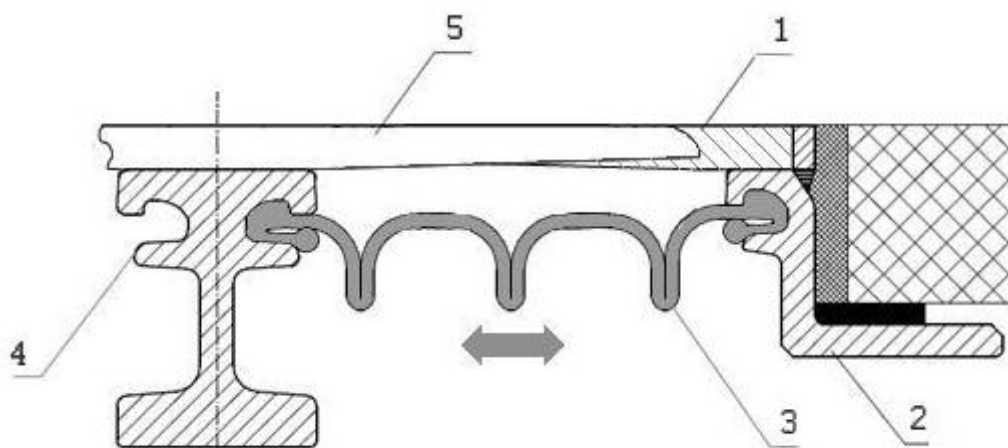


Рисунок 1 - Продольный профиль фрагмента ДШ в разрезе

На рис. 2, 3, 4 изображены фрагменты ДШ в плане, перекрываемого с противоположных сторон гребенчатыми плитами с консольными односторонне направленными пальцами 1, жестко соединенных с крайними несущими балками 2, включающего одну промежуточную несущую балку 4, жестко соединенную с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 5, рис. 2, (с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами 5, рис. 3).

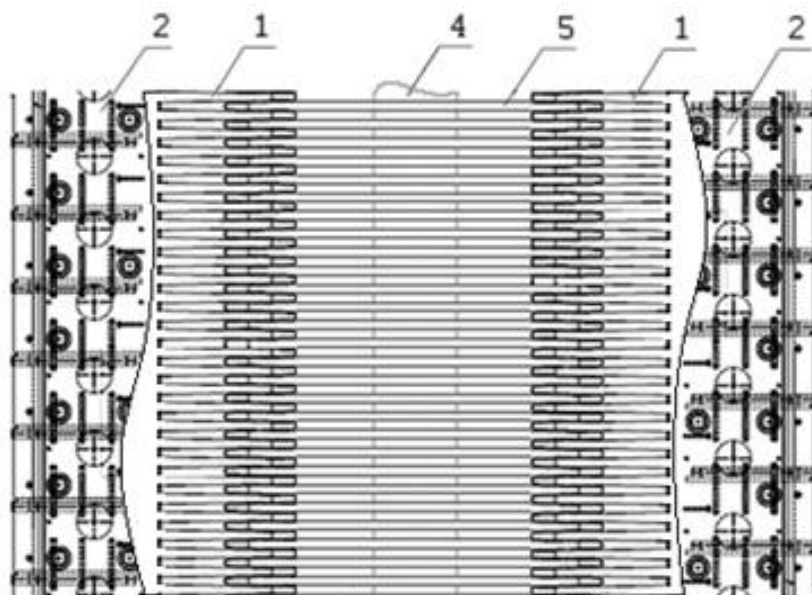


Рисунок 2 - Фрагмент ДШ в плане с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами

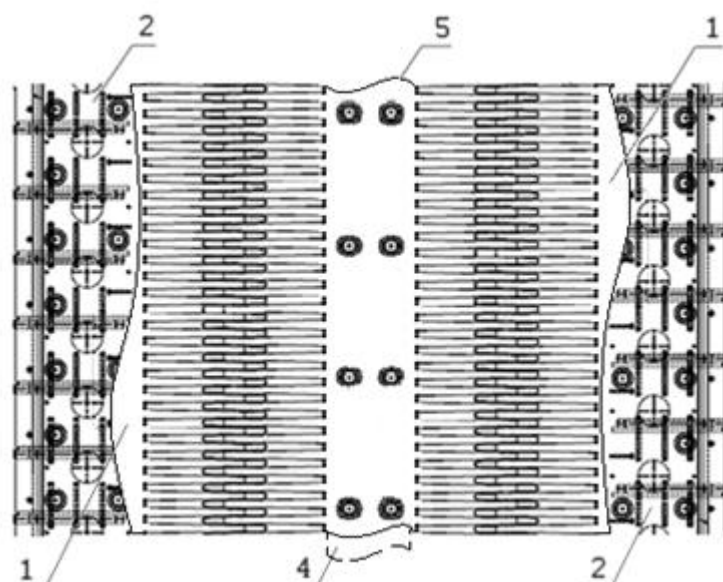


Рисунок 3 - Фрагмент ДШ в плане с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами



Рисунок 4 - Фрагмент ДШ в плане с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами

Опорная балка (траверса), и другие, сопряженные с ней детали и узлы, не показаны, так как ДШ может быть выполнен по различным схемам: по балочно-решетчатой, или с поворотными траверсами, или другим.

Количество промежуточных несущих балок 4, определяется максимальным раскрытием ДШ, необходимого для обеспечения оптимальной величины межбалочного зазора и нормальной работы ДШ, без заклинивания

гребенчатых пальцев и их вертикальных смещений относительно друг друга, при объемной деформации зоны ДШ.

Жесткое соединение промежуточной несущей балки 4, с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 5, рис. 1,2, или с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами 5, рис. 1,3,4 (которое может быть как сварным, рис. 1,2, так и болтовым, рис. 1,3,4), позволяет достичь более широкое, в сравнении ДШ модульного типа, раскрытие зазоров шва, между соседними промежуточными несущими балками 4, или между промежуточными и крайними несущими балками 2 и 4, соединенных модульными компенсаторами 3.

В сравнении с ДШ гребенчатого типа:

1. Достигается основной технический результат - увеличение длины ДШ, за счет устранения перекосов гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости и вертикальных смещений, в результате их объединения, как минимум, с одной с промежуточной несущей балкой модульного ДШ, допускающего эти перекосы, угол (до 50^0 , для горизонтальных углов) которых будет делиться на количество установленных промежуточных несущих балок, плюс одну, и равномерно распределяться между всеми пальцами перекрывающими ДШ. Таким образом, при изменении отметок пролетных строений (устоя), из-за просадки мостовых опор, износа опорных частей, неравномерной усадки бетона в пролетных строениях и устой, из-за тектонических и геофизических изменений и проявлений других воздействий в несколько раз снижается риск заклинивания гребенчатых пальцев и их вертикальных смещений относительно друг друга, что даст возможность дальнейшей эксплуатации ДШ и всего мостового сооружения, без остановки движения транспорта;
2. Отсутствует необходимость в установке на ДШ отдельного водоотводного устройства, в случае применения в модуле упругого ленточного компенсатора изготовленного из материала, стойкого к воздействиям окружающей среды (ультрафиолетовое излучение, озон) и агрессивных соединений, встречающихся на автомобильных дорогах, (соли, минеральные масла и нефтепродукты), герметично связанного с несущими балками, надежно защищая от мусора, песка, мелкого щебня и влаги нижерасположенные детали и элементы мостового строения;
3. Практически, исключается шумовая эмиссия под пролетным строением, в случае применения в модуле упругого ленточного компенсатора, выполненного из материала, как правило, хорошо поглощающего или рассеивающего звук, и герметично связанного с несущими балками;

4. Обеспечивается возможность интеграции швов со всех пролетных строений моста, не зависимо от его протяженности, в одном, максимум, в двух местах (у его устоев), для более безопасного и комфортного движения транспорта по мосту, и снижения на него временной нагрузки.

В сравнении с ДШ модульного типа:

1. Существенно снижается шумовая эмиссия от транспорта при проезде ДШ, в виду, практически, отсутствия продольных разрывов поверхности сочленения гребенчатых пальцев, при любой эксплуатационной величине раскрытия ДШ;
2. Значительно уменьшается количество промежуточных несущих балок (посредством повышения, между ними, максимально допустимой величины зазора до 700 мм и более, ограниченного лишь длиной двустороннего гребенчатого пальца и допустимыми поперечным горизонтальным и вертикальным углами поворота пролетных строений), опорных и других частей и деталей, с ними связанных, что существенно снижает шумовую эмиссию и импульсные динамические нагрузки на ДШ, пролетные строения и движущийся транспорт;
3. Упрощается конструкция, тем самым, достигается снижение затрат на производство, установку, обслуживание и ремонт, а также повышается надежность и, следовательно, безопасность ДШ и мостового сооружения в целом.

Литература

1. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов: монография / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов и др. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. – 214 с.
2. Пат.105309 Российская Федерация, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель и патентообладатель Козлачков С.В. – № 2011103384; приоритет 31.01.2011; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 16 – 11 с.
3. Заявка 2011111460 Российская Федерация, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 25.03.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 22 – 12 с.
4. Межд. заявка PCT/RU2011/000269, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 31.01.2011; опубл. 13.10.2011 в Бюл. МБ ВОИС, публ. № WO 2011126413 – 21 с.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Наиболее эффективным практическим способом ликвидации гололёда (стекловидного льда) на дорожных покрытиях является химический способ (помимо механического и фрикционного), основанный на обработке дорожного покрытия противогололёдными материалами в виде солевых смесей, проводимый с учетом природных условий, наличия техники, оборудования, профилактики образования зимней скользкости, а также состояния дорожного покрытия. Обработка приводит к переводу снежно-ледяных отложений в жидкое состояние, к возможности своевременной очистки дорожного покрытия после химической обработки [1].

Существенным недостатком, образующихся в результате этого, водных растворов хлоридов является их агрессивное воздействие на бордюры, железобетонные элементы мостов и поверхностного водоотвода.

Прежде всего, это объясняется тем, что растущие солевые кристаллы способны оказывать разрывающее давление на стенки пор, в которых они кристаллизуются. Это давление может составлять до 55 МПа и выше, что выше прочности большинства строительных материалов. Гигроскопичная природа многих солей, проявляющаяся в постоянной кристаллизации и повторном растворении, может очень быстро разрушить микроструктуру камня, оказывая высокое давление на стенки его пор.

Но это, оказывается, еще не все. Эти солевые отложения сами по себе характеризуются микропористостью, которая, в сочетании с гигроскопичной природой этих солей, обуславливает адсорбцию воды в этих порах. В случае замерзания этой адсорбированной в солевых отложениях воды, давление на стенки пор многократно усиливается, ускоряя процесс разрушения конструкции. Повторение циклов "замораживание - оттаивание", когда вода, превращаясь в лед и увеличиваясь в объеме, создает давление, приводящая к появлению трещин и разрушению бетона [2].

Строительные же растворы низкой прочности способны разрушаться даже в результате циклического гигроскопического набухания и усадки таких солевых отложений.



Рисунок 1 - Разрушение поверхности цементобетона под воздействием солевого раствора

Следовательно, одним из важных факторов, которые влияют на срок службы дорожных цементобетонов, является надежная их гидроизоляция. При применении хлористых противогололедных материалов дорожные цементобетонные покрытия, бетонные элементы искусственных сооружений, склонные к агрессивному действию этих материалов, следует обработать гидрофобизирующими составами. К ним относятся кремнийорганические соединения - полимеры со сравнительно небольшой (от 500 до 2500) молекулярной массой. Они являются смесями макромолекул линейного и небольшого количества циклического строения.

Эти полимеры термостойки, застывают при достаточно низких температурах, а их вязкость мало изменяется в диапазоне температур от минус 60 °С до плюс 250 °С. Кремнийорганические жидкости хорошо растворимы во многих органических растворителях, но практически не растворимы в воде и спиртах. На них не действуют растворы кислот и щелочи. При нанесении кремнийорганических жидкостей на обрабатываемую поверхность происходит процесс поликонденсации с появлением на поверхности нерастворимой водоотталкивающей пленки (рис.2).

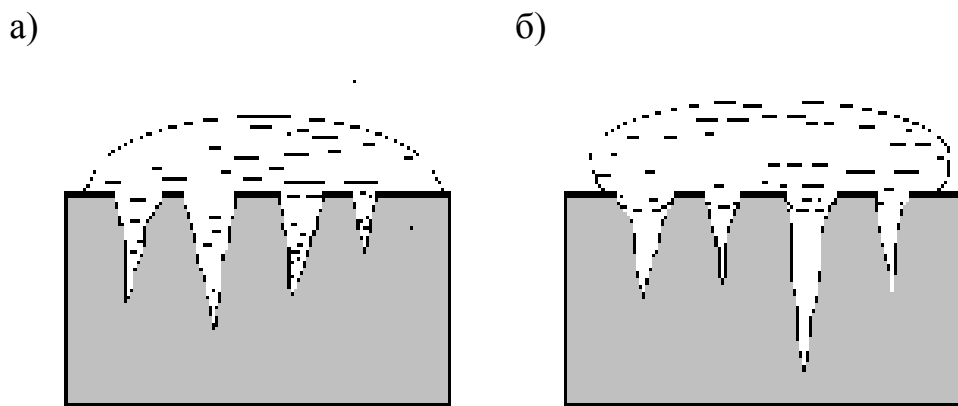


Рисунок 2 - Схема контакта льда с поверхностью покрытия:

- а) до обработки кремнийорганической жидкостью;
- б) после обработки кремнийорганической жидкостью

При поверхностной гидрофобизации растворами кремнийорганических соединений, обладая низкими вязкостью и поверхностным натяжением, глубоко проникают поры материала. Глубина проникания тем больше, чем ниже поверхностное натяжение и вязкость гидрофобизатора и выше пористость материала. Стенки пор и микротрещин покрытия, обработанного гидрофобизатором, в результате поверхностных химических реакций и процессов сорбции обволакиваются тонкой водоотталкивающей пленкой.

На кафедре строительства и эксплуатации дорог ХНАДУ выполнены исследования по комплексному влиянию хлористых противогололедных материалов и циклов замораживания – оттаивания на цементобетон обработанный ГКЖ-11Н. Влияние растворов хлористых противогололедных материалов на цементобетон оценивали по показателям прочности на сжатие и изгиб на образцах – балочках размером $0,04 \times 0,04 \times 0,16$ м после соответствующего количества циклов замораживания-оттаивания в воде и растворах противогололедного материала, в сравнении с показателями прочности образцов к началу испытаний на 28 сутки твердения [3, 4].

После насыщения образцы подвергались циклическому замораживанию – оттаиванию согласно ДСТУ Б. В. 2.7-42-97. Замораживание образцов цементобетона проводилось при температуре минус $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1,5 часов, оттаивания – при плюс 20°C также в течение 1,5 часов. Анализ результатов экспериментальных исследований, приведенный на рис. 3-4, позволяет констатировать следующее.

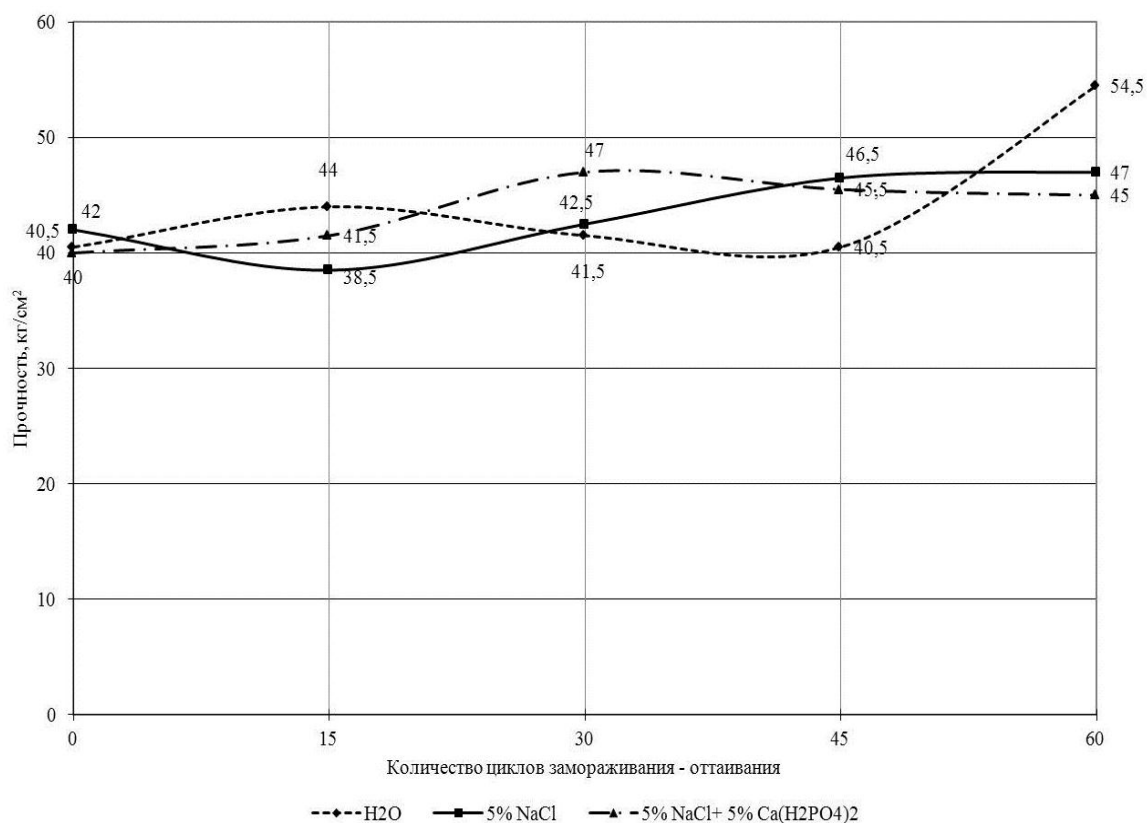


Рисунок 3 - Прочность на растяжение при изгибе цементобетона для строительства дорожных покрытий

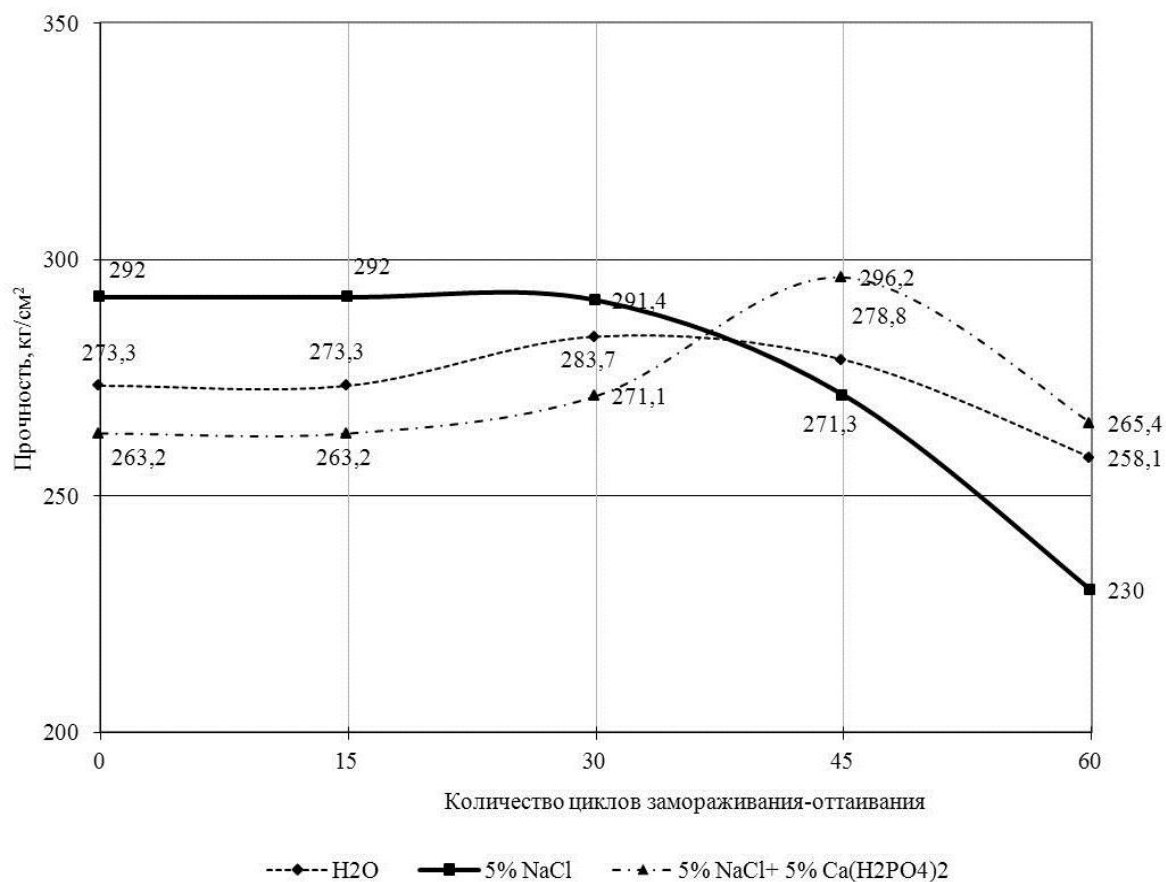


Рисунок 4 - Прочность на сжатие цементобетона для строительства дорожных покрытий

Характер изменения прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов, подвергнутых поверхностной обработке гидрофобизатором, отличается от характера зависимости прочности при сжатии от количества циклов замораживания-оттаивания.

В результате циклического действия знакопеременных температур прочность на растяжение при изгибе растет для бетонов, насыщавшихся в воде и водном растворе технической соли. Для бетона, который насыщался водным раствором $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, прочность не изменяется в течение всего периода испытаний (60 циклов). В то же время, после достижения 45 циклов замораживания-оттаивания в разных средах, прочность бетона на сжатие начинает существенно снижаться. Отличие в характерах зависимостей можно объяснить тем, что в результате гидрофобизации бетона, пропитывающий состав проникает неглубоко, но на достаточную глубину, чтобы способствовать повышению прочности на растяжение. Это объясняет нормируемая схема проведения испытания, согласно, которой наибольшие растягивающие напряжения возникают на поверхности, имеющей большую прочность и защищенную от проникновения водной среды.

В отличие от прочности при растяжении, прочность при сжатии образцов бетона сначала не изменяется, что можно объяснить гидрофобизацией поверхности, которая препятствует проникновению агрессивных сред в бетон. Бетон находится как бы в защитной «обойме». Об этом свидетельствует также постоянство значений прочности для образцов, в первые 45 циклов испытаний. Но, в результате действия знакопеременных температур внутри структуры бетона продолжают накапливаться микродефекты, что приводит, в конечном итоге, к снижению его прочности. Поэтому для составов, обработанных гидрофобизатором, критическими являются 45 циклов замораживания-оттаивания независимо от состава агрессивной среды.

Литература

1. Современные взгляды в Европе по вопросу улучшения методов борьбы со снегом и льдом. «Борьба со снегом и гололедом на транспорте». – М., Транспорт, 1986.
2. Баталин Б., Крафт В. О долговечности дорожных бетонов // Строительство и недвижимость, 2005.
3. ДСТУ Б.В.2.7-43-96. Бетони важкі. Технічні умови.
4. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

УДК 628.33

Высоцкий С.П., д-р техн. наук, **Столярова Н.А.**, канд. техн. наук,
Кузьмина С.В.

ФЛОТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Анотація. У статті розглянуто вплив на ефективність видалення нафтопродуктів з вод за рахунок флотації та оптимізації основних факторів, які впливають на цей процес. Визначено, що найкращим коагулянтном для укрупнення суспендованих часток нафтопродуктів є сульфат алюмінію. Досліджено умови процесу видалення нафтопродуктів з води та визначено оптимальне значення рН при коагуляції з наступною флокуляцією. Запропонована схема споруди для очистки стічних вод.

Ключові слова: нафтопродукти, флотація, очистка, коагулянт, стічні води

Аннотация. В статье рассмотрено влияние на эффективность удаления нефтепродуктов из сточных вод за счет флотации и оптимизации основных факторов, влияющих на этот процесс. Определено, что лучшим коагулянтом для укрупнения взвешенных частиц нефтепродуктов является сульфат алюминия. Исследованы условия процесса удаления нефтепродуктов из воды и определено оптимальное значение рН при коагуляции с последующей флокуляцией. Предложена схема сооружения для очистки сточных вод.

Ключевые слова: нефтепродукты, флотация, очистка, коагулянт, сточные воды

Annotation. The article considers the impact on the efficiency removal of oil from waste water by flotation and optimization of the main factors that influence this process. It was determined that the best coagulant for consolidation suspended particulate petroleum products is aluminum sulfate. The conditions of the process of oil removing from water and the optimal pH at coagulation followed by flocculation is determined. The optimal scheme facilities for wastewater treatment is proposed.

Key words: oil, flotation cleaning, coagulant, wastewater

В современном мире большую роль играют транспортные потоки. Одним из основных типов сырья, который транспортируется морским, железнодорожным и автомобильным видами транспорта являются нефтепродукты. Даже небольшие утечки нефтепродуктов, попадая в различные поверхностные водоемы или на ландшафт могут привести к нарушению равновесия придорожной экосистемы вследствие изменения состояния почвенного покрова и химических свойств почвы. В почве устанавливается новое динамическое состояние, параметры которого значительно отличаются от начальных.

Для очистки воды от нефтепродуктов наиболее широкое распространение получили сооружения, основанные на процессах отстаивания, флотации, коагуляции и сорбции или их комбинации. Несмотря на широкое распространение флотационных и коагуляционных методов отсутствует достаточно полная оценка многих факторов, влияющих на эффективность процесса очистки воды и на затраты, связанные с процессом очистки. Поэтому исследование процессов очистки поверхностного стока с автомобильных дорог от нефтепродуктов является актуальной проблемой на сегодняшний день.

Нефтепродукты могут присутствовать в свободной, диспергированной и эмульсифицированной форме при концентрации до 1000 мг/л. Недиспергированные маслопродукты всплывают на поверхность или покрывают поверхность оборудования. Верхний слой нефтепродуктов в отстойниках удаляется скребковым механизмом или при переливе. Кроме того, неэмульгированные диспергированные нефтепродукты могут быть удалены в гидроциклонах и гравитационных фильтрах. На месторождениях нефти широко используются баки-осадители вследствие того, что они достаточно просты в обслуживании, эксплуатации и имеют низкую стоимость. Если нефтяные капельки малы, эффективность удаления увеличивается за счет применения

добавок коагулянтов и флокулянтов, которые увеличивают размеры частичек масла.

Присутствие поверхностно-активных веществ в исходной воде, приводит к тому, что нефтепродукты находятся в виде эмульсии. Молекулы поверхностно-активных веществ адсорбируются на поверхности жидкостей и изменяют поверхностное натяжение, вызывая его снижение. Адсорбированные поверхностно-активные вещества могут приобретать заряд вследствие потери части молекулярных групп.

Стандартным методом обработки замасленных стоков является применение флотации. При ее использовании снижаются эксплуатационные расходы, сокращается время на процесс очистки, что обеспечивает уменьшение объема очистных сооружений. При сепарации во флотаторах движущей силой является увеличение различия подъемной силы частичек с присоединенными пузырьками воздуха. Для эффективной флотации требуется укрупнение размеров частиц путем увеличения их объема до 60 мкм, что обеспечивает благоприятные условия для адгезии частиц масел к пузырькам воздуха.

Коагуляция нефтесодержащих суспензий улучшает эффективность сепарации как за счет зарядов, так и за счет увеличения размеров. Зарядка модифицированной поверхности частичек масел способствует увеличению их размеров, а увеличение размеров увеличивает вероятность коалисценции между частичками масел и пузырьками воздуха. Механизмы коагуляции и флокуляции снижают энергетический барьер взаимодействия между частичками масел и пузырьков воздуха. Установлено, что основное влияние на эффективность удаления масел может оказывать вероятность взаимодействия между этими частичками. Общая эффективность коагуляции определяется дозой реагента, величиной pH, ионной силой и природой органического соединения.

Целью работы было снижение остаточного содержания масел ниже 50 мг/л с последующим частичным снижением ХПК. Вначале для исследования процесса очистки была использована ячейка с воздушной флотацией за счет растворенного воздуха, однако впоследствии она была заменена на ячейку с принудительной флотацией. Применение принудительной флотации позволило снизить содержание нефтепродуктов до 200 мг/л, что не соответствует требуемому уровню очистки.

По литературным данным [1-3] существует точка зрения, что высокие скорости перемешивания приводят к разрушению образовавшихся хлопьев

коагулянта и нефтепродуктов. Отмечается, что повышение степени турбулентности потока в аппаратах с флотацией за счет растворенного воздуха, а также использования ультрафлокуляции и турбулентной микрофлотации при очистке сточных вод от нефтепродуктов повышает эффективность контактов пузырьков и флоотирующих частичек.

Одним из основных факторов, определяющим эффективность очистки воды является коагуляция частичек нефтепродуктов. Частички масел являются отрицательно заряженными за счет сорбции ПАВ или гидроксильных ионов. При вводе противоположно заряженных частиц нейтрализуется отрицательный заряд частичек масла, что сопровождается их коаисценцией и способствует слипанию скоагулированных частичек масла с негативно заряженными пузырьками воздуха. Частички воздуха в воде можно рассматривать как частицы имеющие отрицательный поверхностный заряд. При использовании таких коагулянтов как сульфаты алюминия и железа большое влияние оказывает значение pH. Длительное время в качестве коагулянта-осадителя рассматривали известь. Однако ее применение ограничено вследствие таких недостатков как увеличение pH и жесткости, низкой емкости по ХПК и получение избыточного количества шлама. Алюминиевые соли являются более эффективным коагулянтом и широко используются в технологии очистки сточных вод. При добавлении к воде сульфата алюминия, последний гидратируется и реагирует с образованием мономеров, полимеров и твердых осадков. Гидрофобные полимеры имеют высокую поверхностную энергию, аморфную структуру и обладают положительным зарядом. Это обеспечивает адсорбцию на негативно заряженных частичках масла и переводит их в нерастворимое состояние. Нейтрализация зарядов приводит к дестабилизации коллоидов. Однако применение сульфата алюминия усложняется тем, что он имеет относительно высокую стоимость. Кроме того, в воде увеличиваются концентрации остаточного алюминия и сульфат-ионов.

Для интенсификации и ускорения роста размеров частиц используют полимерные флокулянты, например полиакриламид (ПАА).

При использовании ПАА образуются большие гидрофобные хлопья благодаря наличию мостиков и перемычек в структуре ПАА. Эффективность флокуляции зависит от типа, молекулярного веса и степени ионизации флокулянта, состава и размера частичек масел, pH и химического состава

раствора. В таблице 1 представлено результаты принудительной флотации и флотации за счет растворенного воздуха.

Таблица 1 – Сравнение условий флотации

Методы создания пузырьков воздуха	Размер частиц	Расход энергии для создания единицы поверхности, Вт/м ² /с	Гидродинамические условия
Рециркуляция 20-50% осветленной воды со смешением с исходной водой	30-90 мкм	высокий	спокойный ламинарный
Аэрация	>1000 мкм	средний	от ламинарного до турбулентного
Генерация пузырьков за счет электролиза	<100 мкм	высокий	ламинарный
Принудительное механическое диспергирование	>1000 мкм	низкий	турбулентный

Принудительная флокуляция часто используется для удаления масла из промышленных сточных вод. Удаленные частички масла имеют размеры более 40 мкм. При принудительной флотации воздухом с химической предочисткой степень очистки более 99%. Преимуществом принудительной флотации воздухом является также возможность удаления гидрофильных веществ. Маленькие пузырьки захватывают зародыши хлопьев. Недостатком этого метода являются маленькие размеры пузырьков. Они имеют низкую гидравлическую нагрузку и низкую всплываемость, которая ограничивает эффективность при высоких расходах обрабатываемой воды. Принудительная флотация имеет ряд преимуществ: время пребывания в аппаратах менее 5 минут, большие размеры пузырьков обеспечивают более компактные системы очистки при условии оптимального процесса предочистки.

Исследование применения в качестве коагулянтов сульфатов алюминия и железа показало следующие результаты.

Эффективность удаления частичек нефтепродуктов существенно зависит от дозы коагулянта. На рис. 1 показана зависимость эффективности удаления

нефтепродуктов от дозы сульфата алюминия, которая может быть аппроксимирована Компертц уравнением.

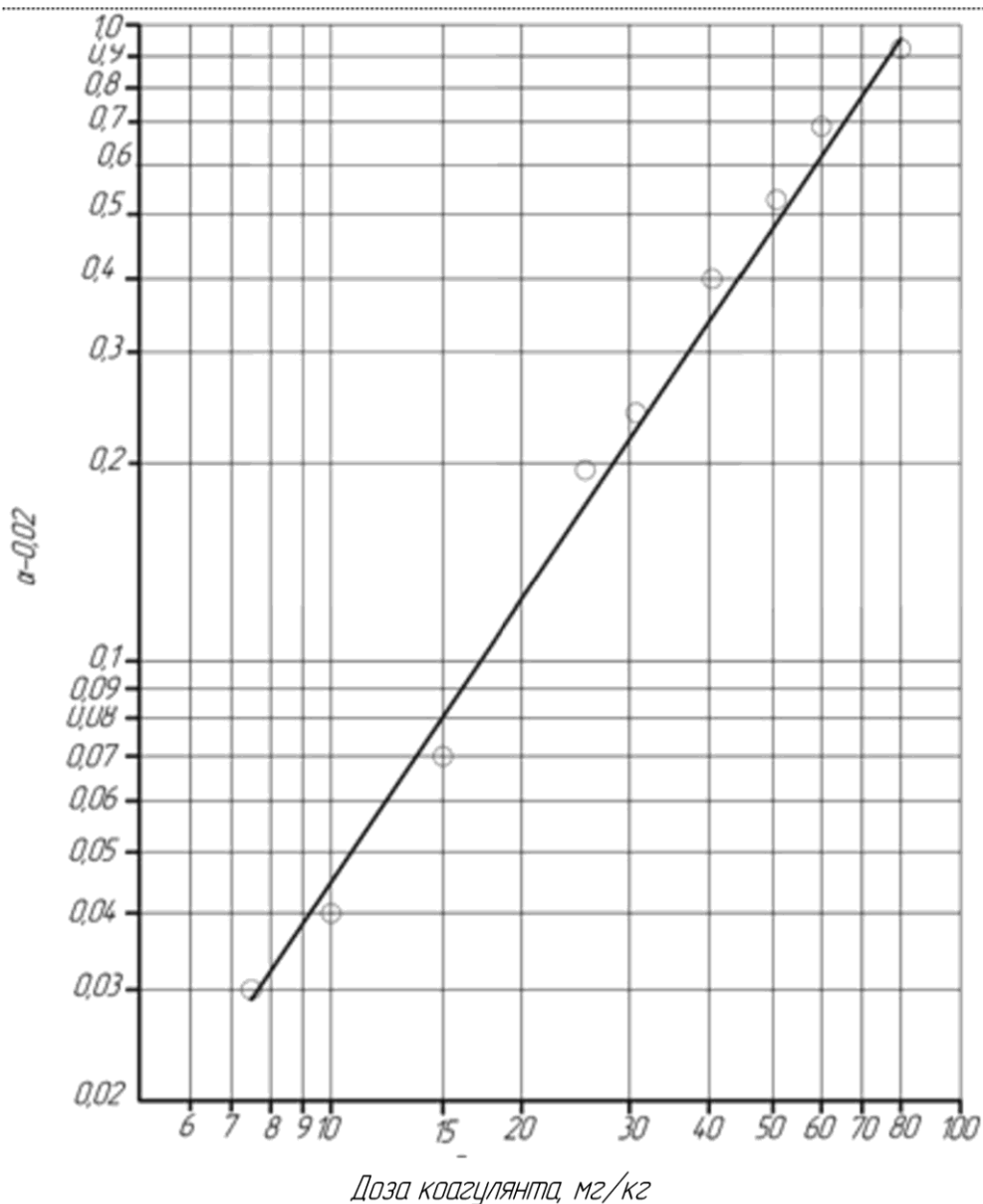


Рисунок 1 – Зависимость эффективности удаления нефтепродуктов от дозы сульфата алюминия

При использовании в качестве коагулянта сульфата железа эффективность удаления нефтепродуктов при рН=8,5 определяется из равенства (кривая рН=8,5).

$$\alpha = \frac{1,14C}{3,41+C}.$$

При повышении и снижении рН больше и меньше 8,5 эффективность удаления нефтепродуктов существенно снижается (рис. 2).

Приведенная зависимость показывает, что процесс удаления нефтепродуктов с использованием сульфата железа хорошо описывается уравнением Вагелера-Ленгмюра.

Учитывая более низкую стоимость сульфата железа по сравнению с сульфатом алюминия в промышленных условиях предпочтительнее использовать для удаления нефтепродуктов этот тип коагулянта.

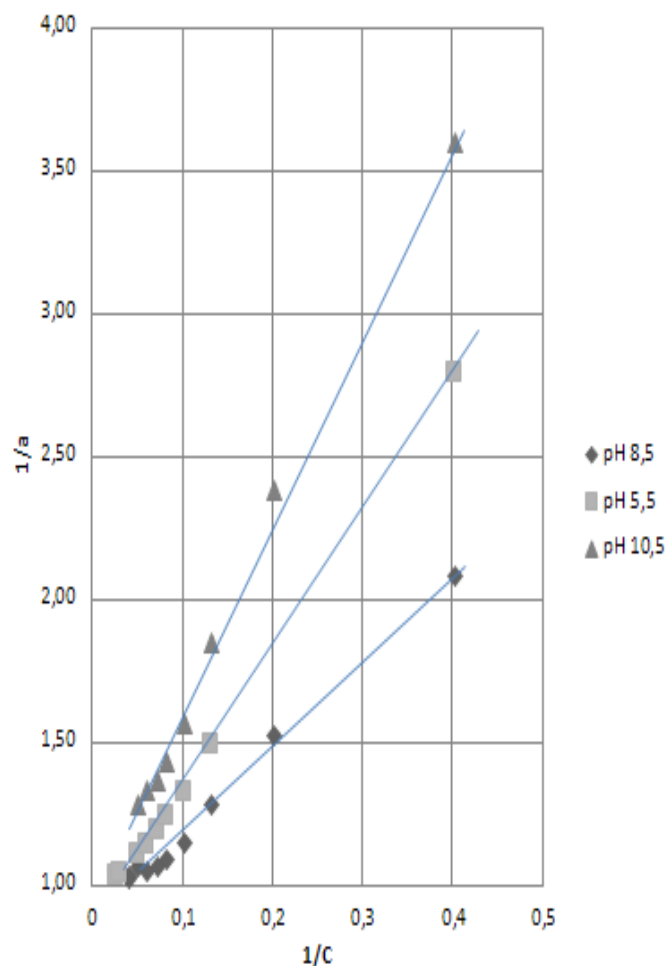


Рисунок 2 – Зависимость степени удаления нефтепродуктов (α) методом коагуляции при изменении дозы сернокислого железа (C) и при изменении pH обрабатываемой воды

Предложено использовать следующую систему оборудования для очистки сточных вод с автомобильных дорог. Сточные воды по коллекторам поступают в пруды-отстойники каскадного типа. Далее очищаемая вода подается в устройство для принудительной флотации. Взаимодействие флокулянта и воздуха под давлением, который создает турбулентные потоки воды, образуют густую пену. Пена с осевшими на ней частичками нефти удаляются сборщиком и позже утилизируются, а очищенная вода поступает в фильтры. Фильтры

обеспечивают доочистку сточных вод от нефтепродуктов до нормативных показателей.

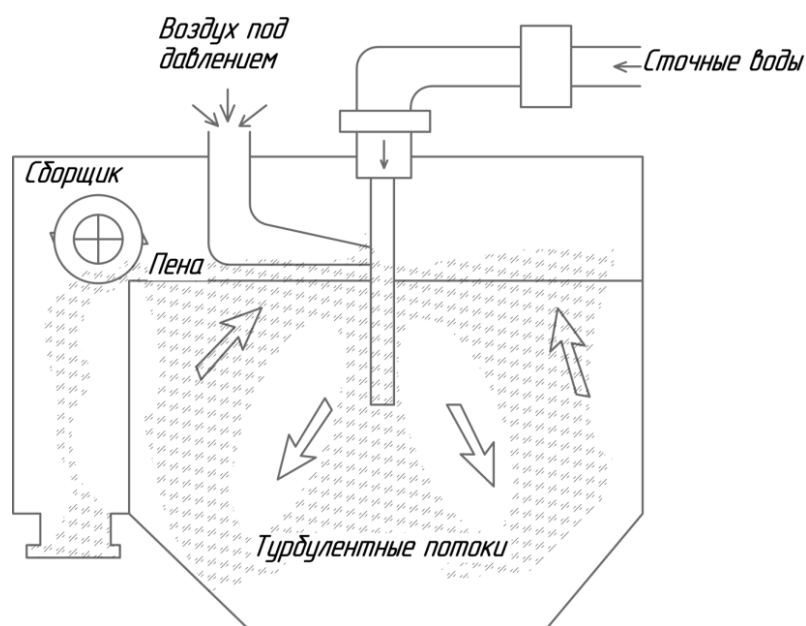


Рисунок 3 – Схема устройства для принудительной флотации

Выводы

1. Приведены характеристики процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов.
2. Для удаления нефтесодержащих загрязнителей обосновано использование коагуляции с последующей флотацией укрупненных частиц загрязнителей.
3. При использовании в качестве коагулянтов сернокислого алюминия и сернокислого железа предлагается использование последнего реагента, однако при этом необходима более точная выдержка pH обработанной воды.
4. Определено влияние основных факторов (pH, типа коагулянта, типа кислоты, используемой для корректировки условий разделения маслопродуктов и загрязненной воды) на эффективность флотации.

Литература

1. Hamza H.A., Stanonic D.J., Kessick M.A. Flotation of lime-treated oil sands tailings. Fuel. – 1995, 75. - P. 280-284.
2. Saint Amand FGS Hydrodynamics of de-inking flotation. Int. J. Miner. Proc., - 1999, 56 (1-4). - P. 277-316.
3. Zouboulis A.I., Avranas A. Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation. Colloids surf., - 2000, 172 (1-2). – P. 153-161.

УДК 625.7.032.32

Кияшко Д.И.

ПУТЬ К КОМФОРТУ И БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. В работе проанализировано нормирование допустимых значений ровности дорожных покрытий. Предложена математическая модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель" используя критерий обеспечения предельного уровня безопасности движения и комфорта движения для водителя и пассажиров. Приведен метод нормирования ровности дорожных покрытий согласно влиянию вибрации, на человека используя методику и нормативные значения вибронагрузки.

Ключевые слова: проезжая часть, ровность, полная модель автомобиля, комфорт езды,общая вибрация.

Анотація. У роботі проаналізовано нормування допустимих значень рівності дорожніх покриттів. Запропонована математична модель взаємодії "дорога-автомобіль-водій" використовуючи критерій дотримання граничного рівня безпеки руху та забезпечення комфорту руху для водія і пасажирів. Наведено метод нормування рівності дорожніх покриттів відповідно за впливом вібрації на людину використовуючи методику та нормативні значення вибронантаження.

Ключові слова: проїзна частина, рівність, повна модель автомобіля, комфорт їзди,загальна вібрація.

Annotation. The regulation of permissible values pavement smoothness are analyzed in the given article. A mathematical model of interaction between "the road-car-driver" using the criteria to respect the level of safety and comfort of movement for the driver and passengers is proposed. A method of valuation pavement evenness

according to the influence of vibration on the human using the methodology and normative values of whole body vibration is presented.

Key words: pavement, roughness, full-car model, ride comfort, whole body vibration (WBV).

Обеспечение требований, которые направлены на достижение лучшего комфорта и управляемости автомобилей при повышении скоростей дорожного движения постоянно побуждают конструкторов транспортных средств разрабатывать эффективные системы автомобильных подвесок и внедрять новые конструкторские решения. В последнее время кроме классических пассивных подвесок, в которых гашение вибрации в первую очередь зависит от жесткости пружины, коэффициента демпфирования и массы автомобиля получили развитие полуактивные и активные подвески. Основной характеристикой полуактивной подвески является то, что система изменяет коэффициент демпфирования, делая амортизатор жестче или мягче в зависимости от неровностей поверхности дороги. Система активной подвески, самостоятельно используя специальный привод, создает усилие, противоположное по знаку и равное по величине вибрационным нагрузкам основываясь на изменяющихся неровностях поверхности дороги [1].

Разработка современных систем подвески для автотранспортных средств, направлена в первую очередь на усовершенствование транспортных средств в отношении комфорта, управляемости и безопасности, при этом подвеска одновременно должна удовлетворять нескольким требованиям:

- для комфорта движения подвеска должна изолировать водителя и пассажиров от вибрации, возникающей в результате проезда автомобиля по дорожным неровностям;

- для безопасности дорожного движения, должен быть обеспечен постоянный контакт между шинами автомобиля и дорожным покрытием.

При этом в реальных условиях движения данные требования иногда входят между собой в некоторое противоречие. Поэтому каждая конкретная конструкция подвески основывается на результатах компромисса между безопасностью и комфортом.

В свою очередь обеспечение непрерывных, безопасных, экономических и комфортных условий дорожного движения, осуществление мероприятий, направленных на защиту окружающей природной среды является главной

целью дорожной службы. При этом повышение или поддержание требуемых значений транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог в частности ровности дорожных покрытий является её основной задачей.

Учитывая выше сказанное, дорожники и автомобилисты должны обеспечивать безопасное и комфортное дорожное движение, при этом происходит некая несогласованность, связанная с ровностью дорожных покрытий. Автомобилисты при проектном расчете подвески автомобиля, ровность дорожного покрытия рассматривают либо детерминистически (приводя к волнообразному гармоническому профилю или к единичной неровности), либо статистически (по конкретной реализации профиля или по его статистической характеристике) [2]. При этом принято считать, что в реальных дорожных условиях разработанная подвеска (после проектного расчета) с любой системой и конструктивной особенностью будет подавлять вибрацию и обеспечивать безопасное и комфортное дорожное движение. Дорожники рассматривают ровность дорожного покрытия в основном через разработанный и научно-обоснованный комплекс показателей (разность высотных отметок при продольном нивелировании, просветы под рейкой, интегральные показатели колебаний подвески и др.). Поэтому необходимо обоюдное согласование и обоснование нормативного значения ровности дорожных покрытий, учитывая реальный подход к работе всей системы подвески во время движения транспортного средства, в зависимости от типа и состояния покрытия, скорости дорожного движения, учитывая техническую категорию дорог.

Анализ публикаций

Нормированием показателей ровности дорожных покрытий занимались такие отечественные исследователи как: А.К. Бируля, М.Я. Говорущенко, В.В. Филиппов, С.С. Кизима, Н.В. Крупа и др., а также зарубежные: А.П. Васильев, В.М. Сиденко, В.А. Сильянов, М. Сайерс, С. Карамигас, Г. Бонин, Г. Кантисани, Г. Лопренсипе, М. Сброли, О.А. Красиков, В.В. Чванов, Д.А. Стрижевский, Ю.К. Комов, Т.В. Медведева, О.М. Жилина и др.

Согласно проведенному анализу [3] действующие в настоящее время нормативные значения показателей ровности дорожных покрытий установлены 40 лет назад экспериментально используя прямые методы исследований, при этом естественно использовались автомобили устаревших марок [4]. В дальнейшем данные значения показателей ровности уточнялись, используя

косвенные методы исследований [3]. Однако очевидно, что за прошедший период времени возросли скорости движения автомобилей, ужесточились требования к плавности хода автомобилей, усовершенствовались технологии строительства дорожных одежд, появились новые дорожно-строительные материалы.

На основании выполненного анализа литературных источников [3-8], для обоснования нормативных значений ровности дорожных покрытий используют различные методы исследований:

1. *Прямые методы*, основаны на измерении показателей (виброускорение кузова, виброускорение сиденья водителя, динамическая нагрузка шины на дорожное покрытие, шум, и т.д.), которые определяются путем реального проезда автомобиля по проезжей части дороги с применением различных приборов, или использовании статистической оценки суждений потребителей дорожных услуг (субъективная групповая оценка);

2. *Косвенные методы*, основаны на использовании различных формул, зависимостей которые носят явно эмпирический характер, а также экономических и других критериев позволяющих косвенно определять функциональные действия имеющие отношение к ровности проезжей части;

3. *Методы моделирования*, заключаются в измерении показателей, которые получают путем моделирования движения автомобиля по поверхности проезжей части участка автомобильной дороги, на основе предварительно полученного физического профиля проезжей части покрытия, приборами измерения физического профиля (рейка с нивелиром, трехметровая рейка, профилографы, профилометрические системы и др.).

Прямые методы в большей степени зависят от различных факторов (измерительного оборудования, технических параметров автомобиля, скорости движения, фактического профиля проезжей части автомобильной дороги и от методологии их оценки), которые не постоянны во времени и делают затрудненным воспроизводимость результатов измерений. Косвенные методы не связаны с динамическим влиянием неровностей дорожного покрытия на автомобиль, а также не отражают воздействие вибрации на потребителей дорожных услуг (водителя, пассажиров), поэтому использование данных методов возможно для планирования мероприятий по повышению транспортно-эксплуатационного состояния дорог и экономической оценки инвестиций. Напротив, методы моделирования, которые основываются на

моделировании движения автомобиля по предварительно измеренному физическому профилю проезжей части, в отличие от прямых методов менее интенсивно влияют на воспроизводимость результатов, поскольку все факторы постоянные во времени. Также в отличие от косвенных методов, методы моделирования непосредственно связаны с динамическим влиянием неровностей дорожного покрытия на автомобиль и отражают воздействие вибрации на потребителей дорожных услуг. Согласно многим исследованиям, которые выполнены в последние годы в различных странах [3-6], решающим и исключаящим другие методы является метод моделирования, при этом значение ровности дорожных покрытий обосновывается по критерию соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров.

Цель работы заключается в разработке математической модели, взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель", используя критерий соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров. Данная модель позволит определить воздействие вибронагрузки на потребителей дорожных услуг, при движении транспортного средства с учетом его скорости и ухудшении показателя ровности. А также разработки метода нормирования ровности дорожных покрытий согласно влиянию вибрации, на человека используя методику и нормативные значения вибронагрузки, что даст возможность рассчитать предельные показатели ровности дорожных покрытий, для разных категорий автомобильных дорог, учитывая скорость движения и технические параметры транспортного средства.

Математическая модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель"

Транспортные средства представляют собой сложные системы, состоящие из многих жестких и деформируемых компонентов. Полная модель автомобиля представляет собой нелинейную систему, состоящую из нескольких масс (кузова, колес, двигателя, кабины и др.) связанных между собою упругими связями и демпферами, в результате чего образуется большое количество степеней свободы. Так как не имеет смысла создавать универсальную модель автомобиля, которая может быть использована для решения всех динамических задач, необходимо вводить допущения для конкретных задач исследования. Поскольку в литературе [2,9-12] описано достаточно большое количество

моделей эквивалентных автомобилю, которые используются для оценки плавности хода, для решения поставленной цели можно выделить основные: модель четверти автомобиля; модель половины автомобиля; "велосипедная" модель автомобиля; полная модель автомобиля.

Так как основное влияние на плавность хода автомобиля оказывает колебание кузова в вертикальной продольной плоскости, характеризующиеся поступательным перемещением кузова вдоль вертикальной оси (покачивание, угловые колебания вокруг поперечной оси) [2], на колебания водителя (пассажира) влияют колебания, как передних, так и задних колес. При этом также, необходимо учитывать существующие различия, значений ровности между левой и правой полосой наката, что обосновывает необходимость рассматривать колебательную систему полного автомобиля, которая позволит рассмотреть колебания водителя и пассажира как в продольной, так и поперечной плоскостях.

Колебательная система полного автомобиля состоит из одной подрессоренной массы (кузова), соединенной на каждом углу упругими связями и демпферами к четырем неподрессоренным массам (переднее левое, переднее правое, заднее левое и заднее правое колесо). Подрессоренная масса подвергается колебаниям в вертикальной продольной плоскости (поступательные перемещения вдоль вертикальной оси z , угловым колебаниям θ вокруг поперечной оси или покачивание), оказывающим основное влияние на плавность хода автомобиля, а также колебаниям в поперечной плоскости (угловое перемещение φ вокруг продольной оси или пошатывание), которое влияет в основном на управляемость и устойчивость автомобиля. Неподрессоренные массы подвергаются только вертикальным перемещениям $z_1 \dots z_4$. Всеми остальными перемещениями масс автомобиля пренебрегаем для этой модели. Следовательно, эта система имеет семь степеней свободы и позволяет смоделировать вертикальное перемещение, ускорение во всех четырех неподрессоренных массах и подрессоренной массы, а также угловые колебания вокруг продольной и поперечной оси подрессоренной массы автомобиля. Упругие и гасящие устройства (демпферы) имеют линейные характеристики. При этом шины моделируем как линейные пружины с учетом эффекта затухания.

Сиденье водителя и пассажира, моделируем, так же как и подвеску автомобиля. Принимаем допущение, что водитель и пассажир испытывают

лишь вертикальные колебания на уровне сиденья ($z_{вс}, z_{пс}$) и на уровне пола ($z_{вп}, z_{пп}$), а упругое и гасящее устройство сиденья имеют линейные характеристики. Также согласно норм [13,14] для легковых, грузовых автомобилей вибрацию моделируем на сиденье водителя; для автобусов на левом сиденье, расположенном над задней осью или вблизи неё. Учитывая выше сказанное, для решения поставленной задачи принимаем эквивалентную колебательную систему, соответствующую полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира (рис. 1).

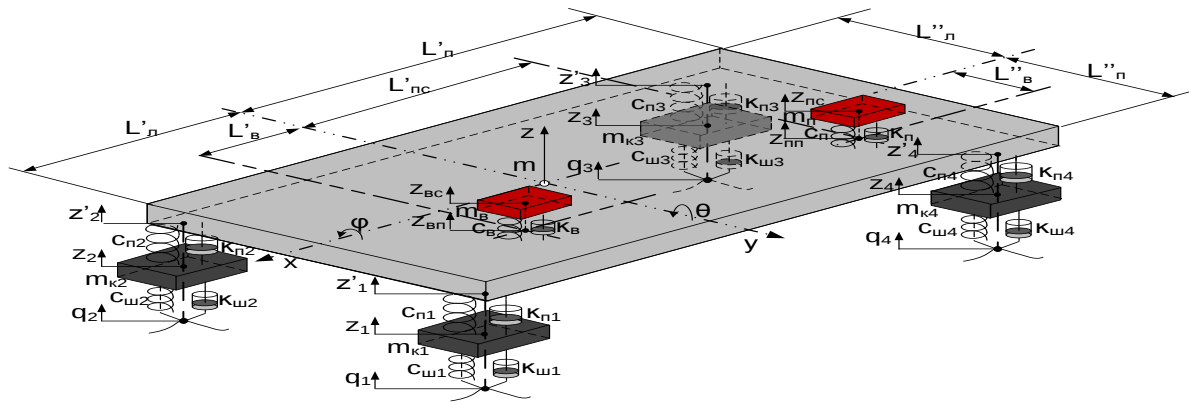


Рисунок 1 – Эквивалентная колебательная система, соответствующая полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира

Колебание такой системы описываем системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 m_{к1}\ddot{z}_1 &= c_{ш1}(q_1 - z_1) + \kappa_{ш1}(\dot{q}_1 - \dot{z}_1) + c_{п1}([z - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)] - z_1) + \kappa_{п1}([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)] - \dot{z}_1); \\
 m_{к2}\ddot{z}_2 &= c_{ш2}(q_2 - z_2) + \kappa_{ш2}(\dot{q}_2 - \dot{z}_2) + c_{п2}([z + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)] - z_2) + \kappa_{п2}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)] - \dot{z}_2); \\
 m_{к3}\ddot{z}_3 &= c_{ш3}(q_3 - z_3) + \kappa_{ш3}(\dot{q}_3 - \dot{z}_3) + c_{п3}([z + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)] - z_3) + \kappa_{п3}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)] - \dot{z}_3); \\
 m_{к4}\ddot{z}_4 &= c_{ш4}(q_4 - z_4) + \kappa_{ш4}(\dot{q}_4 - \dot{z}_4) + c_{п4}([z + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)] - z_4) + \kappa_{п4}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)] - \dot{z}_4); \\
 m\ddot{z} &= c_{п1}(z_1 - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + c_{п2}(z_2 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + c_{п3}(z_3 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \\
 &\quad + c_{п4}(z_4 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \\
 &\quad + \kappa_{п3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \kappa_{п4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + c_{в}(z_{вс} - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + \\
 &\quad + \kappa_{в}(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + c_{п}(z_{пс} - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)]) + \kappa_{п}(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)]); \\
 J_x\ddot{\phi} &= [c_{п3}(z_3 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \kappa_{п3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + c_{п2}(z_2 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \\
 &\quad + \kappa_{п2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)])]L''_л + [c_{п1}(z_1 - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \\
 &\quad + c_{п4}(z_4 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)])]L''_п + [c_{в}(z_{вс} - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + \\
 &\quad + \kappa_{в}(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + c_{п}(z_{пс} - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)]) + \kappa_{п}(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)])]L''_в; \\
 J_y\ddot{\theta} &= [c_{п1}(z_1 - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_л + \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + c_{п2}(z_2 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \\
 &\quad + \kappa_{п2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)])]L''_л + [c_{п3}(z_3 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \kappa_{п3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_л)]) + \\
 &\quad + c_{п4}(z_4 - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \kappa_{п4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)])]L''_п + [c_{в}(z_{вс} - [z - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + \\
 &\quad + \kappa_{в}(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)]) + c_{п}(z_{пс} - [z + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)]) + \kappa_{п}(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)])]L''_в;
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& +\kappa_{п2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)])L'_л + [c_{п4}(z_4 - [z + (\theta \cdot L'_п - \phi \cdot L''_п)]) + \kappa_{п4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)]) + \\
& + c_{п3}(z_3 - [z + (\theta \cdot L'_п + \phi \cdot L''_п)]) + \kappa_{п3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_п)])L'_п - [c_B(z_{вс} - [z - (\theta \cdot L'_B + \phi \cdot L''_B)]) + \\
& + \kappa_B(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_B + \dot{\phi} \cdot L''_B)])L'_B + [c_{п1}(z_{пс} - [z + (\theta \cdot L'_пс - \phi \cdot L''_пс)]) + \kappa_{п1}(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)])L'_пс]; \\
m_B \ddot{z}_{вс} = c_B([z - (\theta \cdot L'_B + \phi \cdot L''_B)] - z_{вс}) + \kappa_B([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_B + \dot{\phi} \cdot L''_B)] - \dot{z}_{вс}); \\
m_{п1} \ddot{z}_{пс} = c_{п1}([z + (\theta \cdot L'_пс - \phi \cdot L''_пс)] - z_{пс}) + \kappa_{п1}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_пс)] - \dot{z}_{пс}).
\end{aligned}$$

Где $m_B, m_{п1}, m, m_{к1} \dots m_{к4}$ — соответственно приведенная масса водителя, приведенная масса пассажира, поддрессоренная масса автомобиля, неподдрессоренные массы автомобиля, кг;

$z_{вс}, z_{вп}, z_{пс}, z_{пп}, z, z_1 \dots z_4$ — соответственно перемещения на уровне сиденья водителя, на уровне пола водителя, на уровне сиденья пассажира, на уровне пола пассажира, поддрессоренной массы, неподдрессоренных масс, м;

$q_1 \dots q_4$ — вертикальные координаты точек контакта шины с проезжей частью, м;

$c_B, c_{п1}, c_{п2} \dots c_{п4}, c_{ш1} \dots c_{ш4}$ — соответственно жесткость сиденья водителя, жесткость сиденья пассажира, жесткость рессор подвески автомобиля, жесткости шин автомобиля, Н/м;

$\kappa_B, \kappa_{п1}, \kappa_{п2} \dots \kappa_{п4}, \kappa_{ш1} \dots \kappa_{ш4}$ — соответственно коэффициент демпфирования (сопротивления) сиденья водителя, коэффициент демпфирования сиденья пассажира, коэффициенты демпфирования амортизаторов, коэффициенты демпфирования шин автомобиля, Н·с/м;

J_x, J_y — соответственно момент инерции поддрессоренной массы автомобиля вокруг поперечной и продольной оси крена автомобиля, Н·м²;

ϕ, θ — соответственно угол поперечного и продольного крена автомобиля, рад;

$L'_л$ — расстояние между осью переднего моста и центром тяжести автомобиля, м;

$L'_п$ — расстояние между осью заднего моста и центром тяжести автомобиля, м;

$L''_л, L''_п$ — половина колеи автомобиля, м;

L'_B — продольное расстояние между центром тяжести сиденья водителя и центром тяжести автомобиля, м.

$L'_{пс}$ — продольное расстояние между центром тяжести сиденья пассажира и центром тяжести автомобиля, м

L''_B – поперечное расстояние между центром тяжести сиденья водителя (пассажира) и центром тяжести автомобиля, м

Уровень комфорта

Оценку влияния вибрации на человека и нормирование ее предельно допустимого уровня в Украине необходимо выполнять согласно ДСТУ ISO 2631-1 [15] и ДСН 3.3.6.039 [16].

В стандарте ДСН 3.3.6.039 приведены среднеквадратические значения виброускорений в диапазоне октавных полос, а также установлены методы гигиенической оценки вибрации, которая действует на человека:

- частотного (спектрального) анализа ее параметров;
- интегральной оценки по спектру частот параметров, которые нормируются;
- дозы вибрации.

В стандарте ДСТУ ISO 2631-1 установлены критерии возможного влияния вибрации на здоровье, на комфорт и восприятие, степень морской болезни. Для решения поставленной задачи рассмотрим следующие частотные диапазоны:

- от 0,5 Гц до 80 Гц (для здоровья, комфорта и восприятия);
- от 0,1 Гц до 0,5 Гц (для возникновения морской болезни).

Оценку влияния вибрации на человека согласно ДСТУ ISO 2631-1 и ДСН 3.3.6.039 проводят на основе взвешенного среднеквадратического значения (с.к.з.) виброускорения. В результате расчета определяют взвешенное с.к.з. виброускорения для третьоктавной полосы частот по формуле (1), а после определяют частотное взвешенное вертикальное виброускорение по формуле (2).

$$a_i = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_i^2(t) dt \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $a_i(t)$ – взвешенное вертикальное виброускорение сиденья водителя (пассажира), м/с²;

T – время измерения, сек.

Частотное взвешенное с.к.з. виброускорение определяется согласно формуле:

$$a_w = [\sum_i (W_i \cdot a_i)^2]^{1/2}, \quad (2)$$

где a_w – частотное взвешенное виброускорение, м/с²;

W_i – коэффициент взвешивания третьоктавной полосы частот;

a_i – с.к.з. виброускорение для третьоктавной полосы частот, м/с².

Согласно ДСТУ ISO 2631-1 "Граница комфорта" определяет предел эффективной работы. Она соответствует уровню, превышение которого может вызвать значительное снижение продуктивности работы потребителя, а также привести к появлению сильной усталости при вождении транспортных средств. Значения границ комфорта (табл. 1) показывают уровни комфорта водителя и пассажиров, которые возникают при воздействии суммарных значений вибрации в общественном транспорте.

Таблица 1 – Уровни комфорта относительно пороговых значений a_w [14]

Интервалы значений a_w	Уровень комфорта
меньше чем 0,315 м/с ²	комфортно
от 0,315 м/с ² до 0,63 м/с ²	немного некомфортно
от 0,5 м/с ² до 1 м/с ²	довольно некомфортно
от 0,8 м/с ² до 1,6 м/с ²	некомфортно
от 1,25 м/с ² до 2,5 м/с ²	очень некомфортно
свыше 2 м/с ²	чрезвычайно некомфортно

"Граница здоровья" обеспечивает сохранение здоровья и безопасности водителя и пассажира. Она отвечает приблизительно половине уровня, который считается порогом до появления болезненных ощущений. Превышение "границы здоровья" не рекомендуется без принятия специальных мер осторожности. "Порог восприятия" в транспортных средствах устанавливают из условия когда средний порог восприятия человека составляет около 0,015 м/с², то есть он показывает границу при которой водитель и пассажир уже начинают ощущать вибрацию. "Граница морской болезни" определяет предел необходимой дозы вибрации для наступления морской болезни.

Выводы

Учитывая выше сказанное можно сделать следующие выводы:

- для обоснования нормативных значений ровности дорожных покрытий по критерию соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров, предпочтительнее использовать эквивалентную колебательную систему, соответствующую полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира (рис.1);
- при проектировании автомобильных дорог, при контроле ровности дорожных покрытий участков дорог, после строительства или после капитального или текущего ремонтов, особенно для дорог Ia и Ib категорий, где должна обеспечиваться большая скорость движения обоснование нормативных значений ровности необходимо рассчитывать по критериям возможного влияния вибрации на восприятие и на степень морской болезни;
- в качестве базовых значений для контроля ровности дорожных покрытий автомобильных дорог всех категорий, в период эксплуатации, нормативные значения ровности дорожных покрытий необходимо обосновывать по критерию возможного влияния вибрации на комфорт;
- уровни относительного комфорта (табл. 1) согласно ДСТУ ISO 2631-1 необходимо выбирать в зависимости от технической категории автомобильных дорог и в зависимости от классификации автомобильных дорог общего пользования;
- в качестве предельно допустимых значений для контроля ровности дорожных покрытий автомобильных дорог всех категорий, в период эксплуатации нормативные значения ровности дорожных покрытий необходимо обосновать по критерию возможного влияния вибрации на здоровье согласно ДСТУ ISO 2631-1 и по среднеквадратическим значениям виброускорений приведенных в стандарте ДСН 3.3.6.039.

Литература

1. Мажей А.А. Анализ эффективности полуактивной подвески заднего моста автомобиля, работающей по алгоритму предсказания / А.А. Мажей, А.А. Ракицкий // 47-я международная конференция "Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств". – Минск.: ААИ, 2004. [Электронный ресурс]: Режим доступа : http://automobile.narod.ru/Books/semiactive_mazhei.pdf – Загол. с экрана.

2. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг– [3-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
3. Савенко В. Я. Про обґрунтування рівня показників рівності дорожніх покриттів / В.Я. Савенко, Д.І. Кіяшко //Автомобільні дороги і дор. буд-во. – К.: НТУ, 2011. – № 81. – С. 19–22.
4. Бируля А. К. Эксплуатация автомобильных дорог : [учебник для вузов] / А. К. Бируля – М.: Транспорт, 1966. – 326с.
5. Bonin G. Ride quality evaluation: 8 d.o.f. vehicle model calibration / G. Bonin, G. Cantisani, G. Loprencipe, M. Sbrolli // Memoria con referee per il IV Convegno Internazionale della Società Italiana Infrastrutture Viarie. – Strade, Ferrovie e Aeroporti. Palermo, 2007. [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://sed.siiiv.it/documenti/63_2848_20080110110106.pdf – Загол. с экрана.
6. Чванов В.В. Обоснование норм продольной ровности дорожных покрытий, методов ее измерения и контроля / В.В. Чванов, Н.А. Лушников, А.М. Стрижевский//Дороги России XXI века. – 2008.- №6.- С.58 – 62.
7. Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог : [учебник для вузов] / В. М. Сиденко, С. И. Михович. – М.: Транспорт, 1976. – 288с.
8. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. – Т. 1 : [учебник для вузов] / А. П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
9. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С.Васильев. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
- 10.Литвинов А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств : [учебник для вузов] / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989, – 240 с.
- 11.Jazar R.N. Vehicle Dynamics: Theory and Application / R. N. Jazar – New York: Springer Science + Business Media,. 2009 – 1015 p.
- 12.Gillespie T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics / T. D. Gillespie – Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1996 – 470 p.
- 13.Отраслевая нормаль автомобилестроения. Автомобильный подвижной состав. Плавность хода. Методы испытаний : ОН 025 332-69. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1974. – 16 с.
- 14.Автотранспортные средства. Методы испытаний на плавность хода : ОСТ 37.001.275-84. – М. : НАМИ, 1985. – 12 с.
- 15.Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину : ДСТУ ISO 2631-1:2004. – [Чинний від 2006-04-01). – К. : Держстандарт України, 2004. – 41 с.
- 16.Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039-99.–[Чинний від 1999-12-01). – К. : Держстандарт України,1999. –47с.

Коваленко Л.А., канд. техн. наук, Гредасова О.Ю.

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Анотація. Розглянуті характеристики руху транспортних потоків на міських магістралях. Для встановлення закономірностей формування режимів руху на вулично-дорожній мережі були проведені експериментальні дослідження.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортний потік, пропускна здатність.

Аннотация. Рассмотрены характеристики движения транспортных потоков на городских магистралях. Для установления закономерностей формирования режимов движения на улично-дорожной сети были приведены экспериментальные исследования.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортный поток, пропускная способность.

Annotation. The features of transport streams movement on urban highways are considered. To establish the regularity of traffic modes forming on the road network there were carried out experimental researches.

Key words: road, traffic flow, carrying capacity.

На режимы движения потока автомобилей на городских улицах и дорогах имеет влияние целый ряд факторов, отличающихся от внегородских условий: наличие многополосных проезжих частей в одном направлении; расположение тротуаров близко к дороге; состав потока, частота расположения светофоров и длительность их циклов; большая возможность появления пешеходов на проезжей части; наличие в потоке значительного количества общественного транспорта; малая длина перегонов; высокая интенсивность и плотность движения; разнообразные режимы движения транспорта; большое количество пересечений в одном уровне; наличие стоянок вдоль бортов проезжей части улиц; большое количество информации, которая поступает к водителям. Под

воздействием перечисленных факторов происходит формирование потока автомобилей на улично - дорожной сети [1].

Состояние транспортного потока меняется не только в результате изменения интенсивности движения, но и изменения дорожных условий. Причем влияние дорожных условий на основные характеристики транспортного потока на городских улицах и дорогах является решающим. Чем чаще изменяются дорожные условия по длине улицы или дороги тем сложнее происходит взаимодействие автомобилей в транспортном потоке. Наличие разнообразного движения транспортных средств на городских улицах и дорогах (регулируемое и саморегулированное движение) также усложняет взаимодействие автомобилей в транспортном потоке.

Большое влияние на формирование потоков автомобилей на улично - дорожной сети города имеет многополосная проезжая часть. Влияние многополосности отражается на распределении транспортных средств по ширине проезжей части; на скорости и плотности потока постоянных перестроек и изменения полос движения на улицах без продольной разметки на полосы движения [2].

На многополосных улицах и дорогах на движение транспортных потоков влияет изменение рядности. Для каждой категории дорог характерна своя схема обгона и изменение полос движения. Маневрирование автомобилей на двухполосных автомобильных дорогах связано только с обгоном с обязательным возвращением на основную полосу движения. Изменение полос движения на дорогах с двумя полосами для постоянного движения в прежнем направлении невозможно, потому что по соседней полосе осуществляется движение в противоположном направлении [3]. На многополосных магистралях возможны и обгон, и изменение полос движения, причем обгоняющий автомобиль, всегда выходит на соседнюю полосу, по которой осуществляется движение в попутном направлении. Это обстоятельство позволяет принимать для изменения полос движения меньшие интервалы, чем на двухполосных дорогах. Увеличение числа полос движения в одном направлении приводит к перераспределению транспортных средств по полосам в зависимости от скоростных качеств автомобилей, что способствует более эффективному использованию полос движения на многополосных улицах и дорогах в сравнении с двухполосными дорогами [4].

Оценка характеристик движения транспортных потоков.

Важнейшим показателем, характеризующим транспортно эксплуатационные качества сети городских улиц, является ее пропускная способность. Под пропускной способностью улицы понимают максимальное число автомобилей, которые могут пройти по ней в единицу времени при обеспечении заданной скорости и безопасности движения. Для улиц непрерывного движения и скоростных магистралей необходимо знать пропускную способность одной полосы при заданной скорости свободного движения. Это значение рассматривается как предельная возможность полосы движения в пропуске транспортных потоков [1].

Пропускную способность полосы движения определяют с использованием упрощенных динамических моделей, которые лежат в основе определения величины динамического габарита. Все уравнения по определению величины динамического габарита построены на предположении, что автомобили двигаются в колонне с одинаковой скоростью на расстоянии, достаточном для полной остановки, без наезда на впереди идущий автомобиль. Величины динамических габаритов, определенные на основании динамических моделей, находятся в пределах значений, получаемых на основе двух предположений. Первое из них учитывает полную длину тормозного пути. В этом случае динамический габарит находят по формуле:

$$S_{min} = L = \frac{V}{3,6} + \frac{V^2 K_{екс}}{254(\varphi \pm i + f)} + l_1, l_2, \quad (1)$$

где $K_{екс}$ – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов;

l_1 – длина автомобиля, м;

l_2 – расстояние между остановленными автомобилями, м;

φ – коэффициент продольного сцепления;

i – продольный уклон;

f – коэффициент сопротивления движения.

Второе предположение не учитывает тормозной путь. В этом случае расстояние между автомобилями определяют по формуле:

$$S_{min} = L = \frac{V}{3,6} + l_1 + l_2. \quad (2)$$

При определении пропускной способности многополосной проезжей части нужно учитывать не только максимальное число транспортных средств, которые могут пройти через разрез улицы, но и возможность выполнения автомобилями маневров перестройки, входа в поток, выхода из потока. Вероятность выполнения этих маневров зависит от плотности транспортного потока [3].

Пропускная способность улиц непрерывного движения многополосной проезжей частью в наше время рассчитывается по эмпирическим формулам [4]:

$$P=P_0\Pi K_i, \quad (3)$$

где P_0 — расчетная пропускная способность одной полосы движения;

ΠK_i — произведение коэффициентов, учитывающих дорожные условия, состав транспортного потока и количество полос движения.

Наиболее существенное влияние на пропускную способность улицы оказывают следующие факторы, которые учитываются коэффициентами в формуле: количество полос движения (K_n), состав транспортного потока, который выражают через количество грузовых автомобилей (K_g), состояние проезжей части (K_ϕ), продольные уклоны (K_{in}). В странах Западной Европы учитывают еще один фактор — ширину полосы движения (K_{usc}), так как в центральной части старых городов есть улицы с шириной полос движения до 2,5 м. При ширине полосы более 3,5 м этот фактор влияния на пропускную способность городских улиц не имеет.

Таким образом пропускная способность улиц непрерывного движения вычисляют по формуле:

$$P=P_0K_nK_gK_\phi K_{in}K_{usc} \quad (4)$$

Значения коэффициентов в формуле (4) выбирают в соответствии с дорожными условиями [1].

Пропускная способность улиц со светофорной регуляцией определяется прежде всего пропускной способностью участка, на котором установлен светофор (пропускная способность улицы в сечении стоп-линии).

Методы расчета длительности светофорного цикла можно разделить на три группы [2]. Первая основана на использовании закономерностей разъезда очередей и допущении существования у светофоров очередей, которые

позволяют полностью использовать сигнал, позволяющий двигаться. Вторая из предположения случайного прибытия автомобилей к светофору, и оптимизация цикла ведется не по пропускной способности, а по длине очереди. К третьей группе относят методы, основанные на моделировании транспортных потоков. Первая группа методов расчета пропускной способности улиц при светофорной регуляции достаточно проста в использовании, потому что для своей реализации нуждается в знании только двух характеристик: состава потока и длительности светофорного цикла. Поэтому она наиболее пригодна при определении пропускной способности улично-дорожной сети города [2].

Следует отметить, что объем исследований транспортно-эксплуатационных показателей многополосных улиц и дорог пока невелик. Их результаты частично специфические особенности движения транспортных потоков на городских улицах и дорогах с многополосной проезжей частью. На сегодняшний день недостаточно изучены вопросы, связанные с особенностями закономерностей движения транспортных средств на многополосных улицах и дорогах, а именно: взаимосвязь скорости потока и плотности; влияние многополосности, на основные параметры транспортного потока; взаимосвязь скорости потока и интенсивности и др. Все это создает определенные трудности при оценке пропускной способности многополосных дорог и улиц и анализе характеристик условий движения и состояния транспортного потока.

Для оценки характеристик движения и установления закономерностей формирования режимов движения транспортных потоков на улично-дорожной сети были проведены экспериментальные исследования. Задачами исследования было проведение экспериментальных наблюдений за скоростями и интервалами между автомобилями, установления закономерностей изменения скоростей движения, исследования изменения плотности транспортного потока при движении в разных погодных условиях и установления зависимостей между основными характеристиками движения транспортных потоков.

Определение состояния транспортного потока возможно при учете плотности и степени напряжения водителя. Плотность движения потока автомобилей является одним из основных параметров транспортного потока. Определяется она числом автомобилей на единицу длины улицы или дороги (обычно на 1 км). Этим параметром удобно характеризовать состояние потока автомобилей на отдельных участках улиц или на магистрали в целом. В городских условиях преобладает, как правило, движение плотных транспортных потоков, которые характеризуются низкими скоростями

движения и значительной неравномерностью. Величина плотности постоянно изменяется вдоль магистрали и во времени. Это отражается на изменении числа автомобилей в группах, в результате изменения дорожных условий. Как правило, повышенной плотностью характеризуются участки улиц и магистралей, на которых число автомобилей, которые прибывают в единицу времени, превышает число автомобилей, которые выходят из участка за то же время. Наиболее значительные колебания наблюдаются перед пересечениями в одном уровне из светофорной сигнализацией и без нее.

Плотность транспортного потока, скорость и интенсивность движения связаны между собой. При $D=D_{max}$ достигается предельная интенсивность движения, что и является количественным выражением пропускной способности.

На основании экспериментальных исследований проведенных в разное время года были получены зависимости между плотностью и скоростью движения в форме.

Результаты расчета плотности движения и максимальной интенсивности приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Плотность транспортного потока и максимальная интенсивность при движении в разных погодных условиях

№ участка, погодные условия	Средняя скорость движения, км/час	Плотность транспортного потока, авт/км	Максимальная интенсивность, авт/час
I участок, сухо	58,1	73	4244
I участок, снег	43,2	77	3341
II участок, сухо	48,9	81	3982
II участок, снег	37,3	84	3092

Расчет пропускной способности N (авт/час) многополосной проезжей части магистральной улицы осуществляется по формуле:

$$N = N_T n k_{\sigma} k_{nep} = \left[\frac{3600V}{(l_a + 2) + V + IV^2} \right] n k_{\sigma} k_{nep}, \quad (5)$$

где n – количество полос проезжей части в одном направлении;
 k_{σ} – коэффициент многополосности;

$k_{пер}$ – коэффициент, который учитывает влияние пересечений.

I – значение которое зависит от продольного уклона (при $i=0$, $I=0,055$)

Была определена пропускная способность на первом экспериментальном участке дороги летом, она составляет 3758 авт/год. Пропускная способность на втором участке дороги летом составляет 4510 авт/год. Пропускная способность на первом участке дороги зимой составляет 2890 авт/год. Пропускная способность на втором участке дороги зимой составляет 3570 авт/год.

Сравнение полученных значений максимальной интенсивности (табл.1) со значениями пропускной способности, полученных за расчетами показали расхождение на 5,1-6,3%. Нужно отметить, что влияние скорости движения на плотность и пропускную способность больше при движении по накату, чем в сухую погоду. Поэтому наиболее точное определение скорости движения имеет большое значение для оценки состояния транспортного потока.

Движение в транспортном потоке по улице, которая работает в режиме пропускной способности, связано с большой сложностью. Водители высокой напряженности быстро устают, допускают ошибки в оценке скоростей движения, выборе дистанции допредыдущего автомобиля. Режим потока становится нестабильным: появляются высокие ускорения, резкие торможения, остановки. По мере приближения интенсивности к предельной пропускной способности не только снижается скорость движения, но и ухудшается стабильность движения. Полученные результаты могут быть использованы на стадии проектирования городских магистралей, разработки мероприятий по организации движения или обоснованию необходимости реконструкции городских улиц.

Литература

1. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
2. Фишельсон М. С. Городские пути сообщения / М. С. Фишельсон. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 180. – 292 с.
3. Шештокас В. В. Город и транспорт / В. В. Шештокас. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.
4. Горбанев Р.В. Городские улицы и дороги с многополосной проезжей частью / Р.В. Горбанев, А.Н Красников, Е.И. Щербаков. – М.: Стройиздат, 1984. – 166 с.

УДК 625.712

Фоменко Г.Р., канд. техн. наук

К ВОПРОСУ О ПАРКОВКАХ В ГОРОДАХ

Анотація. В статті розглянуті питання впливу зростання автотранспортного потоку на інфраструктуру транспортної системи міст. Питання розміщення парковок, їх вплив на забруднення навколишнього середовища, зростання ДТП і заходи їх регулювання.

Ключові слова: транспортна система, автостоянки, забруднення навколишнього середовища, дорожньо-транспортні пригоди, планувальні рішення.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы влияния возрастающего автотранспортного потока на инфраструктуру транспортной системы городов. Вопросы размещения парковок, их влияния на загрязнение окружающей среды, увеличение количества дорожно-транспортных происшествий и пути их регулирования.

Ключевые слова: транспортная система, автостоянки, загрязнение окружающей среды, дорожно-транспортные происшествия, планировочные решения.

Annotation. The paper considers the impact of increasing the flow of road infrastructure in the urban transport system. Issues of parking place, their impact on environmental pollution, increase in the number of accidents and ways of their regulation.

Key words: transportation systems, parking, pollution, traffic accidents, planning decisions.

Транспортная система городов в настоящее время испытывает большие нагрузки. Значительное увеличение количества автомобилей ведет к активному развитию инфраструктуры как наиболее динамичной части транспортной системы.

Основными проблемами существующей транспортно-дорожной сети городов являются:

- большая продольная протяженность улиц;
- несоответствие планировочных параметров улиц принятой категории;
- непостоянство планировочных параметров улиц на всем их протяжении;
- сложность структуры транспортного потока (смешанное движение легкового, грузового, общественного пассажирского транспорта);

- использование правой стороны для временной стоянки автотранспорта из-за отсутствия или недостатка временных парковок у объектов тяготения;
- отсутствие магистралей непрерывного движения;
- отсутствие развязок в нескольких уровнях.

Существует много технических и планировочных приемов выравнивания транспортной нагрузки на магистральные сети города. Прежде всего, следует равномерно размещать основные зоны приложения труда и жилые районы. Одновременно наиболее загруженные участки транспортной сети возможно дублировать новыми линиями.

Магистральные улицы в городах составляют в среднем 20-30 % общей протяженности всех улиц и проездов. На них сосредотачивается до 60-80 % всего автомобильного движения, то есть эти магистрали загружены в 10-15 раз больше, чем остальные улицы и проезды. Создание в городах сети магистралей скоростного движения позволит существенно увеличить скорости общественного транспорта и легковых автомобилей, а также повысить ее пропускную способность, снизить количество дорожно-транспортных происшествий, изолировать общественные центры и жилые районы от концентрированных потоков транспортных средств. Неотъемлемой частью является также разработка новых систем регулирования транспортными потоками, которые позволят свести к минимуму образование транспортных пробок. Эффективным профилактическим мероприятием может быть реконструкция с расширением улиц и созданием зон зеленых насаждений. Также одним из эффективных направлений по снижению вредного влияния автомобильного транспорта на горожан является организация пешеходных зон с полным запретом въезда транспортных средств на жилые улицы. Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно при использовании сети подземных переходов для пешеходов. Это позволит разгрузить перекрестки на которых задерживается транспортный поток.

Значительный рост использования легковых автомобилей в городах и населенных пунктах приводит к повышению спроса на места для их парковки. Парковка на улицах ухудшает видимость, уменьшает пропускную способность улиц и ведет к созданию аварийных ситуаций, когда автомобили должны заезжать или выезжать с мест стоянки вдоль бордюрного камня проезжей части. Наиболее частыми дорожно-транспортными происшествиями, связанными со стоянкой, являются наезд на стоящий автомобиль (30 %), наезд на пешехода, выходящего из-за стоящего автомобиля (25 %), столкновения во время объезда стоящего автомобиля (15 %) и дорожно-транспортные происшествия, связанные с выездом с места остановки или стоянки (8 %). Эти ситуации сопровождаются травматизмом, большим количеством поврежденных

автомобилей, ростом уровня загрязнения окружающей среды. Организация, регулирование режима и мест остановок и стоянок в городах приобретает все большую значимость в планировочных решениях.

Регулирование режима парковки является важной составляющей для регулирования транспортных потоков, которые направляются в центральную часть города, как правило, с высокой плотностью населения.

Для регулирования режима остановки и стоянки могут быть использованы ряд мер: запрет остановки; запрет с ограничением времени стоянки; регулирование размещения транспортных средств на парковке; местное регулирование режима остановки и стоянки; платные стоянки. Использование мероприятий по запрету парковок на улице может уменьшить количество дорожно-транспортных происшествий на 20-25 %. Однако, следует учитывать, что введение запрета на парковку на одних улицах, неминуемо переведет ее на ряд других улиц, на которых следовательно, не избежать дорожно-транспортных происшествий с травматизмом и дорожно-транспортных происшествий с материальным ущербом.

Организация парковок автотранспорта без учета пропускной способности улиц приводит к затруднению движения, а следовательно и возрастанию отрицательного воздействия на окружающую среду.

Автостоянки являются также необходимым элементом транспортной инфраструктуры городов. Их количество, удобство расположения, уровень комфортности непосредственно влияет на экономическую эффективность торговых учреждений, снижает или увеличивает уровень обслуживания транспортно-пешеходных потоков и, безусловно, нагрузку на окружающую среду. Решение вопросов по организации или реконструкции автостоянок должен быть технически и экономически обоснованным, а также учитывать реальные характеристики и тенденции существующего спроса и возможного использования земельных участков в городах. Особенное внимание следует уделять высокотехнологическим решениям, таким как многоуровневые стоянки, парковочные терминалы и др. Обязательным условием комплексного решения проблемы развития автостоянок является гибкая тарифная политика.

Удаление мест стоянок автомобилей приводит к лишним поездкам, но при этом около 35-40 % индивидуальных автомобилей вообще не имеют мест постоянного хранения. Эти машины стоят под окнами своих владельцев – во дворах, на газонах, тротуарах, детских площадках или на городских проездах. Такое хранение автотранспорта нарушает чистоту и порядок в городе, резко ухудшает экологическую обстановку. Организация хранения автотранспорта в жилых кварталах является очень важным моментом в обеспечении жизнедеятельности больших городов. Одной из основных задач повышения

эффективности дорожной сети, а также снижение негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду является создание эффективной и экологически безопасной инфраструктуры.

К основным мероприятиям для организации инновационной деятельности могут быть отнесены:

- апробация новых технологий автостоянок и парковок;
- анализ взаимодействия автостоянок и парковок с другими системами транспортной инфраструктуры;
- маркетинговые исследования.

Для повышения эффективности их деятельности возможно:

- разделение различных по месторасположению и назначению автостоянок и парковок, а именно, гостевых и служебных;
- проектирование автостоянок и парковок, требующих меньшего по площади земельного участка на одно транспортное средство;
- перенос автостоянок и парковок за пределы перегруженных районов города;
- применение эффективных современных технических средств управления.

Технические и организационные решения по автостоянкам должны быть увязаны с городскими системами, а именно, системой управления дорожным движением, системой управления городским пассажирским транспортом.

Литература

1. Луканин В.П. Промышленно-транспортная экология. [учебник для вузов] / В.П.Луканин, Ю.В.Трофименко; под ред. В.Н.Луканина. – М.: Высшая школа, 2001. – 273 с.
2. Экология города / Под ред.. Денисова В.В. – Ростов на Дону, М.: МарТ, 2008. – 832 с.
3. Давлетова Н.Х. Автотранспорт как глобальный источник загрязнения атмосферного воздуха // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – №4. – С. 90 – 92.
4. Иванов В.Н. Экология и автомобилизация / В.Н.Иванов, В.К.Сторчевус. – К.: Будівельник, 1990. – 341с.
5. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: [учебное пособие] / В.Н.Луканин, А.П.Буслаев. – М.: Инфра-М, 1998. – 208 с.