

– розрахування шарів посилення наявної конструкції дорожнього одягу згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [2];

– розрахування конструкцій з монолітним цементобетонним покриттям згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 [3].

Розрахування конструкції дорожнього одягу здійснюють за такими основними критеріями:

- за допустимим пружним прогином;
- за умовою зсувостійкості земляного полотна та шарів із малозв'язних матеріалів;
- на міцність на розтягування під час згинання шарів з монолітних матеріалів.

Також програма дозволяє:

– здійснювати розрахування необхідної товщини дренажувальних шарів;

– зводити фактичний склад руху до розрахункового навантаження;

– визначати розрахункові характеристики ґрунтів робочого шару;

– перевіряти на морозостійкість, зокрема з заміною знімального ґрунту шарів конструкції, геосинтетичними матеріалами та геосітками;

– мінімізувати запас міцності конструкції. На стадії розроблення знаходиться програма для розрахування дорожніх одягів нежорсткого типу УКРРДО (рис. 2).

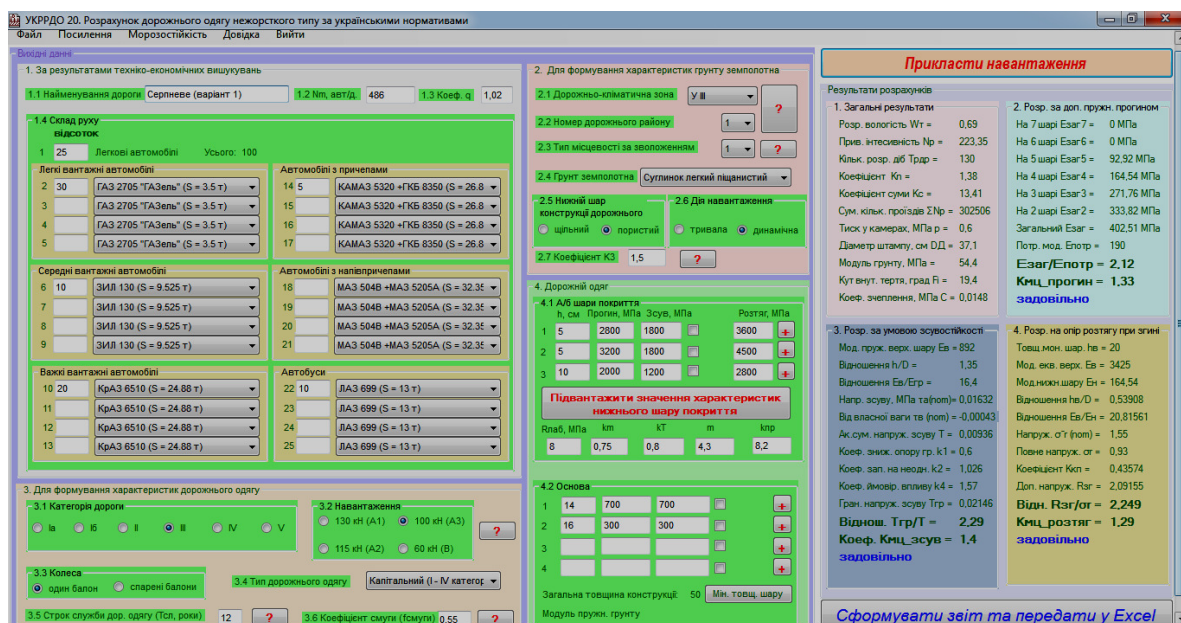


Рис. 2. Загальний вигляд програми УКРРДО 20

Програма складається з чотирьох блоків формування вихідних даних, кнопки «Прикласти навантаження», яка запускає процес розрахування, та кнопки «Сформувати звіт та передати в Excel».

Розрахування в УКРРДО, як і в програмі Радон, здійснюють за допустимим пружним прогином; за умови зсувостійкості земляного полотна та шарів із малозв'язних матеріалів; на міцність на розтягування під час згинання шарів з монолітних матеріалів. Основним нормативним документом, на базі якого побудовані алгоритми програми, є ГБН В.2.3-37641918-559 [2]. У програмі використовується застаріла база даних дорожньо-будівельних матеріалів. Також на сьогодні в програмі відсутній процес розрахування визначення напруження розтягування в проміжному монолітному шарі дорожнього одягу.

Створення алгоритму визначення напруження розтягування в проміжному монолітному шарі дорожнього одягу

Сучасна методика визначення напруження розтягування в проміжному монолітному шарі дорожнього одягу визначена у ГБН В.2.3-37641918-559 [2], тому алгоритм доцільно створити на базі цього документа:

1) розрахувати середній модуль пружності пакета конструктивних шарів, що знаходяться вище розрахункового монолітного шару;

2) звести до еквівалентного за жорсткістю однорідного півпростору з модулем пружності E_3 шари, що підстилають монолітний шар, за допомогою послідовного обчислення загальних модулів кожної пари суміжних шарів (з розрахунків пружного модуля);

3) розрахувати співвідношення суми верхнього і монолітного шарів конструкції до площі відбиття колеса $(h_1+h_2)/D$ (рис. 3);

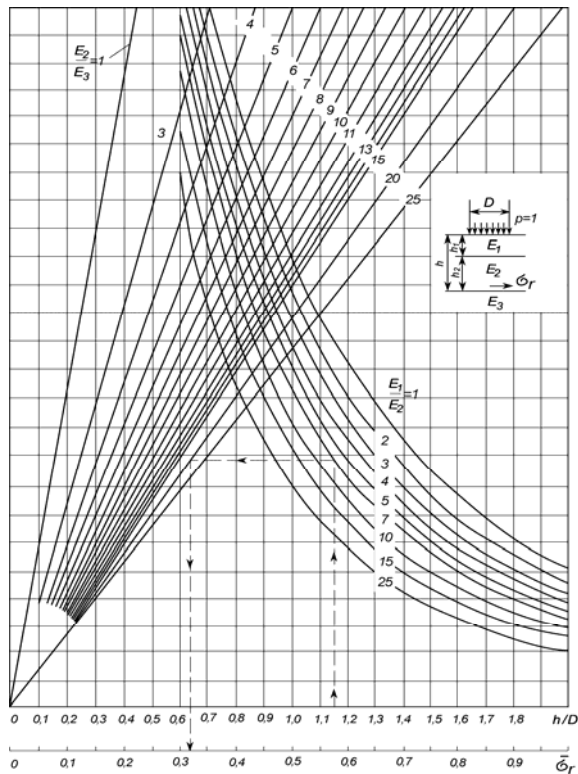


Рис. 3. Номограма для визначення напруження розтягування в еквівалентному монолітному шарі, розташованому в товщі дорожнього одягу [2]

4) розрахувати співвідношення модулів пружності E_1/E_2 та E_2/E_3 (див. рис. 3);

5) за номограмою (рисунок 3) знайти напруження розтягування в шарі, що розраховується, від разового навантаження;

6) розрахувати повне напруження розтягування [2];

7) розрахувати міцність матеріалу монолітного шару під час багаторазового розтягування у випадку згинання [2];

8) перевірити дотримання умови: у монолітних шарах дорожнього одягу напруження, що виникають під час прогинання під дією повторних навантажень, не повинні викликати порушення структури матеріалу і призводити до утворення тріщин [2].

Усі пункти вищенаведеного алгоритму, окрім роботи з номограмою, легко формалізуються, тому потрібно вирішити проблему оцифрування номограми для визначення напруження розтягування в еквівалентному монолітному шарі, розташованому у товщі дорожнього одягу.

Оцифрування номограми для визначення напруження розтягування в еквівалентному монолітному шарі, розташованому в товщі дорожнього одягу

Для вирішення завдання визначення координат X_i , Y_i кожної кривої (прямої) номограми (рисунок 3) необхідно використовувати програмний продукт, що дозволяє як підкладку завантажувати скан графіка і працювати з ним в декартовій системі координат, автоматизовано визначаючи координати функції. Як альтернативні були розглянуті програмні продукти ChartReader, GetData Graph Digitizer. Найбільш зручною є програма GetData Graph Digitizer (рис. 4) [4].

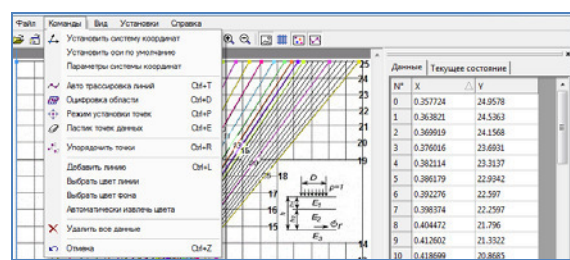


Рис. 4. Інтерфейс програми GetData Graph Digitizer (фрагмент)

Отже, ми отримали за кожною кривою (прямою) координати X_i та Y_i . Для вирішення завдання апроксимації отриманих координат з підбиранням адекватної функції також необхідно використовувати програмні продукти автоматизованого розрахунку Mathcad, Matlab, Maple, Microsoft Excel. У роботі використовувалася програма MS Excel для отримання графіків кожної окремої лінії на номограмі.

Отримавши функціональні залежності ліній номограми, можна алгоритмізувати дію інженера, приклад якої зображено стрілками на номограмі (рис. 3). Ця алгоритмізація детально наведена в попередніх роботах [5, 6]. Головна ідея цього підходу полягає у розв'язанні нелінійних нерівностей (знаходження попадання між двома лініями номограми) з наступною інтерполяцією.

Впровадження автоматизації розрахунку напруження розтягування в проміжному монолітному шарі дорожнього одягу

Для перевірки адекватності моделі оцифрування номограми необхідно створити стенд перевірки для визначення напруження розтягування в проміжному монолітному

шарі дорожнього одягу і впровадити це розрахування в програму УКРРДО 20.

Формування вихідних даних стенда перевірки номограми складається з трьох текст-боксів: співвідношення E_1/E_2 , співвідношення E_2/E_3 та співвідношення h/D (рис. 5).



Рис. 5. Стенд перевірки номограми (фрагмент)

Розрахування здійснюється за алгоритмом, який наведено вище, за допомогою натискання на кнопку «Знайти σ ». Отже, отримуємо напруження розтягування в проміжному монолітному шарі у МПа. Результати роботи стенда наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати роботи стенда перевірки номограми

№ тесту	E_1/E_2	E_2/E_3	h/D	Напруження розтягування σ , МПа
1	1	5	1	0,3338
2	1	10	1	0,4631
3	1	15	1	0,5433
4	1	20	1	0,5924
5	2	10	0,8	0,586
6	4	10	0,8	0,5259
7	6	10	0,8	0,4824
8	8	10	0,8	0,456
9	10	10	0,8	0,4313
10	12	10	0,8	0,4132
11	20	10	0,8	0,3586
12	12	12	0,6	0,6951
13	12	12	0,7	0,5582
14	12	12	0,9	0,3714
15	12	12	1	0,3086
16	12	12	1,1	0,2597
17	12	12	1,2	0,2211

Результати роботи стенда перевірки номограми співпадають з даними, які отримані нецифровим засобом з номограми, розходження складають $<2\%$.

Для впровадження цього розрахунку в програму УКРРДО 20 було організовано систему таким чином, щоб користувач сам ви-

брав проміжні монолітні шари за допомогою чекбоксів (рис. 2).

Висновки

Була розглянута сучасна нормативна база для визначення напруження розтягування в проміжному монолітному шарі дорожнього одягу за ГБН В.2.3-37641918-559; розроблені алгоритми та програмний код; створено стенд перевірки номограми для визначення напруження розтягування в проміжному монолітному шарі, на якому були апробовані результати роботи.

Література

1. Сайт «Офіційного представництва CREDO-DIALOGUE в Україні». URL: <https://credo-ua.com/product/credo-radon/> (дата звернення: 1.06.2020).
2. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. [Чинний від 2019-06-01]. Київ: Міністерство інфраструктури України. 58 с. URL: https://ukravtodor.gov.ua/4489/tekhnichne_rehulivannia/hbn_v_2_3-37641918-559_2019_dorozhnii_odiakh_nezhorstkyi_proektuvannia.html (дата звернення: 1.06.2020).
3. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. [Чинний від 2017-04-01]. Київ: Міністерство інфраструктури України. 71 с. URL: https://ukravtodor.gov.ua/4489/standarty_tanormy/hbn_v_2_3-37641918-557_2016_avtomobilni_dorohy_dorozhnii_odiakh_zhorstkyi_proektuvannia/hbn_v_2_3-37641918-557_2016_avtomobilni_dorohy_dorozhnii_odiakh_zhorstkyi_proektuvannia.pdf (дата звернення 1.06.2020).
4. GetData Graph Digitizer. URL: <http://getdata-graph-digitizer.com/ru/index.php> (дата звернення 1.06.2020).
5. Мусієнко І. В. Автоматизований розрахунок нежорстких дорожніх одягів за українськими нормативами: зб. наукових праць Національного транспортного університету. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2014. Вип. 92. С. 32–37.
6. Мусієнко І. В. Розрахунок нежорстких дорожніх одягів у програмі UKRRDO 16. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. НТУ. 2016. Вип. 98. С. 156–166.

Reference

1. Website of the official representative office in Ukraine of the company CREDO-DIALOGUE. URL: <https://credo-ua.com/product/credo-radon/> (access date: 1.06.2020).

2. HBN V.2.3-37641918-559:2019. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. [Chynnyi vid 2019-06-01]. Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. 58 s. URL: https://ukravtodor.gov.ua/4489/tekhnichne_rehul_iuvannia/hbn_v_2_3-37641918-559_2019_dorozhnii_odiah_nezhorstkyi_proektuvannia.html (access date: 1.06.2020).
3. HBN V.2.3-37641918-557:2016. Do-rozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia. [Chynnyi vid 2017-04-01]. Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. 71 s. URL: https://ukravtodor.gov.ua/4489/standarty_ta_normy/hbn_v_2_3-37641918-557_2016_avtomobilni_dorohy__dorozhnii_odiah_zhorstkyi__proektuvannia/hbn_v_2_3-37641918-557_2016_avtomobilni_dorohy__dorozhnii_odiah_zhorstkyi__proektuvannia.pdf (access date 1.06.2020).
4. GetData Graph Digitizer. URL: <http://getdata-graph-digitizer.com/ru/index.php>. (access date: 1.06.2020).
5. Musiienko I. V. (2014) Avtomatyzovanyi rozrakhunok nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv za ukrainskymy normatyvamy. [Automated calculation of non-rigid road pavements according to Ukrainian standards]: *zb. naukovykh prats Natsionalnoho transportnoho universytetu. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Vyp. 92. S. 32–37. [in Ukrainian].
6. Musiienko I. V. (2016) Rozrakhunok nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv u prohrami UKRRDO 16. [Calculation of non-rigid pavements in the UKRRDO 16 program] *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*: *zb. NTU*. Vyp. 98. S. 156–166. [in Ukrainian].

Мусієнко Ігор Володимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків 61002, Україна, телефон +38(057) 707-37-32, rp@khadi.kharkov.ua.

Автоматизация определения растягивающего напряжения в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

Аннотация. Были проанализированы современные системы автоматизированного расчёта нежестких дорожных одежд для Украины; рассмотрена методика для определения напряжения растяжения в промежуточном монолитном слое дорожной одежды по ГБН В.2.3-37641918-559; разработаны алгоритмы и программный код определения растягивающего напряжения в промежуточном монолитном слое; был создан

стенд проверки номограммы для определения напряжения растяжения в промежуточном монолитном слое, на котором были апробированы результаты работы.

Ключевые слова: автоматизированный расчёт, нежесткая дорожная одежда, растягивающие напряжения, промежуточный монолитный слой.

Мусієнко Ігорь Владимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харків 61002, Україна, телефон +38(057) 707-37-32, rp@khadi.kharkov.ua.

Automation of determining tensile stress in the intermediate monolithic layer of road pavement

Abstract. Problem. At the moment, the RADON UA 1.0 program is used in production, which supports the calculation of non-rigid pavement according to Ukrainian standards. Also, the program UKRRDO 20 is under development, which lacks the definition of tensile stress in the intermediate monolithic layer of pavement. **Goal.** The goal of the study is to automate the determination of tensile stress in the intermediate monolithic layer of pavement, to check and to include this calculation in the program UKRRDO 20. **Methodology.** The methodology is to solve non-linear inequalities (finding a hit between two nomogram lines) followed by interpolation. **Results.** The methodology for determining tensile stress in the intermediate monolithic layer of pavement according to GBN V.2.3-37641918-559 has been considered; the algorithms and program code for determining tensile stress in the intermediate monolithic layer have been developed; the test stand for the nomogram has been made to determine the tensile stress in the intermediate monolithic layer on which the work results were tested. **Originality.** The originality of this work lies in the use of original techniques and algorithms for realizing the goals cited above, in original solutions for digitizing nomograms. **Practical value.** The practical significance of the results of the work is to add solutions to a specific software product for solving production problems by engineers.

Keywords: CAD, non-rigid pavement, tensile stresses, intermediate monolithic layer.

Musiienko Igor, Ph.D., associate professor, associate professor of department of highway design, geodesy and land management Kharkov national automobile highway university, 61002, Ukraine, Yaroslava Mudrogo str., 25, +38(057) 707-37-32, rp@khadi.kharkov.ua.