

УДК 625.7/.8

Мусієнко І.В., к-т техн. наук

РОЗРАХУНОК НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ У ПРОГРАМІ UKRRDO 16

Анотація. У статті розглянуто програму для автоматизованого розрахунку нежорстких дорожніх одягів УКРРДО 16. Розглянуто інтерфейс програми, компоновка вихідних даних та результатів розрахунків. Розрахунки ведуться за трьома критеріями міцності: за допустимим пружним прогином, за умовою зсувостійкості земляного полотна та шарів з малозв'язних матеріалів, по міцності на розтяг при згині. У версію 2016 року добавлена можливість автоматизованого розрахунку на розрахункове навантаження 130 кН для приблизної оцінки, а також функцію формування звіту по розрахункам у MS Office Excel.

Об'єкт дослідження – автоматизація розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу.

Мета роботи – алгоритмізація та програмування усього циклу проектування дорожнього одягу нежорсткого типу за українськими нормативами.

Методи дослідження – методи об'єктно-орієнтованого програмування.

Ключові слова: автоматизований розрахунок, нежорсткий дорожній одяг, інтерфейс програми, розрахунок дорожнього одягу, ґрунт земляного полотна, відомчі будівельні норми, розрахункове навантаження.

UDC 625.7/.8

Musiienko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

THE NON-RIGID PAVEMENT CALCULATION IN UKRRDO 16

Abstract. In the article the program for the automated calculation of non-rigid pavements UKRRDO 16 has been reviewed. Interface, layout data and the results of calculations have been considered. Calculations have been performed for three strength criteria: permissible elastic deflection, shear strength of subsoil and monolithic layers resistance of tensile bending. In the 2016 version two functions have been added: the possibility of 130 kN load calculation for approximate estimate and calculations report in MS Office Excel.

The object of study - automated calculation of non-rigid pavements.

Purpose – to create algorithms and programs for calculation of non-rigid pavements by Ukrainian standards.

Research methods - methods of object-oriented programming.

Keywords: computer-aided calculation, non-rigid pavement, interface panel, non-rigid pavement calculation, soil subgrade, Departmental building codes, the calculated load.

УДК 625.7/.8

Мусієнко І.В., к-т техн. наук

РАСЧЕТ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД В ПРОГРАММЕ UKRRDO 16

Аннотация. В статье рассмотрена программа для автоматизированного расчёта нежестких дорожных одежд УКРРДО 16. Рассмотрены интерфейс программы, компоновка исходных данных и результатов расчётов. Расчёты ведутся по трём критериям прочности: по допускаемому упругому прогибу, по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоёв, на сопротивление монолитных слоёв усталостному

разрушению от растяжения при изгибе. В версию программы 2016 года добавлена возможность автоматизированного расчёта на расчётную нагрузку 130 кН для приблизительной оценки, а также функция формирования отчёта по расчётам в MS Office Excel.

Объект исследования - автоматизация расчёта дорожной одежды.

Цель работы - алгоритмизация и программирование всего цикла проектирования дорожной одежды по украинским нормативам.

Методы исследования - методы объектно-ориентированного программирования.

Ключевые слова: автоматизированный расчёт, нежесткая дорожная одежда, интерфейс программы, расчёт дорожной одежды, грунт земляного полотна, ведомственные строительные нормы, расчётная нагрузка.

Вступ

Використання автоматизованих систем розрахунку дорожніх одягів дозволяє:

- 1) скоротити час розрахунків;
- 2) підвищити якість проектних рішень.

Підвищення якості проектних рішень можливо за рахунок:

- 1) підбору оптимальних дорожньо-будівельних матеріалів;
- 2) підбору оптимальних товщин шарів.

Крім того, є брак програмних продуктів, в основі яких лежать українські нормативи.

Програмний продукт консорціуму CREDO Радон UA не підтримує останні зміни у нормативній базі [1].

Все це обумовлює актуальність даного напрямку.

Перша експериментальна версія програми по автоматизованому розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу УКРРДО була розроблена на кафедрі вишукувань та проектування доріг і аеродромів (ХНАДУ) у 2014 році. З тих пір програма ускладнювалася й удосконалювалася.

Основна частина

Були вирішені наступні задачі (рисунок 1):

- 1) створення бази даних по дорожньо-будівельним матеріалам на основі норм [2];
- 2) створення бази даних по автомобілям;
- 3) створення бібліотеки класів по автоматизованому розрахунку;
- 4) створення інтерфейсу, зручного для користувача;
- 5) створення функції виведення звіту в зручному форматі.

Introduction

The computer-aided calculation using allows us:

- 1) to reduce the time calculations;
- 2) to improve the quality of the design solutions.

Improving the quality of design solutions is possible by:

- 1) selection of the optimal road-building materials;
- 2) selection of the optimum layers thickness.

In addition, there is a lack of software products, which are based on Ukrainian standards.

The software of CREDO Consortium of Radon UA does not support the recent changes in the regulatory framework [1].

That is why this problem is actual direction.

The first experimental version of the program for non-rigid pavement calculation УКРРДО has been developed at the Department of survey and engineering of highways and airfields (KhNAHU) in 2014. Since then, the program is being complicated and perfected.

Main part

Problems, that have been solved (figure 1):

- 1) creation of the road-building materials database [2];
- 2) creation of the vehicles database;
- 3) creation of the class library for computer-aided calculation;
- 4) creation of the user-friendly interface;
- 5) creation of the report launch function in convenient format.

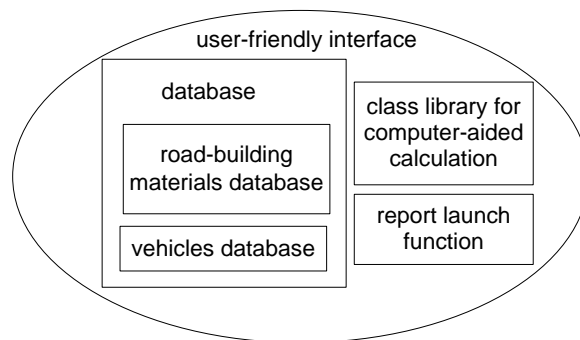


Рисунок 1 – Структура програми по автоматизованому розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу УКРРДО 16

Figure 1 – The structure of non-rigid pavement computer-aided calculation UKRRDO 16

Інтерфейс програми складається з двох головних частин:

- 1) частина, в якій користувач вносить вихідні данні;
- 2) частина, в якій наведено результати розрахунків.

The program interface consists of two main parts:

- 1) the data input part;
- 2) the results of calculations part.

Головна особливість інтерфейсу програми – представлення вихідних даних і результатів розрахунків на одному вікні.

The main feature of the interface is presentation of initial data and calculation results in a single window.

Частина, в якій користувач вносить вихідні данні складається з чотирьох блоків:

- 1) вихідні данні за результатами техніко-економічних вишукувань;
- 2) вихідні данні для формування характеристик ґрунту земляного полотна;
- 3) вихідні данні для формування характеристик дорожнього одягу;
- 4) данні по шарам дорожнього одягу.

The data input part consists of four blocks:

- 1) economic surveys data;
- 2) initial data for soil subgrade forming;
- 3) initial data for pavement forming;
- 4) pavement structure data.

Блок вихідних даних за результатами техніко-економічних вишукувань складається з 4 пунктів (рисунок 2):

- 1) найменування дороги;
- 2) перспективна (на 20 років) середньорічна добова інтенсивність руху;
- 3) коефіцієнт приросту інтенсивності руху;
- 4) склад транспортного потоку.

The economic surveys data consists of four item (figure 2):

- 1) object title;
- 2) perspective (20 years) the average annual daily traffic;
- 3) rate of change in traffic;
- 4) transport flow percentage.

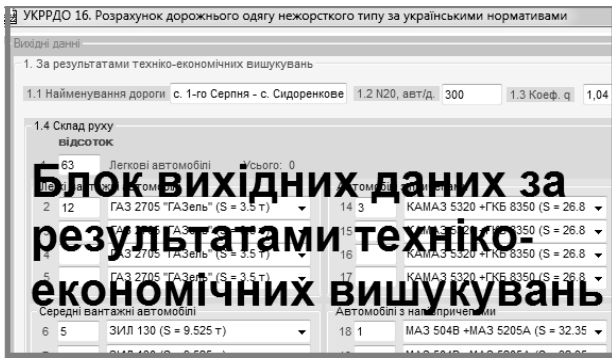


Рисунок 2 – Блок вихідних даних за результатами техніко-економічних вишукувань

Склад транспортного потоку може мати до 25 транспортних засобів. У полі по кожному обраному типу транспортного засобу потрібно поставити його відсоток у потоці. Пункти чекбоксів генеруються з бази даних автомобілів (рисунок 3).



Рисунок 3 – Формування складу потоку

База даних автомобілів була заповнена з нормативного документу [2].

Блок вихідних даних для формування характеристик ґрунту земполотна складається з 5 пунктів (рисунок 4):

- 1) дорожньо-кліматична зона;
- 2) номер дорожнього району;
- 3) тип місцевості за зволоженням;
- 4) ґрунт земполотна;
- 5) щільність нижнього шару конструкції дорожнього одягу.

Пункти для заповнення дорожньо-кліматичної зони та номерів дорожнього району мають свою довідку (карту

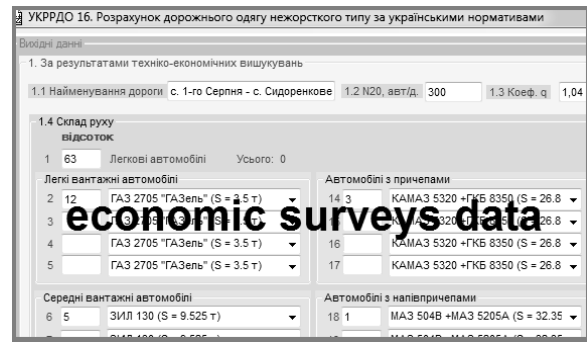


Figure 2 – Economic surveys data

Transport flow may consist of the 25 components. This component has required fields: percentage of vehicles in transport flow. Checkboxes of vehicles are generated from the vehicles database (figure 3).

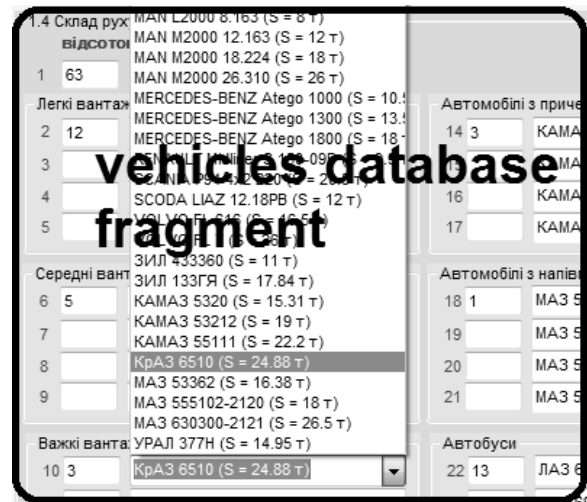


Figure 3 – Transport flow forming

The vehicles database had been filled out the normative document [2].

The initial data for soil subgrade forming consists of five item (figure 4):

- 1) the road-climatic area;
- 2) the number of road region;
- 3) the type of terrain humidification;
- 4) the soil subgrade;
- 5) the density of the lower layer of the pavement.

The road-climatic region item and the number of road area item have help button – map. This map load by «?» - button.

районування), яка підвантажується за допомогою кнопки «?»».

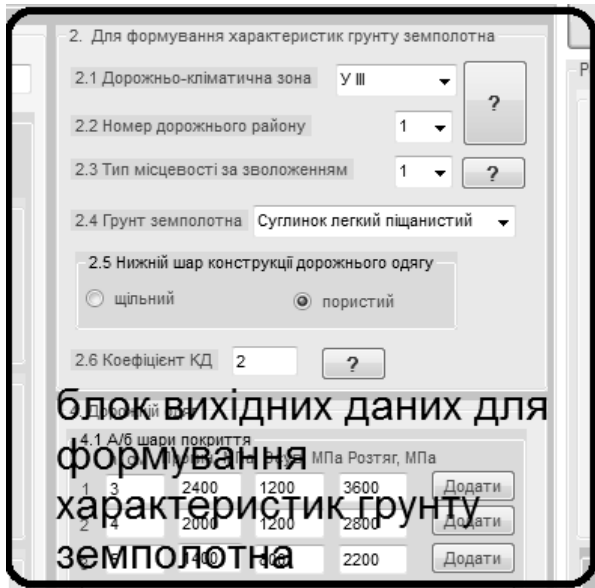


Рисунок 4 – Формування характеристик ґрунту земполотна

Блок вихідних даних для формування характеристик дорожнього одягу складається з 6 пунктів (рисунок 5):

- 1) технічна категорія дороги;
- 2) осьове навантаження;
- 3) перемикач для встановлення колісної схеми;
- 4) тип дорожнього одягу;
- 5) строк служби дорожнього одягу;
- 6) коефіцієнт смуги.

Блок вихідних даних по шарам дорожнього одягу складається з двох головних блоків: блок по асфальтобетоним шарам, та блок по іншим шарам дорожнього одягу.

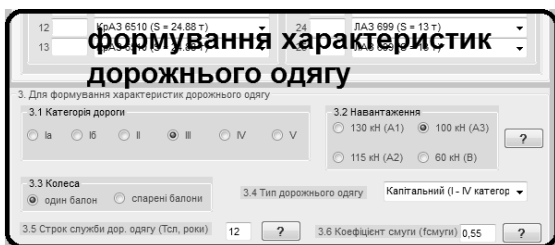


Рисунок 5 – Блок для формування характеристик дорожнього одягу
В цій версії програми (рисунок 5) з'явився перемикач (елемент управління операційної системи) для розрахунку конструкції на 130 кН. У новому нормативному документі

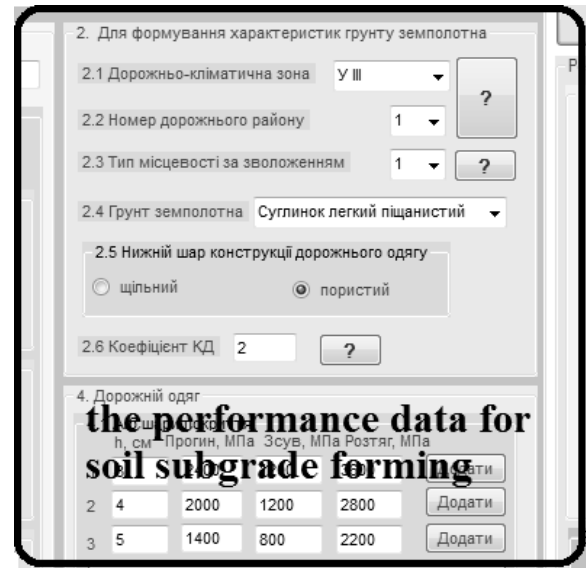


Figure 4 – Soil subgrade forming

The initial data for pavement forming consists of six item (figure 5):

- 1) technical road category;
- 2) axial load;
- 3) RadioBatton to determine the wheel scheme;
- 4) type of pavement;
- 5) service life of the pavement;
- 6) traffic lane coefficient.

The pavement structure data consists of two GroupBoxes: asphalt layers and other layers of pavement structure.

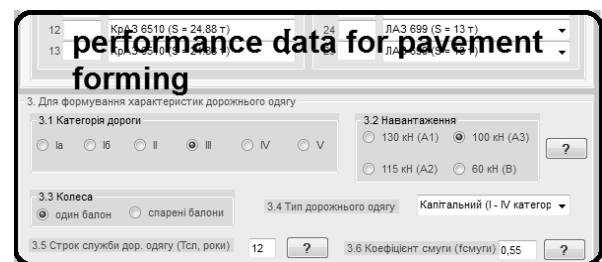


Figure 5 – Pavement forming

Here, in this version of the program RadioBatton (control of the operating system) for 130 kN axial load calculations has been appeared (figure 5). The new Ukrainian standard provides the calculation for axle load of 130 kN [3].

передбачається розрахункове навантаження на вісь 130 кН [3].

Потрібний модуль пружності розраховується за формулою [3]:

$$E_{нотр} = 42,843 \cdot \ln \left(\sum N_{сум} \right) \cdot C, \quad (1)$$

де $N_{сум}$ – сумарна розрахункова кількість прикладання розрахункового навантаження на найбільш завантажену смугу, одиниць/добу;
 C – коефіцієнт, який залежить від розрахункового навантаження.

Маємо емпіричну залежність коефіцієнту C від розрахункового навантаження (рисунок 6).

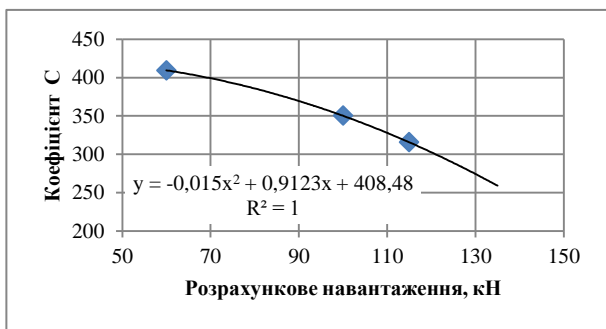


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнту C від розрахункового навантаження

Залежність коефіцієнту C від розрахункового навантаження наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнту C від розрахункового навантаження

Розрахункове навантаження, кН	Коефіцієнт C
60	409,4
100	350,21
115	315,6
130	273,579

Мінімальний потрібний модуль пружності знаходимо з діючих нормативів [2] методом екстраполяції (рисунок 7).

Required elastic modulus is calculated by the formula [2]:

$$E_{req} = 42,843 \cdot \ln \left(\sum N_{sum} \right) \cdot C, \quad (1)$$

where N_{sum} - the total estimated applying number of normative load on the busiest traffic lane, units/day;
 C - coefficient that depends on the normative load.

We have the coefficient C empirical dependence on normative load (figure 6).

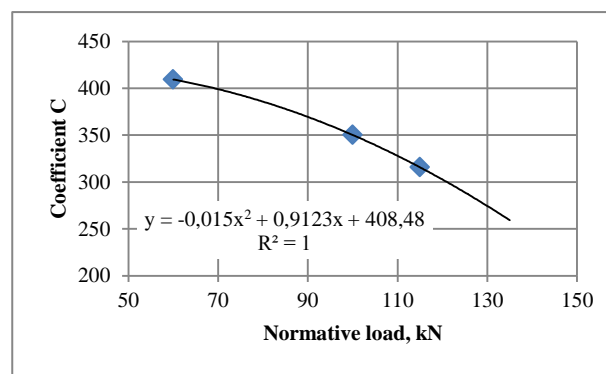


Figure 6 – The coefficient C empirical dependence on normative load

The coefficient C empirical dependence on normative load shown in the table 1.

Table 1 – The coefficient C dependence on normative load

Normative load, kN	Coefficient C
60	409,4
100	350,21
115	315,68
130	273,579

The minimum required elastic modulus has been determined from the existing norms [2] by extrapolation (figure 7).

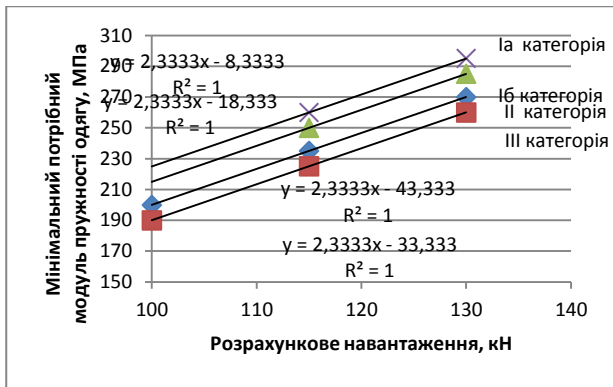


Рисунок 7 – Залежність мінімального потрібного модулю пружності від розрахункового навантаження

Результати розрахунків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Мінімальний потрібний модуль пружності одягу для розрахункового навантаження 130 кН

Категорія дороги	Мінімальний потрібний модуль пружності одягу для розрахункового навантаження 130 кН E_{min} , МПа
Ia	295
Iб	285
II	260

Такий же принцип було використано при знаходженні коефіцієнтів приведення до розрахункового навантаження 130 кН. Детально ці дослідження описані у студентській роботі [4].

В блоці характеристик шарів дорожнього одягу інженер-дорожник встановлює товщину шарів (рисунок 8) дорожнього одягу та формує характеристики матеріалів за допомогою підвантаження двох вікон: асфальтобетонні шари (рисунок 9) та шари основи. Ці вікна відкриваються кнопками «Додати».

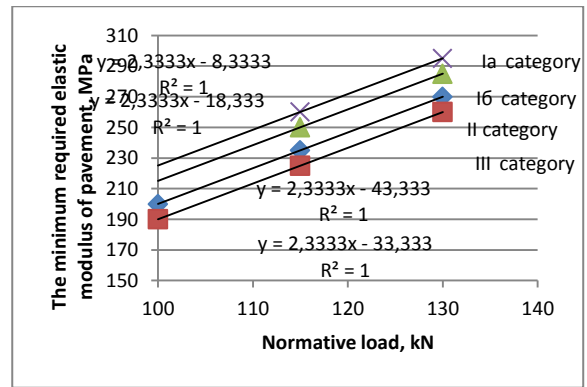


Figure 7 – The minimum required elastic modulus dependence on normative load

The calculation results are shown in table 2.

Table 2 – The minimum required elastic modulus for normative load 130 kN

Road category	The minimum required elastic modulus for normative load 130 kN E_{min} , MPa
Ia	295
Iб	285
II	260

The same principle had been used in finding the conversion coefficients for 130 kN normative load. Details of these studies were described in the student paper [4].

In the layer characteristics block a road designer assigns thickness of pavement layers (figure 8) and forms characteristics of material through two windows: asphalt layer (figure 9) and pavement structure layer. These windows open by the Add buttons.

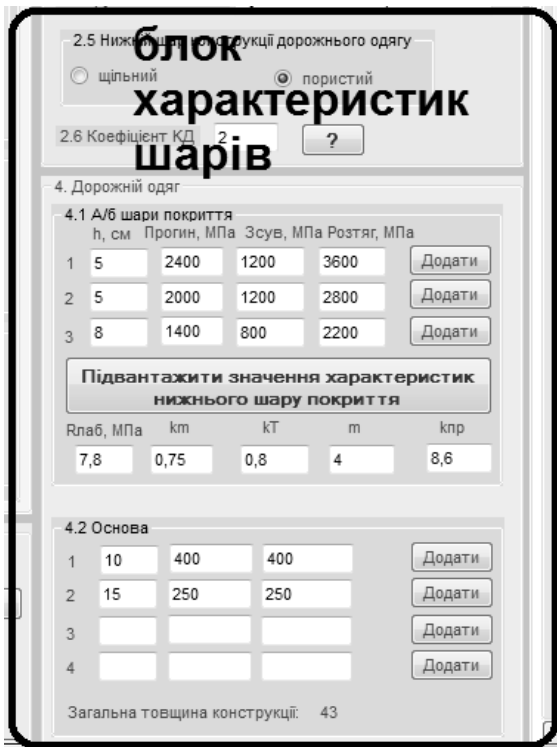


Рисунок 8 – Блок для заповнення характеристик шарів дорожніх одягів



Figure 8 – The layer characteristics block

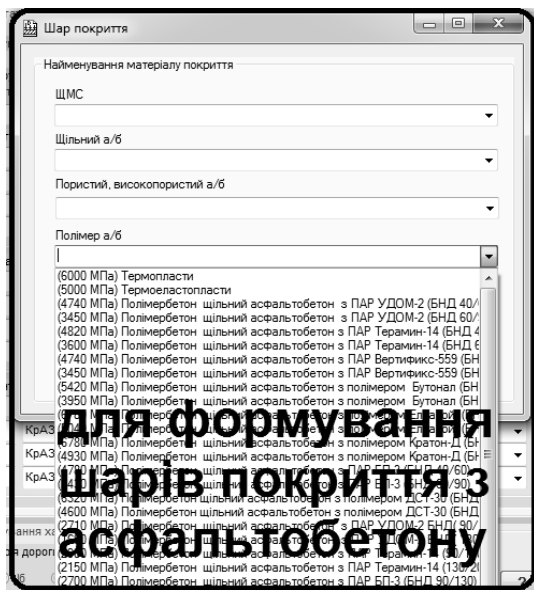


Рисунок 9 – Вікно для формування шарів покриття з асфальтобетону

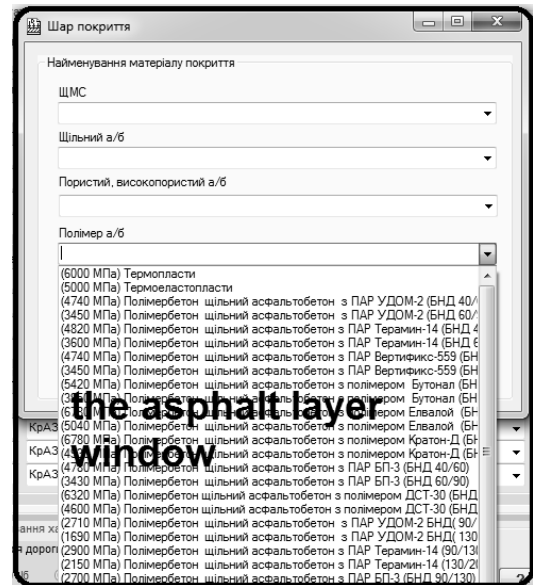


Figure 9 – The asphalt layer window

Після вибору потрібного матеріалу для шару, текстові поля характеристик на головному вікні автоматично заповнюються з бази даних матеріалів (рисунок 8).

Automatically TextBoxes are filled in characteristics of materials from the road-building materials database (figure 8).

Після заповнення вихідних даних, інженер натискає кнопку «Прикласти навантаження» («Розрахувати», рисунок 10). Розрахунок

After forming initial data, a road designer must press applying load button (button “To calculate”, figure 10). Calculations are

проводиться за трьома критеріями: за допустимим пружним прогином, за умовою зсувостійкості земляного полотна та шарів з малозв'язних матеріалів, по міцності на розтяг при згині.

performed for three strength criteria: permissible elastic deflection, shear strength of subsoil and monolithic layers resistance of tensile bending.

Прикласти навантаження	
Результати розрахунків	
1. Загальні результати	2. Пружний прогин
Розр. вологість $W_t = 0,69$	$E_{zag1} = 86,36$ МПа
Прив. інтенсивність $N_p = 34,69985$	$E_{zag2} = 117,51$ МПа
Кільк. розр. діб $T_{rdr} = 130$	$E_{zag3} = 171,08$ МПа
Коефіцієнт $K_l = 1,38$	$E_{zag4} = 209,61$ МПа
Коефіцієнт суми $K_s = 15,03$	$E_{zag5} = 0$ МПа
Сум. кільк. проїздів $\Sigma N_p = 42544$	$E_{zag6} = 0$ МПа
Коефіцієнт $k_{NC} = 1$	$E_{zag} = 254,94$ МПа
Коефіцієнт $k_{Np} = 1$	$E_{потр} = 190$
Тиск у камерах, МПа $p = 0,6$	$E_{zag}/E_{потр} = 1,34$
Діаметр штамп, см $D_D = 37,1$	Кмц_прогин = 1,33
Модуль грунту $E_b = 608,13953$	задовільно
Кут внут. тертя, град $\varphi = 19,4$	
Коеф. зчеплення $\tau = 0,02716$	
3. Опір зсуву	4. Опір розтягу
$E_b = 608,13953$	$h_b = 18$
$h/D = 1,15903$	$E_b = 2755,56$
$E_b/E_{gr} = 11,17904$	$E_n = 117,51$
$\varphi_N = 19,4$	$h/D = 0,48518$
$\tau = 0,02716$	$E_b/E_{gr} = 23,44958$
$T = 0,0163$	$\sigma_{номогр} = 1,82$
$CN = 0,0148$	$\sigma = 1,09$
$T_{gr} = 0,03566$	$k_{kl} = 0,59881$
$T_{gr}/T = 2,19$	$R_p = 2,80243$
Кмц_зсув = 1,4	$R_p/\sigma = 2,571$
задовільно	Кмц_розтяг = 1,29
	задовільно
Зформувати звіт та передати у Excel	

Прикласти навантаження	
Результати розрахунків	
1. Загальні результати	2. Пружний прогин
Розр. вологість $W_t = 0,69$	$E_{zag1} = 86,36$ МПа
Прив. інтенсивність $N_p = 34,69985$	$E_{zag2} = 117,51$ МПа
Кільк. розр. діб $T_{rdr} = 130$	$E_{zag3} = 171,08$ МПа
Коефіцієнт $K_l = 1,38$	$E_{zag4} = 209,61$ МПа
Коефіцієнт суми $K_s = 15,03$	$E_{zag5} = 0$ МПа
Сум. кільк. проїздів $\Sigma N_p = 42544$	$E_{zag6} = 0$ МПа
Коефіцієнт $k_{NC} = 1$	$E_{zag} = 254,94$ МПа
Коефіцієнт $k_{Np} = 1$	$E_{потр} = 190$
Тиск у камерах, МПа $p = 0,6$	$E_{zag}/E_{потр} = 1,34$
Діаметр штамп, см $D_D = 37,1$	Кмц_прогин = 1,33
Модуль грунту $E_b = 608,13953$	задовільно
Кут внут. тертя, град $\varphi = 19,4$	
Коеф. зчеплення $\tau = 0,02716$	
3. Опір зсуву	4. Опір розтягу
$E_b = 608,13953$	$h_b = 18$
$h/D = 1,15903$	$E_b = 2755,56$
$E_b/E_{gr} = 11,17904$	$E_n = 117,51$
$\varphi_N = 19,4$	$h/D = 0,48518$
$\tau = 0,02716$	$E_b/E_{gr} = 23,44958$
$T = 0,0163$	$\sigma_{номогр} = 1,82$
$CN = 0,0148$	$\sigma = 1,09$
$T_{gr} = 0,03566$	$k_{kl} = 0,59881$
$T_{gr}/T = 2,19$	$R_p = 2,80243$
Кмц_зсув = 1,4	$R_p/\sigma = 2,571$
задовільно	Кмц_розтяг = 1,29
	задовільно
Зформувати звіт та передати у Excel	

Рисунок 10 – Блок результатів розрахунків

Figure 10 – Calculation results block

Розрахунки у програмі ведуться згідно Відомчих будівельних норм 2004 року [2] з поправками. Коректність проектних рішень контролюється за допомогою індикаторів по кожному критерію розрахунку: задовільно (індикатор синього кольору) чи не задовільно (індикатор червоного кольору).

The calculations is conducted according to Departmental building norms [2] as amended. Correctness of design solutions is controlled via the indicators: satisfactorily (blue indicator) and unsatisfactorily (red indicator).

Якщо користувача результати розрахунків задовольняють, він може сформувати звіт та передати його у електронні таблиці Excel.

If the calculation results satisfy a user, he can generate a report and submit it to a Excel spreadsheet.

Висновки

У статті розглянута проблема автоматизованого розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу за українськими нормативами.

Детально розглянуто інтерфейс та особливості програми УКРРДО 16.

Приділено особливу увагу до розрахунку у програмі дорожнього одягу на розрахункове навантаження 130 кН. Цей розрахунок можна використовувати тимчасово до виходу нових нормативів у якості приблизної оцінки.

Література

1. Веб-сайт консорціуму CREDO.
<http://www.credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/credo-radon-ru.html> (посилання дійсне на 1.10.2016)
2. ВБН В.2.3-218-186-2004. Відомчі будівельні норми України. Дорожній одяг нежорсткого типу. Вводяться на зміну ВСН 46-83.– К.: Укравтодор, 2004. – 175 с.
3. http://www.ukravtodor.gov.ua/uploads/files/2014-09-08-10-10-48-.dbn_v.2.3-4-201kh_2014.07.28.pdf (посилання дійсне на 1.10.2016).
4. Колосов В.Ю. Визначення коефіцієнтів приведення по автомобілям до розрахункового навантаження на вісь 130 кН // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва і землеустрою» - Харків: ХНАДУ, 2016. – С.178-182.

Рецензенти:

Мозговий В.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:

Mozhovy V.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Conclusions

In this article general problem of non-rigid pavement computer-aided calculation by Ukrainian standards has been considered.

The interface and specifics of computer program UKRRDO 16 has been shows in detail.

Special attention to computer-aided calculation on the normative load 130 kN was given. Temporarily one can use this calculation for rough estimate until new standards will be used.

Literature

1. The website of the CREDO Consortium. Available at: <http://www.credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/credo-radon-ru.html> (accessed 1.10.2016)
2. IBS В.2.3-218-186-2004. Industry building standards. Non-rigid pavement. Introduced instead of All-UnionBS 46-83.– К.: Ukravtodor, 2004. – 175 p.
3. http://www.ukravtodor.gov.ua/uploads/files/2014-09-08-10-10-48-.dbn_v.2.3-4-201kh_2014.07.28.pdf (accessed 1.10.2016).
4. Kolosov V.Yu. Determining of conversion coefficients for 130 kN normative load // International scientific-practical conference "Modern GIS and computer technology innovation road sector, airfield construction and land" - Kharkiv: KHNAHU, 2016. – P.178-182.

Стаття надійшла до редакції: **19.10.2016 р.**