



Co-funded by the  
Tempus Programme  
of the European Union

Публікація є результатом реалізації проекту:  
TEMPUS CERES: Центри передового досвіду для молодих вчених  
This publication is the result of the project implementation:  
TEMPUS CERES: Centers of Excellence for young REsearchers.  
Reg.no.544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES



УДК 388.1

Ілляш С.І., Тимошук О.Ю.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРТІСНИХ АСПЕКТІВ БУДІВНИЦТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

**Анотація.** Тенденція до збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах загального користування та навантаження на вісь транспортних засобів, змушує науковців дорожньої галузі розробляти науково-обґрунтовані методи для збереження існуючої та розвитку нової транспортної мережі України. Одним із можливих варіантів для вирішення таких задач є будівництво автомобільних доріг із жорстким (цементобетонним) покриттям. Але будь-яке рішення має бути обґрунтоване з урахуванням технічних та економічних складових. В даній статі наведено результати дослідження вартісних аспектів будівництва цементобетонних дорожніх покриттів.

Об'єкт дослідження – конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги різних типів.

Мета роботи – визначення доцільності будівництва цементобетонних покриттів шляхом техніко-економічного порівняння різних варіантів конструкцій дорожнього одягу.

Методи дослідження – аналітичний, розрахунковий, порівняльний.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, дорожній одяг, техніко-економічне порівняння, нове будівництво, цементобетон.

UDC 388.1

### RESEARCH OF COST ASPECTS OF CEMENT PAVEMENTS CONSTRUCTION

**Abstract.** The tendency to increasing traffic volume on public roads and to increased axle loads of vehicles makes the road scientists to develop scientifically justified methods for preserving the existing and developing the new transport network of Ukraine. One of the options for solving such issues is the construction of roads with rigid (cement concrete) pavement. However, any solution must be justified considering technical and economic components. This paper presents the results of the research of cost aspects of cement pavements construction.

The object of study – construction of pavement road different types.

Purpose – determine the feasibility of building cement coating by technical and economic comparison of different options of pavement structures.

Research methods – analytical, current, comparative.

**Keywords:** highway, road pavement, feasibility comparison, new construction, cement concrete.

УДК 388.1

Илляш С.И., Тимошук А.Ю.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТОИМОСТНЫХ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Аннотация.** Тенденция к увеличению интенсивности движения на автомобильных дорогах общего пользования и нагрузки на ось транспортных средств, заставляет ученых дорожной отрасли разрабатывать научно-обоснованные методы для сохранения существующей и развития новой транспортной сети Украины. Одним из возможных вариантов для решения таких задач является строительство автомобильных дорог с жестким (цементобетонным) покрытием. Но любое решение должно быть обосновано с учетом технических и

экономических составляющих. В данной статье приведены результаты исследования стоимостных аспектов строительства цементобетонных дорожных покрытий.

Объект исследования – конструкции дорожной одежды автомобильной дороги различных типов.

Цель работы – определение целесообразности строительства цементобетонных покрытий путем технико-экономического сравнения различных вариантов конструкций дорожной одежды.

Методы исследования – аналитический, расчетный, сравнительный.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожная одежда, технико-экономическое сравнение, новое строительство, цементобетон..

## **Вступ**

Динамічне зростання інтенсивності руху на автомобільних дорогах загального користування та навантаження на вісь транспортних засобів, що спостерігається в Україні протягом останнього десятиліття, вимагає безперервного розвитку дорожньої мережі, вдосконалення конструкцій дорожніх одягів. Невідповідність стану автомобільних доріг вимогам транспортного потоку знижує швидкість руху, збільшує зношування автомобілів і витрати на їх ремонт, підвищує витрати палива, спричиняє зниження рівня безпеки руху та зростанню кількості дорожньо-транспортних пригод.

## **Основна частина**

Сучасні конструкції автомобільних доріг і технології їх будівництва засновані на двох альтернативних, конкуруючих типах дорожнього покриття – асфальтобетонним і цементобетонним.

Значне зменшення термінів служби асфальтобетонних покриттів, яке викликане динамічним зростанням інтенсивності руху на основних магістральних автомобільних дорогах спричиняє постійний пошук альтернативи будівництва автомобільних доріг з асфальтобетонними покриттями. Одним із альтернативних варіантів для вирішення таких задач є будівництво автомобільних доріг із жорстким (цементобетонним) покриттям.

З метою визначення доцільності використання окремого типу дорожнього одягу при будівництві автомобільної дороги було виконано техніко-економічне порівняння різних варіантів конструкцій.

## **Introduction**

The dynamic growth of traffic volume on public roads and increased axle loads of vehicles that has been observed in Ukraine over the past decade requires continuous development of the road network and upgrading the road pavement designs. Unavailability of highways to traffic flow demands results in speed reduction, increased wear of motor vehicles and growth of repair costs, causes increased fuel consumption and reduced traffic safety level, as well as an increased number of traffic accidents.

## **Main part**

Modern road design and construction technologies are based on two alternative competing pavement types - asphalt and cement pavements.

Significant reduction in service life of asphalt pavements which is caused by the dynamic growth of traffic volume on major trunk roads stimulates a constant search for an alternative to the construction of highways with asphalt pavement. One of the alternatives to solve such issue is the construction of roads with rigid (cement concrete) pavement.

In order to determine the feasibility of using a particular type of pavement for the construction of the highway a feasibility comparison study of different design options was fulfilled.

Розрахунок конструкцій дорожніх одягів

Дорожні одяги не залежно від типу необхідно розраховувати з урахуванням складу транспортного потоку, перспективної інтенсивності руху до кінця строку служби одягу, ґрунтових, гідрогеологічних і природно-кліматичних умов.

Дорожній одяг нежорсткого типу (асфальтобетон) конструюють з урахуванням надійності конструкції дорожнього одягу.

Конструювання та розрахунок дорожнього одягу нежорсткого типу виконаний згідно з ВБН В.2.3-218-186 [1].

Проектування дорожнього одягу жорсткого типу (цементобетон) виконане згідно з ВБН В.2.3-218-008 [2]. В розрахунковій частині визначається розрахункове і нормативне навантаження, розміри основних конструктивних елементів (товщина і довжина плит, товщина шарів основи, армування плит і шарів, відстань між швами розширення) для різних видів покриття, категорій доріг, для будь-яких величин транспортного навантаження, ґрунтових і природно-кліматичних умов.

Методологія оцінки порівняння конструкцій дорожніх одягів

Визначення ефективності різних варіантів конструкцій дорожніх одягів здійснене шляхом порівняння трудових та матеріально-технічних витрат, які мають місце протягом всього порівняльного строку ( $T$ ).

Розглянуті варіанти конструкцій дорожніх одягів розрізняють між собою за типами конструкцій, так і за методами організації їх експлуатаційного утримання протягом строку  $T$  (враховані відмінні особливості експлуатаційного утримання дорожніх одягів жорсткого та нежорсткого типів).

Оцінку ефективності влаштування і експлуатації конструкцій дорожніх одягів виконано в розрахунку на 1 пог. км з параметрами і умовами функціонування автомобільної дороги визначеної категорії.

В якості критерію оцінки порівняльної ефективності влаштування і експлуатації

Calculation of pavement design

Regardless of the type, road pavement is to be calculated considering the composition of traffic flow, predicted traffic volume by the end of its service life, as well as geological and climatic conditions.

Non-rigid type of pavement (asphalt concrete) is designed considering the reliability of pavement structure.

Design and calculation of non-rigid pavement type is fulfilled in accordance with the Departmental Construction Norms VBN V.2.3-218-186 [1].

Design of rigid pavement type (cement concrete) is fulfilled in accordance with VBN V.2.3-218-008 [2]. The calculation includes the definition of design and standard loads, the size of basic structural elements (thickness and length of slabs, thickness of foundation layers, reinforcement plates and layers, distance between expansion joints) for different types of pavement, road categories, for any traffic loads, soil and climatic conditions.

Methodology of pavement designs comparing assessment

Defining the effectiveness of different pavement design options is carried out by comparing labor and material costs incurred throughout the comparative period ( $T$ ).

Pavement design options under consideration are distinguished by the design type and by their operating maintenance methods during the period  $T$  (the distinctive features of operating maintenance of rigid and non-rigid pavement types are taken into account). Evaluation of the effectiveness of placement and operation of road pavement designs is fulfilled per 1 running. km basing on the parameters and operation conditions of a certain road category.

As a criterion for assessing the

дорожніх одягів різних типів використане мінімальне значення показника інтегральних витрат  $B_{заг}$ , який включає:

- вартість нового будівництва дорожнього одягу;
- витрати на капітальний та поточні ремонти дорожнього одягу;
- витрати на експлуатаційне утримання дорожнього одягу;

Розрахунок  $i$ -му році, починаючи з наступного року після початку нового будівництва дорожнього одягу, здійснений з урахуванням безризикової норми дисконту  $E$  (у відносних одиницях виміру).

Для порівняння витрат на нове будівництво, ремонти і експлуатаційне утримання конструкцій дорожніх одягів різного типу використано наступну формулу:

$$B_{заг} = B_{бюд} + B_{кр} \times (1+E)^t + \sum_{i=1}^n [B_{пс} \times (1+E)^t] \times n + \sum_{i=1}^m [B_{по_ей} \times (1+E)^t] \times m + \sum B_{се}^p \times (1+E)^t$$

$B_{бюд}$  – вартість нового будівництва 1 км дорожнього одягу;

$B_{кр}$  – витрати на капітальний ремонт дорожнього одягу;

$B_{пс}$  – витрати на поточні середні ремонти дорожнього одягу;

$n$  – кількість поточних середніх ремонтів, які виконуються на протязі порівняльного строку  $T$ ;

$B_{по_ей}$  – витрати на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання дорожнього одягу;

$B_{се}^p$  – втрати користувачів доріг при виконанні ремонтних робіт.

$m$  – кількість років експлуатаційного утримання дорожнього одягу автомобільної дороги за обраним варіантом виконання робіт;

$E$  – безризикова норма дисконту у відносних одиницях виміру;

$(1+E)$  – коефіцієнт дисконтування витрат.

З урахуванням вихідної інтенсивності дорожнього руху розраховані альтернативні варіанти конструкції дорожніх одягів з нежорсткого та жорсткого типу.

comparative effectiveness of placement and operation of various road pavement types the minimum value of integrated costs  $B_{gen}$  is used which includes:

- The cost of new construction of road pavement;
- Costs for capital and current repairs of road pavement;
- Costs for operational maintenance of road pavement;

Calculation of reduced costs in the  $i$ -th year starting with the next year following the beginning of the new pavement construction is carried out considering the risk-free discount rate  $E$  (in relative units).

For comparison of the costs for the new construction, repair and operational maintenance of pavement designs of various types the following formula is used:

$$B_{gen} = B_{cons} + B_{mj} \times (1+E)^t + \sum_{i=1}^n [B_{mid} \times (1+E)^t] \times n + \sum_{i=1}^m [B_{mid+op} \times (1+E)^t] \times m + \sum B_{user} \times (1+E)^t$$

$B_{cons}$  – the cost of new construction of 1 km of pavement;

$B_{mj}$  – the costs for major repairs of pavement;

$B_{mid}$  – the costs for current mid-life repairs of pavement;

$n$  - the number of current mid-life repairs performed during the comparative period  $T$ ;

$B_{mid+op}$  – the costs for current mid-life repairs and operating maintenance of pavement;

$B_{user}$  – the losses of road users when performing repair works.

$m$  – the number of years of operating maintenance of pavement of the highway when using the selected option of works fulfillment;

$E$  – the risk-free discount rate in relative units;

$(1+E)$  – the discount rate costs.

Considering the initial traffic volume, the alternative options of non-rigid and rigid pavements design types were calculated.

Таблиця 1 – Вихідні дані

№ п/п	Вихідні дані	Тип конструкції дорожнього одягу	
		нежорсткий	жорсткий
1	Початок виконання робіт, рік	2014	2014
2	Категорія дороги	II	II
3	Початкова інтенсивність дорожнього руху на ділянці, авт./добу	5000	5000
4	Дорожньо-ліматична зона	У-II	У-II
5	Міжремонтні строки для дороги (рі):		
	- поточний середній ремонт після будівництва (другий поточний)	6 (17)	9 (18)
	- капітальний ремонт	12	21
6	Піріст інтенсивності дорожнього руху, %	4	4
7	Норма дисконту, %	5	5

Конструкція дорожнього одягу нежорсткого типу прийнята з урахуванням вимог ВБН В.2.3-218-186 [1] та складається з наступних шарів (рис. 1).

Конструкція дорожнього одягу жорсткого типу прийнята з урахуванням вимог ВБН В.2.3-218-008 [2] та складається з наступних шарів (рис. 2).

Витрати на спорудження та утримання земляного полотна, влаштування облаштування та елементів обстановки при проведенні техніко-економічного порівняння не враховувались, оскільки вони будуть однаковими для обох варіантів.

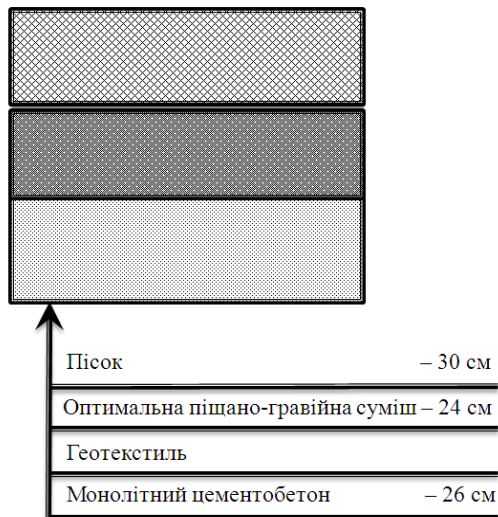
Table 1 – Initial data

№	Initial data	Road pavement design type	
		Non-rigid	Rigid
1	Beginning of works fulfillment, year	2014	2014
2	Road category	II	II
3	Initial traffic volume on the section, vehicles/day	5000	5000
4	Road-climatic zone	У-II	У-II
5	Interrepair time for roads (year):		
	- current mid-life repair after construction (second current repair)	6 (17)	9 (18)
	- capital repair	12	21
6	Growth of traffic volume, %	4	4
7	Discount rate, %	5	5

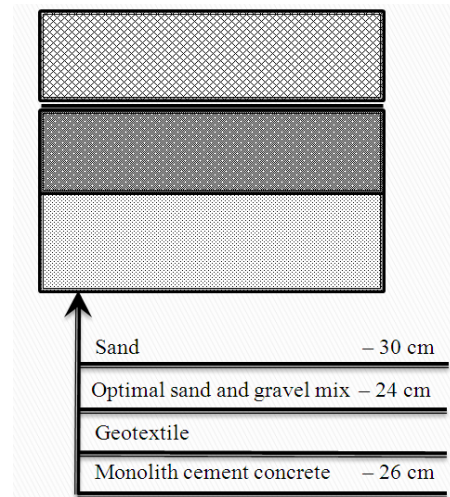
Non-rigid pavement design type is adopted on the basis of the requirements of VBN V.2.3-218-186 [1] and consists of the following layers (fig. 1).

Rigid pavement design type is adopted on the basis of the requirements of VBN V.2.3-218-008 [2] and consists of the following layers (fig. 2).

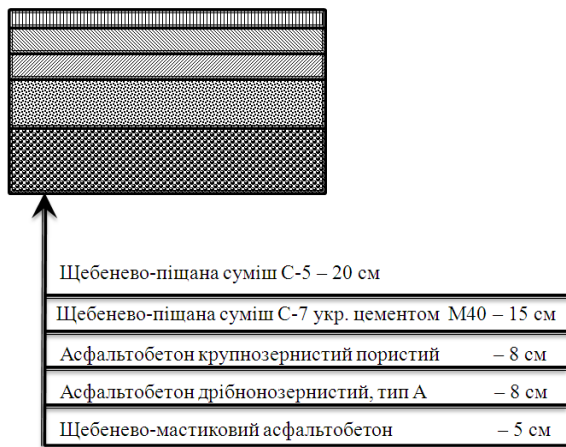
The costs for the construction and maintenance of subgrade, placing and arrangement of road equipment elements during the feasibility comparison study were not taken into account because they are the same for both options.



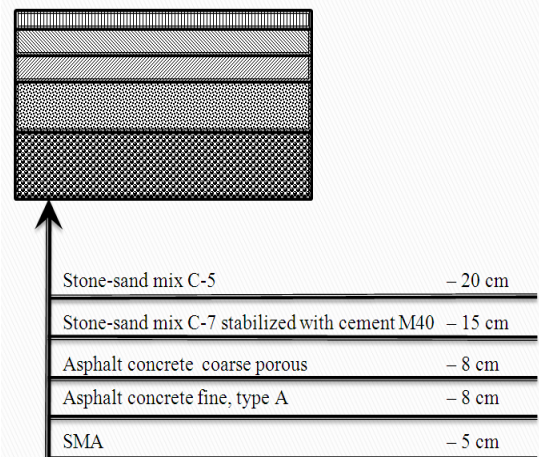
**Рисунок 1** – Конструкція дорожнього одягу нежорсткого типу



**Figure 1** - Non-rigid pavement design type



**Рисунок 2** – Конструкція дорожнього одягу жорсткого типу



**Figure 2** - Rigid pavement design type

Технологічна послідовність виконання робіт прийнята з урахуванням вимог чинних норм та правил [3] і технологічних карт.

Process sequence of works performance, the associated machines and mechanisms were adopted to meet the requirements of existing standards and regulations [3] and flow charts.

Розрахунок вартості витрат на капітальний та поточний ремонт конструкції дорожнього одягу

Calculation of costs for capital and current repairs of pavement design

*Нежорсткий тип конструкції дорожнього одягу*  
Відповідно до табл. 2 ВБН Г.1-218-050 [4] перший після нового будівництва поточний середній ремонт виконується через 6 років експлуатації автомобільної дороги.

*Non-rigid pavement design type*  
According to Table 2 VBN G.1-218-050 [4], the first current mid-life repair after the new construction is carried out after 6 years of the highway operation.

Капітальний ремонт конструкції дорожнього одягу відповідно до таблиці 1 ВБН Г.1-218-050 [4] виконується через 12 років експлуатації автомобільної дороги.

According to Table 1 VBN G.1-218-050 [4], capital repair of pavement design is performed after 12 years of the highway operation.

Наступний поточний середній ремонт виконується через 5 років експлуатації після

The next current mid-life repair is performed after 5 years of operation

капітального ремонту відповідно до табл. 2 ВБН Г.1-218-050 [4] – 17 рік експлуатації автомобільної дороги.

*Жорсткий тип конструкції дорожнього одягу*

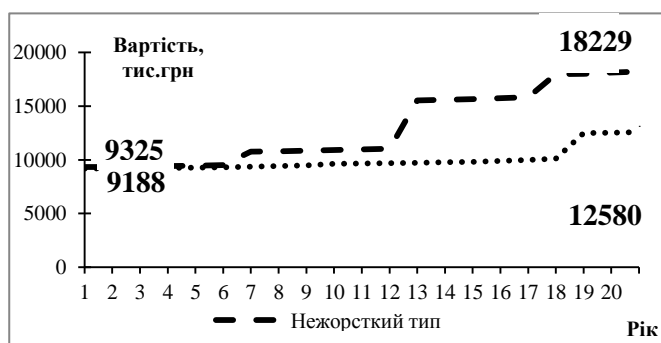
Технологічна послідовність виконання робіт приймається з урахуванням вимог МР В.3.2-218-03449261-674 [5].

Відповідно до табл. 2 ВБН Г.1-218-050 [4] перший після нового будівництва поточний середній ремонт виконується на 9 рік експлуатації автомобільної дороги.

Наступний поточний середній ремонт виконується через 7 років відповідно до табл. 2 ВБН Г.1-218-050 [4] після 1-го поточного середнього ремонту – 16 рік експлуатації автомобільної дороги.

Капітальний ремонт дорожнього одягу не враховується, оскільки порівняльний строк становить 20 років.

На основі вихідних даних, визначаються зведені витрати на будівництво і забезпечення функціонування різних типів конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги. Порівняння витрат на нове будівництво і утримання 1 км конструкцій дорожнього одягу жорсткого та нежорсткого типу наведено на рис. 3.



**Рисунок 3** – Порівняння витрат на нове будівництво і утримання 1 км конструкцій дорожнього одягу жорсткого та нежорсткого типу

ДП «ДерждорНДІ» з II кварталу 2012 року проводить моніторинг змін цін на основні дорожньо-будівельні матеріали. Динаміка зміни цін на асфальтобетонну та бетонну суміші, протягом 2012 - III кварталу 2016 років наведено на рисунках 4 та 5.

after capital repair, according to Table 2 VBN G.1-218-050 [4], that is the 17<sup>th</sup> year of the highway operation.

*Rigid pavement design type*

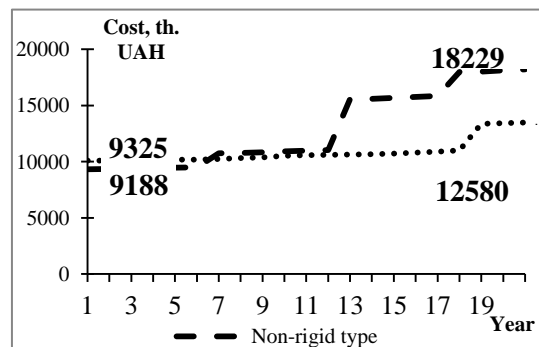
Process sequence of works performance is adopted to meet the requirements of the Guidelines MR V.3.2-218-03449261-674 [5].

According to Table 2 VBN G.1-218-050 [4], the first current mid-life repair after the new building is to be performed during the 9<sup>th</sup> year of the highway operation.

The next current mid-life repair is to be performed in 7 years, according to Table 2 VBN G.1-218-050 [4] after the **first current** mid-life repair- that is the 16<sup>th</sup> year of the highway operation.

Major repair of pavement is not taken into account, as a comparative term is 20 years.

Based on the initial data, consolidated construction costs for the construction and functioning of different road pavement design types are defined. Comparison of new construction and maintenance costs of 1 km of pavement of rigid and non-rigid design types shown in Figure 3.



**Figure 3** – Comparison of new construction and maintenance costs of 1 km of pavement of rigid and non-rigid design types

Starting with the second quarter of 2012, DerzhdorNDI SE monitors changes in prices of basic road construction materials. Dynamics of price of asphalt and concrete mixes during the period from 2012 through the third quarter of 2016 are shown in Figures 4 and 5.

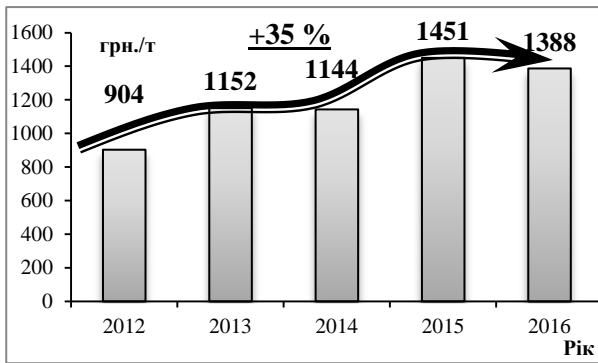


Рисунок 4 – Динаміка зміни ціни на асфальтобетонну суміш

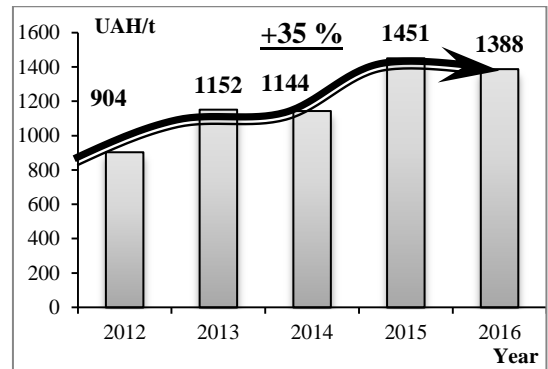


Figure 4 – Dynamics of prices of asphalt mix

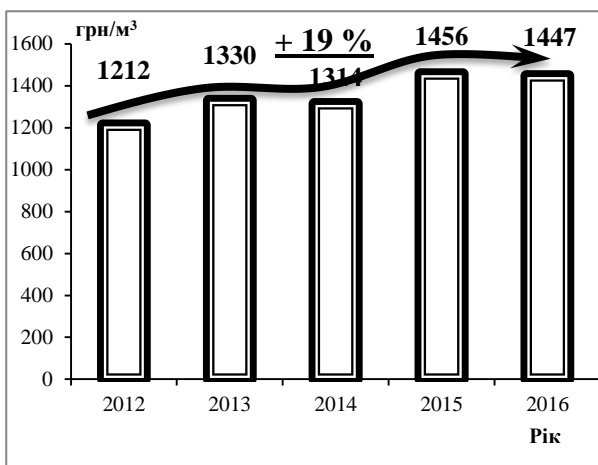


Рисунок 5 – Динаміка зміни ціни на бетонну суміш

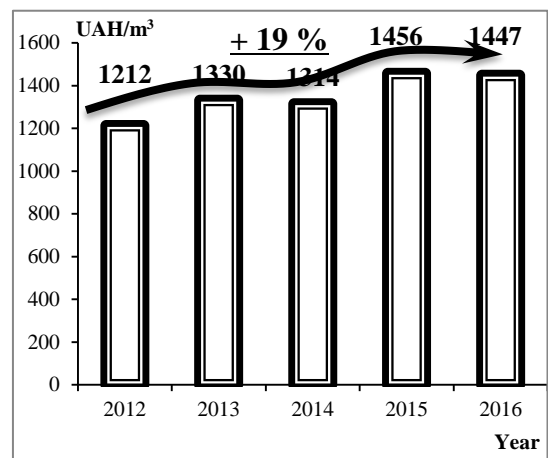


Figure 5 – Dynamics of prices of concrete mix

Для порівняння впливу ціни на кінцеві витрати з будівництва і утримання конструкцій дорожнього одягу, змодельовано 2 сценарії, що наведені на рисунках 6 та 7.

To compare the effects of the material component price on the final cost of construction and maintenance of pavement designs, 2 scenarios have been modeled that are shown in Figs. 6 and 7.

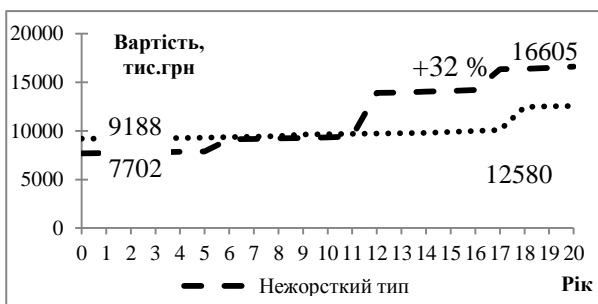


Рисунок 6 – Витрати на будівництво та утримання 1 км різних типів конструкцій дорожнього одягу (вартість асфальтобетонної суміші знижено на 35%)

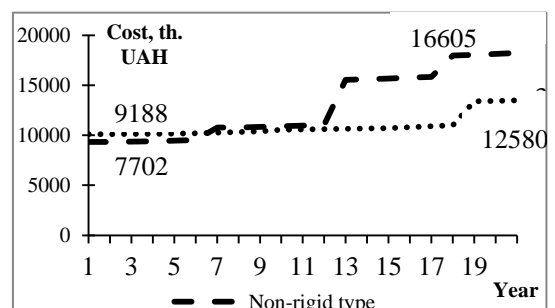
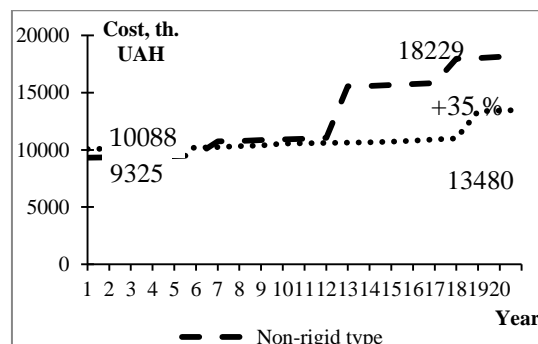
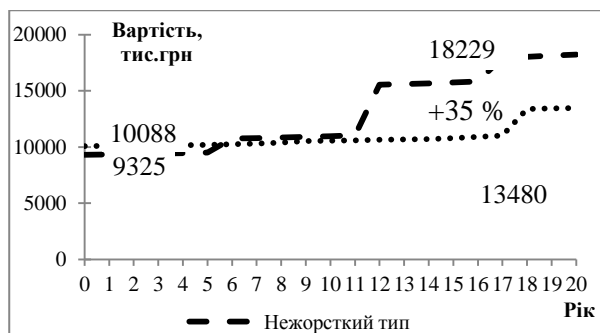


Figure 6 – Cost of construction and maintenance of 1 km of various pavement design types (cost of asphalt mix is reduced by 35%)





**Рисунок 7** – Витрати на будівництво та утримання 1 км різних типів конструкцій дорожнього одягу (вартість бетонної суміші збільшено на 30 %)

**Figure 7** - Cost of construction and maintenance of 1 km of various pavement design types (cost of concrete mix is increased by 30%)

Графік на рисунку з показує, що з урахуванням усереднених цін на матеріали станом на III квартал 2016 року економічно вигіднішим є будівництво цементобетонних покриттів, оскільки економія на кінець розрахункового періоду становить 45 %.

Graph in the Figure shows that considering the average prices of materials as of the third quarter 2016, the construction of cement pavements is economically sounder because savings at the end of the calculation period will make 45%.

При зниженні вартості асфальтобетонної суміші на 35 % (рис.6) ситуація різко змінюється. Ефективність будівництва і експлуатації цементобетонних покриттів починається лише з 12-го року. Але на кінець розрахункового періоду всерівно економія становить близько 30 %.

With the reduced cost of asphalt mix by 35% (Figure 6), the situation changed dramatically. The efficiency of the construction and operation of cement pavements starts with the 12<sup>th</sup> year only. But at the end of the calculation period savings will make about 30%.

При збільшенні вартості бетонної суміші на 30 % також дає перевищення вартості будівництва цементобетонних покриттів у порівнянні з асфальтобетонними (рис. 7). Але в кінцевому випадку всерівно є економія за рахунок менших витрат на ремонти та утримання цементобетонних покриттів.

Increased cost of concrete mix by 30% results also in the growth of cement pavements construction costs compared to asphalt ones (Fig. 7). But ultimately, there is saving due to lower repair and maintenance costs of cement pavements.

### Висновки

### Conclusions

Таким чином, на основі проведеного аналізу та з урахуванням отриманих результатів розрахунку, можна зробити наступні висновки:

Thus, the following conclusions can be drawn on the basis of the conducted analysis and the results of calculation:

1. Вартість будівництва будь-якого типу конструкції дорожнього одягу є надто залежним від вартості будівельних матеріалів та частки використання місцевих матеріалів.
2. В довгостроковій перспективі (10 - 20 років) доцільнішим є будівництво цементобетонних покриттів. При цьому також необхідно враховувати, що цементобетонні покриття здатні сприймати більші навантаження, ніж асфальтобетонні, що дає додаткову соціально-

1. The construction cost of any type of pavement design is too dependent on the cost of construction materials and the share of local materials used.
2. In the long term (10 - 20 years) the construction of cement pavements is more expedient. It should also be taken into consideration that cement pavements can bear heavier loads than asphalt pavements which provides

економічну ефективність.

3. Враховуючи, що вартість бітуму більш прив'язана до курсу іноземних валют, то в таких умовах найбільш оптимальним рішенням є застосування цементу.

4. В кожному конкретному випадку при виборі типу конструкції дорожнього одягу необхідно проводити передпроектне техніко-економічне порівняння, яке і дасть змогу правильно оцінити ефективність застосування того чи іншого конструктиву

additional social and economic efficiency.

3. Taking into account the fact that the price of bitumen is more tied to the exchange rate, the use of cement is the best solution.

4. In each specific case, when choosing the type of pavement design, the pre-design feasibility and comparison study should be fulfilled which will allow proper assessment of the efficiency of the opted pavement design type use.

### **Література**

1. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
2. ВБН В.2.3-218-008-97 Споруди транспорту. Проектування та будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.
3. ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
4. ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування.
5. МР В.3.2-218-03449261-674:2007 Методичні рекомендації з ремонту цементобетонних покриттів автомобільних доріг.

#### **Рецензенти:**

Яценко І. В., канд. екон. наук, Національний транспортний університет.

Канін О.П., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Yatsenko I. V., Cand. Econ. Sci., National Transport University.

Kanin A. P., Cand. Engen. Sci., National Transport University.

### **References**

1. VBN V.2.3-218-186-2004 Transport facilities. Non-rigid pavement design type.
2. VBN V.2.3-218-008-97 Transport facilities. Design and construction of rigid pavements and of pavements with rigid layers.
3. DBN V.2.3-4: 2015 Transport facilities. Highways. Part I. Design. Part II. Construction.
4. VBN G.1-218-050-2001 Interrepair terms of road pavements and surfaces operation on public roads.
5. MR V.3.2-218-03449261-674: 2007 Guidelines for the repair of cement pavements of highways.

Стаття надійшла до редакції: **30.09.2016 р.**