

7. Логачев В.Г., Минин И.В. Метод стабилизации положения и управления квадрокоптером в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11 (часть 1) С. 85-91. [Logachev V.G., Minin I.V. A method of stabilizing the position and controlling a quadcopter in space using data from inertial and visual sensors // *Fundamentalnie Issledovaniya*. 2015. № 11 (Part 1) P. 85-91]. (in Russian)
8. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira. Modeling, Identification and Control of a Quadrotor Aircraft. Master's Thesis. Czech Technical University, Prague. 2011. 75 P.
9. Яковлев К.С., Макаров Д.А., Баскин Е.С. Метод автоматического планирования траектории беспилотного летательного аппарата в условиях ограничений на динамику полета // *Искусственный интеллект и принятие решений*. № 4, 2014, С. 3-17. [Yakovlev K.S., Makarov D.A., Baskin Y.S. A method of automatic planning of the flight path of an unmanned aerial vehicle under conditions of restrictions on flight dynamics // *Iskusstvenniy Intellekt i Prinyatie Resheniy*. № 4, 2014, P. 3-17]. (in Russian)
10. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. ГОСТ 20058-80. Москва, 1980, 52 С. [Dynamics of aerial vehicles in the atmosphere. Terms, definitions and designations. GOST 20058-80. Moscow, 1980, - 52 P]. (in Russian)
11. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Кинематика, статика, динамика материальной точки. Ч.1. М.: Наука, 1965, 468 С. [Buchholz N.N. The basic course theoretical mechanics. Kinematics, statics, dynamics of a material point. Part 1. M.: Nauka, 1965, 468 P]. (in Russian)
12. Alderete T.S. "Simulator Aero Model Implementation" NASA Ames Research Center, Moffett Field, California. P. 21. <https://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/publications/hitl/rtsim/Toms.pdf>
13. Luukkonen T. Modelling and Control of Quadcopter. School of Science, Espoo, August 22, 2011. P. 26. [https://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11\\_public.pdf](https://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11_public.pdf)
14. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Динамика системы материальных точек. Ч.2. М.: Наука, 1966, 332 С. [Buchholz N.N. The basic course theoretical mechanics. Dynamics of a system of material points. Part 2. M.: Nauka, 1966, 332 P]. (in Russian)

**Буй Ван Туен (Bui Van Tuyen)**

*Master, faculty of civil construction*

*Van Lang University - Ho Chi Minh city – Vietnam*

**Чу Донг Сюань (Tu Dong Xuan)**

*Doctor, faculty of civil construction*

*Van Lang University*

*Ho Chi Minh city - Vietnam*

## **ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОНУ, ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**Анотація.** В статті відзначено, що для будівництва доріг і благоустрою території у всьому світі застосовують асфальтобетон, що дає якісне і довговічне покриття. Асфальтобетон є надзвичайно популярним матеріалом який використовується в сучасній будівельній галузі. Відзначно, що може бути отриманий додатковий ефект від отримання нових знань про процес виробництва асфальтобетонної суміші. Так, якщо присутні і деякі показники компонентів асфальтобетонної суміші, і показники якості готової продукції, то за допомогою розробленої математичної моделі є можливість досліджувати статистичні технологічні залежності виду  $\omega_m - \varphi(v_i)$  і отримати моделі технологічного процесу виробництва асфальтобетонної суміші, які можуть бути використані в тому числі і для підвищення ефективності управління виробництвом.

В статті реалізовано та запропоновано підхід на самому верхньому рівні пропонованої системи управління. В даний час закінчується розробка автоматизованої системи управління виробництвом асфальтобетону, в якій реалізується викладений в даній статті підхід, заснований на розширенні поняття об'єкта управління за межі АБЗ і включенні в контур управління транспорт, укладання і навіть експлуатацію готового асфальтобетонного покриття.

**Ключові слова:** *автоматизація, асфальтобетон, управління транспорту, покриття, управління виробництвом, підвищення управління.*

Для будівництва доріг і благоустрою території у всьому світі застосовують асфальтобетон, що дає якісне і довговічне покриття. Асфальтобетон є надзвичайно популярним матеріалом який використовується в сучасній будівельній галузі. Його відносна недорога вартість матеріалу поряд з оптимальними характеристиками дозволяють

використовувати асфальтобетон як верхнє дорожнє покриття. Асфальтобетон досить міцний і надійний матеріал, тому виготовлення асфальту, будівництво заводів з виробництва асфальтних сумішей - один з перспективних напрямків бізнесу. Виробництво асфальту в Україні ще довго буде залишатися одним з найприбутковіших видів бізнесу. Сьогодні

будівництво та проектування асфальтових заводів тільки набирає хід. Розвиток галузі асфальтового виробництва є одним із пріоритетних завдань транспортної сфери будівельного сектора і економіки країни в цілому.

Локальні системи управління технологічним процесом виробництва асфальтобетонної суміші знаходяться на найнижчому рівні ієрархії і забезпечують функціонування технологічного обладнання. У більшості випадків на багатьох заводах штатні електромеханічні системи дозування та управління вже непрацездатні.

Всі ці системи управління реалізовані на сучасному рівні з використанням мікроконтролерів і забезпечують функціонування технологічного обладнання асфальтобетонного заводу (АБЗ). Але вони не забезпечують оперативного управління виробництвом з метою стабілізації якості продукції. Це пов'язано зі складністю об'єкта управління.

Виробництво асфальтобетонної суміші як об'єкт управління характеризується рядом особливостей:

Він являє собою суміш природних мінералів і дорожнього бітуму. Натуральні складові забезпечують міцність покриття, а бітум пов'язує їх в єдину консистенцію. Технологія його укладання практично не відрізняється в різних країнах, але якість дорожнього покриття залежить від сучасних компонентів, які додають або не додають в асфальтову суміш. Приготування асфальто бетону виробляється з високоякісних матеріалів, що відповідають державним стандартам. Виходячи з передбачуваних навантажень, клімату та інших умов експлуатації асфальтобетонної суміші, необхідно дотримуватися необхідних показників міцності, щільності, стійкості до води і до можливих зрушень.

асфальтобетон є багатокомпонентної структурою, на кінцеві властивості якого впливають: якість проекту покриття автомобільної дороги; властивості компонентів асфальтобетонної суміші; рецептура і структура суміші; технологія виробництва, технологія транспортування суміші від АБЗ до об'єкта, технологія укладання і ущільнення суміші;

не існує строгого математичного опису зв'язків між вимірними фізичними параметрами суміші і експлуатаційними властивостями. Для них можна провести лише якісне оцінювання та прогнозування;

використання компонентів асфальтобетону з нестабільними параметрами призводить до варіації властивостей суміші. Більшість розроблених методик визначення параметрів суміші і технологічного процесу засновані на обчисленні середніх значень, що не може гарантувати виробництва асфальто-бетону зі стабільними значеннями параметрів;

практично відсутня придатна для цілей управління теорія мування властивостей

асфальтобетонної суміші як функції від властивостей котрі нентов, рецептури і параметрів.

на АБЗ є лабораторії, але їх приладове і методологічне забезпечення не орієнтоване на оперативне управління технологічним процесом, а тільки забезпечує атестацію виробленої суміші більшість АБЗ є притрасові і розташовані в польових умовах.

Незважаючи на зазначені труднощі в останні роки з'явилися результати досліджень, успішно розвивають управління виробництвом для АБЗ. Важливим кроком у побудові систем управління якістю асфальтобетону є робота, в якій запропонована ідея пошуку екстремуму зв'язку міцності асфальтобетону з витратою бітуму. Однак в ній не досліджені методи пошуку екстремуму функції, не проведено оцінку області застосування і ефективності запропонованого способу. Цей підхід отримав певний розвиток за рахунок запропонованого методу пошуку екстремуму зв'язку "міцність - витрата бітуму". Відсутність конфуру управління з обурення знижує загальну ефективність такого управління.

Мета робіт полягала в розробці теоретичних основ управління виробництвом асфальтобетонної суміші. Було показано, що автоматизоване управління компенсує обурення, що впливають на технологічний процес. В результаті досліджень створена автоматизована система оптимального управління, яка забезпечує максимальні міцнісні та інші експлуатаційні характеристики асфальто бетонної суміші.

У цих роботах розглянуті питання побудови системи управління як по обуренню (з прямим зв'язком), так і по відхиленню (зі зворотним зв'язком). Аналітичною основою управління зерновим складом є регламентовані характеристики розподілів розмірів зерен мінеральної складової, які виражаються через повні залишки на ситах. За результатами розсіву мінерального порошку, піску і щебеню різних фракцій визначаються такі дози мінеральних компонентів, при яких квадрат відхилення повних залишків на ситах від регламентованих значень буде мінімальним. Цільовою функцією оптимізації в цьому випадку буде середньоквадратичне відхилення фактичного розподілу розмірів зерен  $F_l(D)$  в мінеральній складової від регламентованого розподілу  $F_r(D)$  по  $m$  ситам

$$\sigma(M, S, G) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (F_r^i(D) - F_l^i(D))^2}{m}} \quad (1)$$

де  $M$  — витрата мінерального порошку;

$S$  — витрата піску;

$G$  — витрата щебеню.

Тоді оптимальні частки мінеральних компонентів обчислюються з системи рівнянь:

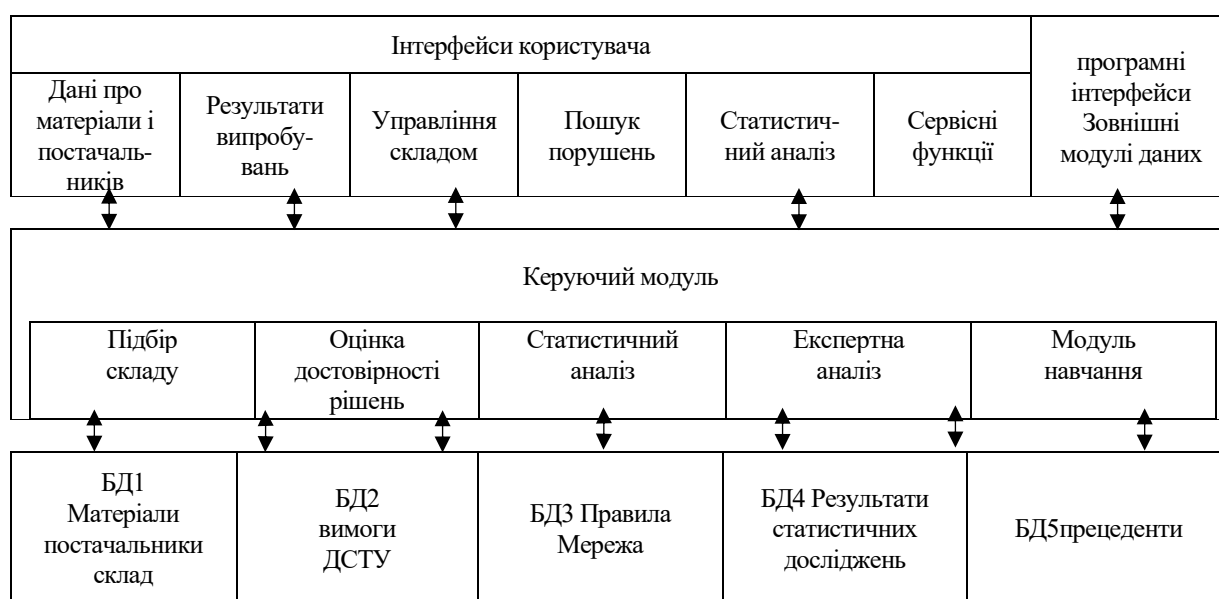
$$\sum_{i=1}^n k_i \sum_{j=1}^m \{F_i(D_j) F_l(D_l)\} = \sum_{i=1}^n \{F_r(D_j) F_l(D_l)\} \quad (2)$$

Управління по обуренню дозволяє звести до мінімуму відхилення фактичного розподілу мінеральної складової асфальтобетонної суміші за розмірами від регламентованих ДСТУ значень при довільно заданих розподілах мінерального порошку, піску і щебеню. Вимірювання показників якості у виробництві асфальтобетонної суміші проводиться як для атестації продукції, що випускається, так і для інформаційного забезпечення процесу управління. Перший напрямок формалізовано існуючою системою стандартів (ДСТУ Б В.2.7-75-98, ДСТУ Б В.2.7-232:2010, ДСТУ Б В.2.7-319:2016, ДСТУ 8772:2018, ДСТУ Б В.2.7-89-99, ДСТУ Б В.2.7-129:2013). Другий напрямок використання інформації для забезпечення завдань оперативного управління виробництвом практично не забезпечено

нормативними документами (за винятком завдань проектування складу асфальтобетонної суміші).

У роботах вирішувалися питання автоматизації лабораторії АБЗ. Одним з основних наукових результатів цієї роботи є аналіз впливу частоти контролю і точності вимірювань на ефективність відновлення реальних динамічних характеристик параметрів і, отже, на ефективність управління.

Як показали дослідження, частота контролю надає істотно більш сильний вплив на точність відновлення тимчасового ряду міцності, ніж точність одноразового вимірювання. Наприклад, показано, що збільшення частоти контролю в'язкості бітуму і змісту піску в суміші до трьох разів на зміну знижує похибку визначення міцності асфальтобетону на 30%, що підвищує ефективність управління виробництвом.



Мал.1 Структурні модулі системи управління з використанням методів штучного інтелекту

У роботах використовують методи експертних систем для автоматизації виробництва асфальтобетону, що дозволило врахувати позитивний досвід і знання, накопичені експертами в області технології і управління якістю асфальтобетону. Мал.1 представляє структуру програмного комплексу на основі експертної системи.

Всі розглянуті вище системи управління мають подібну структуру (мал. 2). Вони забезпечують той чи інший спосіб і з різною ефективною стабілізацією на заданому рівні якості асфальтобетонної суміші на виході АБЗ.

**Рівень 1.** Система локального управління (ЛСАУ) власне технологічним обладнанням агрегатами і механізмами. Тут вирішуються два основних Типу завдань:

Завдання логікопрограмного управління. Ці завдання пов'язані з управлінням окремими

механізмами поточнотранспортних систем підприємства та іншими аналогічними об'єктами.

Завдання цифрового управління. Ці завдання характерні для підсистем управління тепловими процесами, дозуванням компонентів. Тут використовуються алгоритми оптимального управління, фільтрації і прогнозування, статистичної обробки даних.

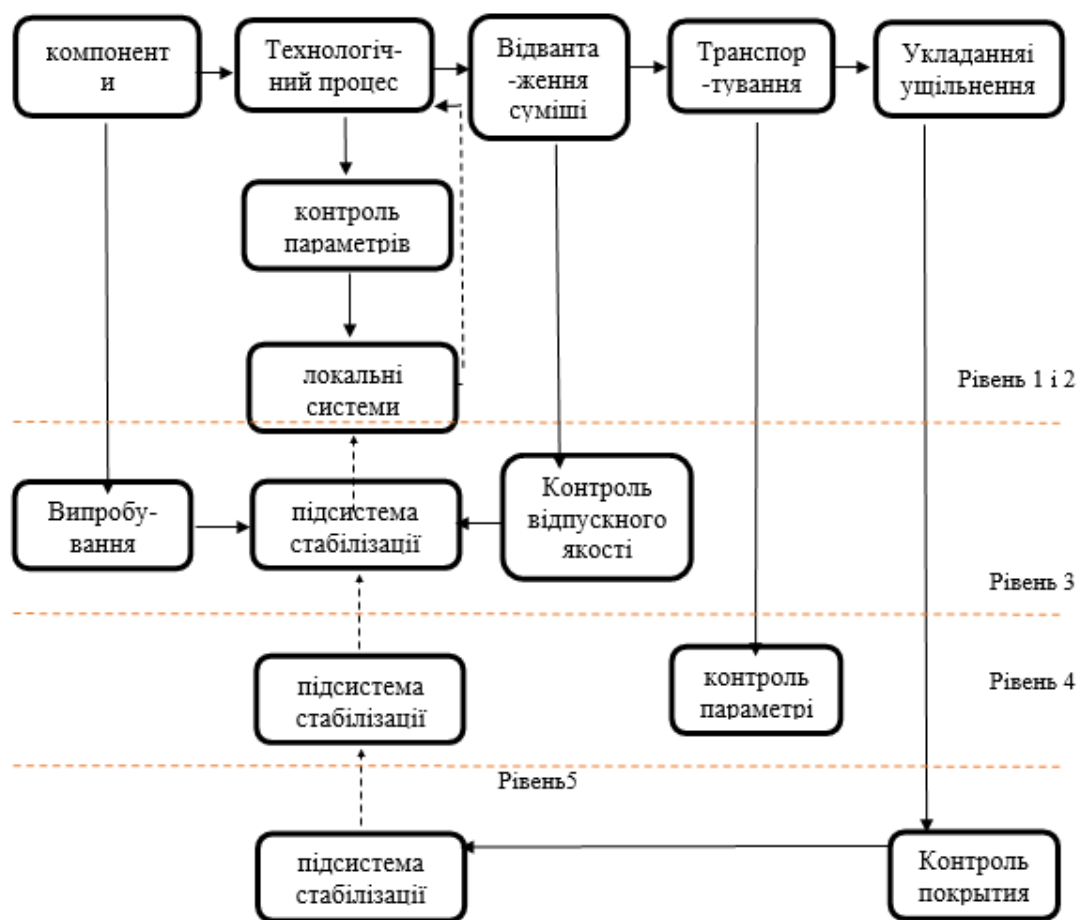
**Рівень 2.** Узгодження роботи окремих елементів технологічного процесу.

**Рівень 3.** Забезпечується рішення задачі стабілізації якості асфальтобетонної суміші на виході АБЗ. Управління базується на інформації, що поставляється лабораторією заводу:

Інформація про параметри компонентів асфальтобетонної суміші.

Інформація про параметри технологічного процесу.

Інформація про якість готової продукції.



Мал. 2 Нова структура комплексної системи управління

**Рівень 4.** Аналізується інформація про транспортування асфальтобетонної суміші від АБЗ до місця її укладання.

**Рівень 5.** Аналізується інформація про результати укладання і ущільнення асфальтобетонної суміші. Тут дуже важливо забезпечити ефективний та оперативний контроль основних параметрів.

На якість готового асфальтобетонного покриття впливає не тільки якість асфальтобетонної суміші на виході АБЗ, але і технологічний процес транспортування суміші до місця її укладання. При цьому на властивості суміші в момент її укладання впливають характеристики транспортного засобу:  $A$ , умови зовнішнього середовища (температура  $-t^\circ$ , вологість  $-W$ , швидкість  $-V$  переважно напрямку вітру  $-D$  щодо переміщення транспортного засобу) і час транспортування  $-t$ . Виходячи з цього, для кожного транспортного засобу можна записати:

$$\Delta z_i^n(t) = \varphi[A_k, t_k^o(t), W_k(t), V_k(t), D_k(t), n] \quad (3)$$

де  $\Delta z_i^n(t)$  — відхилення  $i$ -го властивості асфальтобетонної суміші від його рівня на виході АБЗ для моменту часу  $l$  для  $n$ -го майданчика.

Тут в якості показника часу використовується дискретна величина — поставка порції асфальтобетонної суміші даним транспортним

засобом. Безліч значень  $l$  впорядковано по моменту часу доставки до  $n$ -го місця укладання;  $A_k$  — набір характеристик  $k$ -го транспортного засобу;  $t_k^o(t), W_k(t), V_k(t), D_k(t)$  — середні температура, вологість, швидкість і напрямок вітру в момент доставки асфальтобетонної суміші  $k$ -м транспортним засобом в  $l$ -й постачання;

$n$  — майданчик, на якому проводиться укладання асфальтобетонної суміші. Один АБЗ може обслуговувати кілька майданчиків. Тоді можна отримати оцінку відхилення показника якості асфальтобетонної суміші для  $n$ -го майданчика для інтервалу часу  $t_2 - t_1$ , виду:

$$\Delta z_i^n = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} \Delta z_i^n(t)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

При усередненні характеристик суміші не тільки по часу, але і по майданчиках отримаємо:

$$\Delta z_i = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{\sum_{t_1}^{t_2} \Delta z_i^n(t)}{t_2 - t_1}}{N} \quad (5)$$

Маючи в своєму розпорядженні значеннями відхилень  $\Delta z_i^n(t)$  і їх оцінками (4) і (5), можна ввести відповідну корекцію в алгоритми управління для підсистеми стабілізації властивостей асфальтобетонної суміші на виході

АБЗ (рівень 3). Організація такого управління (рівень 4) ускладнюється низкою факторів:

- Запізнення в отриманні характеристик. Суміш, яка в поточний момент буде відвантажена із заводу, вже не може бути «виправлена». Тому необхідно прогнозувати оцінки  $\Delta z$ .

- Стратегія управління істотно залежить від кількості майданчиків і розподілу між ними обсягів поставок, При цьому слід або мінімізувати сумарні відхилення з урахуванням обсягів поставок, або, можливо, враховувати пріоритети для різних об'єктів.

Ні збір інформації, ні її обробка безпосередньо на місці укладання асфальтобетонної суміші ніяк не організована, тому необхідно розробити як комплекс технічних і програмних засобів для вирішення цього завдання, так і вирішити певні організаційні проблеми.

В процесі укладання і ущільнення асфальтобетонної суміші може бути отримана інформація про властивості суміші по виникненню різних видів дефектів. Виникнення цих дефектів пов'язане в тому числі і з властивостями асфальтобетонної суміші: склад і структура мінеральної частини суміші, частка бітуму в суміші, температура суміші і її температурна неоліт народностей, її сегрегація. Оперативне поступлення інформації про виявлені дефекти сприяють введенню необхідної корекції в управління технологічним процесом на рівні 3 ієрархії систем управління.

Крім того, безпосередньо після укладання і ущільнення суміші, а також в процесі експлуатації покриття проводяться відповідні випробування готового асфальтобетону із застосуванням нормованих інструментальних методів. Ця інформація може бути ефективно використана для управління процесом виробництва.

Тут може бути отриманий додатковий ефект від отримання нових знань про процес виробництва асфальтобетонної суміші. Так, якщо присутні і деякі показники компонентів асфальтобетонної суміші, і показники якості готової продукції, то за допомогою розробленої математичної моделі є можливість досліджувати статистичні технологічні залежності виду  $\omega_m - \varphi(v_i)$  і отримати моделі технологічного процесу виробництва асфальтобетонної суміші, які можуть бути

використані в тому числі і для підвищення ефективності управління виробництвом.

Даний підхід реалізується на самому верхньому рівні пропонованої системи управління (рівень 5). В даний час закінчується розробка автоматизованої системи управління виробництвом асфальтобетону, в якій реалізується викладений в даній статті підхід, заснований на розширенні поняття об'єкта управління за межі АБЗ і включенні в контур управління транспорт, укладання і навіть експлуатацію готового асфальтобетонного покриття.

### Література

1. Гольную Д. М. Сучасні інформаційні технології в автоматизації виробництва асфальтобетону / Д. М. Гольную, О. Ю. Мілосердін, С. В. Римкевич, ДН.Суворов // Матер. Міжнар. конгресу "Сучасні технології в промисловості будівельних матеріалів і стройіндустрі" // Вісник БГТУ-Білгород, 2003.-Ч. 3.-N 6.-С. 134-136.
2. Гольную ДМ. Автоматизоване управління виробництвом асфальто-бетону з використаних експертних систем. Нове в інвестиційних процесах і технологіях будівельного промисловства / Д. М. Гольев, Д. Н. Суворов // Тр. секції «Будівництво» РІА.-Вип. 2.-М., 2001.-С. 134-141.
3. Воробьев В. А. Автоматизация лаборатории асфальтобетонного завода и управление производством / В. А. Воробьев, О. Ю. Милосердин, Д. Н. Суворов/ /Прогрессивные технологические и инвестиционные процессы строительстве: Тр, секции "Строительство" РІА.- Вып. 4.- Ч. 1.-М. Изд-во РІА, 2003.- С. 90-100.
4. Марухин А. В. Автоматизация управления состава асфальтобетонной смеси / А. В. Марухин: Автореф. дис.
5. Бунькин И. Ф. Моделирование и оптимизация управления составом асфальтобетонных смесей /И. Ф. Бунькин, В. А. Воробьев, В. П. Попов, В. А. Горшков, Д. Н. Суворов, А. Е. Александров.-М., Изд-во РІА, 2001.-328 с.
6. Доценко А. И. К вопросу о концепции управления качеством изделия / А. И. Доценко Е.С. Усачев, Ф. Б. Шарипов: Матер. конф. МИКХИС. М.: МИКХИС, 2004.-С. 45-51.