

УДК 666.97.03+004

**КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ «ПСБ УкрДАЗТ»**

Д-р фіз.-мат. наук Н.Д. Сізова,  
д-р техн. наук А.А. Пługин,  
кандидати техн. наук О.А. Калінін, І.А. Міхєєв, Ант. А. Пługин

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА  
«ПСБ УкрГАЖТ»**

Д-р физ.-мат. наук Н.Д. Сизова,  
д-р техн. наук А.А. Пługин,  
кандидаты техн. наук О.А. Калинин, И.А. Михеев, Ант. А. Пługин

**COMPUTER PROGRAM FOR THE CONCRETE MIX DESIGN «CMD UkrSAR»**

Doct. of phys.-math. sciences N. Sizova,  
doct. of techn. sciences A. Plugin,  
cand. of techn. sciences O. Kalinin, I. Mikheev, Ant. Plugin

*Представлено комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ» для вирішення завдання проектування складу бетону з урахуванням властивостей складових матеріалів по запропонованим методологіям розрахунку. Описано основні елементи інтерфейсу користувача, функціональні можливості і порядок роботи для вирішення поставлених завдань. Наведено приклад розв'язання задачі проектування складу бетону за допомогою комп'ютерної програми.*

**Ключові слова:** технологія бетону, проектування складу бетону, комп'ютерна програма.

*Представлена компьютерная программа «ПСБ УкрГАЖТ» для решения задачи проектирования состава бетона с учетом свойств составляющих материалов по заложенным методологиям расчета. Описаны основные элементы интерфейса пользователя, функциональные возможности и порядок работы для решения поставленных задач. Приведен пример решения задачи проектирования состава бетона с помощью компьютерной программы.*

**Ключевые слова:** технология бетона, проектирование состава бетона, компьютерная программа.

*Presented PC software «CMD UkrSAR» as part of the project «Creation of a prototype intelligent system control composition and properties of concrete for designs and constructions of railways» by a team of authors of the UkrSAR and KhNUCA. Use of information technology in the process of solving the technological problems of applied expediently and justified. The computer program allows to design heavy cement concrete with specified properties. Basic user interface elements are described for each of the*

*component materials: cement, aggregates and additives. Example of solving the problem of design of concrete using a computer program is presented. The results of the computer program are presented in the form of a report and a strength diagram and generated automatically. The software can be used as a stand-alone computer program, as well as in the complex automated control systems for the production of concrete mixes, concrete and reinforced concrete products.*

**Keywords:** concrete technology, concrete mix design, computer program.

**Вступ.** У сучасних умовах актуальними питаннями технології бетону є: досягнення високих якісних характеристик, оптимізація технологічних процесів і операцій на виробництві, застосування сучасних ресурсозберігаючих технологій, зниження всіх видів витрат під час його виготовлення. Вирішення поставлених питань великою мірою пов'язане з використанням у рецептурах бетонів багатокомпонентних мінеральних та хімічних добавок та застосуванням нового виробничого устаткування з елементами автоматизації та інформатизації технологічних процесів.

Широке застосування сучасних інформаційних систем для розв'язання задач технології композиційних матеріалів зумовило появу нового наукового напрямку – комп'ютерного матеріалознавства, що бурхливо розвивається та спрямований на дослідження властивостей матеріалів на основі математичного моделювання із застосуванням комп'ютерної техніки [1-3].

**Основний матеріал.** В ході виконання комплексного наукового проекту: «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» та підтеми комплексного наукового проекту «Створення прототипу інтелектуальної системи управління складом і властивостями бетону для конструкцій і споруд залізниць» колективом авторів Української державної академії залізничного транспорту та Харківського національного університету будівництва та архітектури створено комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ», що дозволяє проектувати склади важких цементних бетонів із заданими властивостями, основне призначення якої – використання у вигляді автономної комп'ютерної програми, а також у складі комплексу автоматизованих систем управління виробництвом бетонних сумішей, бетонних і залізобетонних виробів [3].

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» має декілька функцій, основна з яких визначати

дозування складових матеріалів виходячи з їх характеристик та проектних властивостей бетонної суміші та бетону в певному віці, що істотно спрощує завдання прийняття рішень в нестационарних лабораторних і виробничих умовах [5].

Структура інформаційної системи має блокову структуру [6], що відображено у модульній структурі комп'ютерної програми. Для забезпечення вимоги кросплатформенного інтерфейсу (рис. 1) у якості мови програмування обрано Python із використанням додаткових модулів tkinter, PIL, reportlab. Загальна кількість строк операторів біля 5000.

Інтерфейс користувача розроблено із забезпеченням принципів комфортності використання, високої функціональності та підтримки користувача на всіх етапах використання розв'язання поставленої задачі. Головна форма має вкладки «Вихідні дані», «Результати розрахунків», «Діаграма набору міцності».

Відповідно до алгоритму розв'язання задачі проектування складу бетону першим кроком є вибір методики розрахунку складу бетону [7-9] та основного параметра управління складом з п'яти можливих варіантів у груповому блоці «Розрахунок виходячи з»:

- витрата води;
- водоцементне відношення (В/Ц);
- осадка конуса;
- жорсткість;
- міцність.

При виборі будь-якого з параметрів управління у якості основного всі інші становляться недоступними для нормування, а їх значення розраховуються згідно алгоритму методології.

Наприклад, при виборі витрати води у якості основного параметра управління, решта всіх показників технологічних властивостей бетонної суміші (зручноукладність) і бетону (міцність, морозостійкість, водонепроникність) визначаються по розрахункових формулах.

Рис. 1. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ»

Оскільки предметною галуззю розробленого програмного забезпечення є цементні бетони, в'яжучою речовиною яких є цементі різних видів, то характеристики цього матеріалу можуть істотно вплинути на властивості кінцевого продукту. У якості параметрів для цементів обрано (груповий блок «Цемент»):

- густина насипна;
- густина істинна;
- середній розмір зерен;
- вид цементу;
- марка цементу;
- активність цементу;
- нормальна густина цементного тіста (НГЦТ).

Необхідно відзначити, що цементі, які використовуються при виробництві бетону, володіють низкою інших важливих характеристик: хімічний і мінералогічний склади, тонкість помелу тощо. Проте, як правило, значення таких характеристик в

умовах виробничого процесу дуже трудомістко, а іноді й неможливо оперативно визначити. Можлива інформація про подібні характеристики враховується у вигляді емпіричних поправок при експериментальних перевірках достовірності проектних рішень.

Важливою складовою частиною бетону як композиційного матеріалу є заповнювачі, що можуть займати до 80% об'єму бетонної суміші, властивості яких враховані у груповому блоці «Крупний заповнювач».

Формуючи каркас бетону, заповнювачі активно впливають на його властивості, знижуючи усадкову напругу, збільшуючи модуль пружності і зменшуючи повзучість, впливаючи на щільність та ін.

Груповий блок містить поля вводу, що характеризують основні властивості крупних заповнювачів бетону (як правило, це щебінь або гравій):

- густина насипна;
- густина істинна;

- вологість;
- розмір зерен;
- водопоглинання;
- якість крупного заповнювача;
- тип крупного заповнювача.

Необхідно відзначити, що як і у випадку з цементом, для крупного заповнювача відомий ряд характеристик, які також мають вплив на властивості кінцевого продукту, але не закладені в алгоритм методології. Значення цих характеристик повинні перевірятися на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень. Для крупного заповнювача це: найбільша крупність, зерновий (гранулометричний) склад, порожнистість, засміченість, форма і шорсткість зерен, морозостійкість, водостійкість, міцність на стиск, міцність при стиранні тощо.

Для заповнення порожнеч між зернами крупного заповнювача з метою отримання щільнішої структури та економії цементу в технології бетону широко застосовуються дрібний заповнювач, як правило, піски.

Груповий блок «Дрібний заповнювач» містить поля вводу, що характеризують основні властивості дрібного заповнювача бетону:

- густина насипна;
- густина істинна;
- вологість;
- середній розмір зерен;
- модуль крупності;
- водопоглинання;
- якість дрібного заповнювача.

Необхідно відзначити, що як і у випадку з цементом і крупним заповнювачем, для дрібного заповнювача відомий ряд характеристик, які також мають вплив на властивості кінцевого продукту, але не закладені в алгоритм методології. Значення цих характеристик повинні перевірятися на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень. Для дрібного заповнювача це: вміст домішок, гранулометричний склад та ін.

Введення в бетонну суміш додаткових компонентів (добавок) є найбільш ефективним способом регулювання властивостей бетонної суміші і бетону. До основних видів добавок відносяться пластифікатори (компоненти, що поліпшують технологічні властивості бетонних сумішей: рухливість, зв'язність тощо), а також добавки, що регулюють тверднення бетону (прискорювачі/сповільнювачі тверднення).

Груповий блок «Добавка пластифікатор» у комп'ютерній програмі «ПСБ УкрДАЗТ» відповідає за властивості пластифікаторів, основною з яких є водоредукуючий ефект. Для вводу даних користувачеві доступні:

- перемикач можливості застосування добавки пластифікатора;
- витрата добавки;
- водоредукуючий ефект;
- густина;
- перемикач можливості застосування водного розчину добавки;
- концентрація розчину.

Необхідно відзначити, що більшість добавок мають поліфункціональний характер впливу. Таким чином, пластифікуючи добавки можуть не тільки поліпшити рухливість бетонних сумішей, але і змінити терміни тужавлення, темпи наростання і кінцеві значення характеристик міцності бетонів в проектному віці. Проте повною мірою врахувати вплив всіх видів пластифікуючих добавок не представляється можливим, тому необхідно перевіряти проектні властивості бетонних сумішей і бетонів на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень.

Міцність бетону наростає протягом тривалого часу, але найбільш інтенсивне її зростання спостерігається в початковий період тверднення. Проте характер інтенсивності набору міцності бетону різний і залежить від множини керованих, контрольованих і неконтрольованих факторів. У числі цих факторів: вид цементу, його мінералогічний склад, значення водоцементного відношення, наявність і вид хімічних добавок, температурно-вологісні умови тверднення бетону тощо. Для управління інтенсивністю набору міцності, як правило використовуються хімічні добавки: прискорювачі тверднення. Груповий блок «Добавка прискорювач тверднення» у комп'ютерній програмі «ПСБ УкрДАЗТ» відповідає за властивості прискорювачів. Для обліку впливу добавки на процес тверднення бетону в часі запропонована емпірична залежність, що заснована на загальновідомій логарифмічній залежності міцності бетону від тривалості тверднення [10]. У залежності істотне значення має коефіцієнт прискорення тверднення, що приймає значення у діапазоні від 0 до 0,3.

Для вводу користувачеві доступні:

- перемикач можливості застосування добавки прискорювача тверднення;
- витрата добавки;
- коефіцієнт прискорення тверднення;
- щільність добавки;
- перемикач можливості застосування водного розчину добавки;
- концентрація розчину.

Процес вибору/призначення проектних характеристик бетону є найвідповідальнішим у процесі проектування складу бетону і проводиться у груповому блоці «Бетон». Основна нормована властивість бетону – міцність на стиск. Цей параметр є стандартним критерієм при вирішенні більшості завдань проектування складу бетону.

Для вводу користувачеві доступні:

- перемикач можливості обліку статистичного контролю міцності з вказівкою, коефіцієнта варіації;
- список допустимих класів бетону;
- список допустимих марок бетону;
- проектна міцність бетону;
- вік бетону;
- список допустимих марок з морозостійкості;
- список допустимих марок з водонепроникності;
- N піску;
- N цементу;
- тип конструкції;
- умови експлуатації конструкції;
- об'єм бетонозмішувача.

Для вирішення завдання проектування складу бетону за допомогою програмного забезпечення «ПСБ УкрДАЗТ» необхідно:

1) обрати основний параметр для вирішення завдання в груповому блоці «Розрахунок виходячи з», вказати значення обраного параметра;

2) ввести характеристики складових матеріалів (за необхідності змінити значення, що вказані за умовчанням);

3) натиснути кнопку «Розрахувати» на головній формі.

4) перейти на вкладку «Результати розрахунків» і переглянути звіт (виконується автоматично після кожного натиснення на кнопку «Розрахувати»).

5) перейти на вкладку «Діаграма набору міцності» і переглянути графічне зображення залежності міцності бетону на стиск від часу тверднення.

Етапи 1 і 3 є обов'язковими до виконання.

Звіт розв'язання задачі проектування складу бетону має односторінковий формат і складається з декількох частин (рис. 2):

- основні характеристики складових матеріалів;
- проектні характеристики бетонної суміші і бетону;
- номінальний, виробничий склади (абсолютні і відносні значення);
- дозування на один заміс у бетонозмішувачі вказаного об'єму.
- додаткова інформація (дата розрахунку тощо).

Звіт може бути експортований в один з трьох форматів: \*.txt; \*.csv; \*.pdf.

На вкладці «Діаграма набору міцності» після розрахунку складу бетону зображується графік залежності міцності бетону на стиск від часу тверднення з вказівкою кількісної оцінки міцності у віці 3, 7, 14 і 28 діб тверднення (рис. 3). Діаграму набору може бути експортовано у вигляді зображення формату \*.jpg.

Для кожного полів вводу, в яке користувач може помилково ввести неприпустимі значення, в кодї програми закладено інтервал/список можливих значень, а модуль виправлення помилок в коректній формі виводить повідомлення із рекомендованими значеннями.

**Висновки.** Комп'ютерна програма «ПСБ УкрГАЗТ» призначена для широкого кола технологічної спільноти, перш за все робітників будівельних організацій і підприємств, що спеціалізуються на виробництві бетону й виробів з нього, включаючи заводи ЗБВ, виробників товарного бетону, а також наукових співробітників і слухачів ВНЗів. Використання комп'ютерної програми дозволяє підвищити продуктивність праці, культурний рівень прийняття рішень, знизити матеріалоємність виробництва та отримати економічний ефект шляхом проектування та оперативного корегування складів бетону в залежності від змін рецептурно-технологічних параметрів.

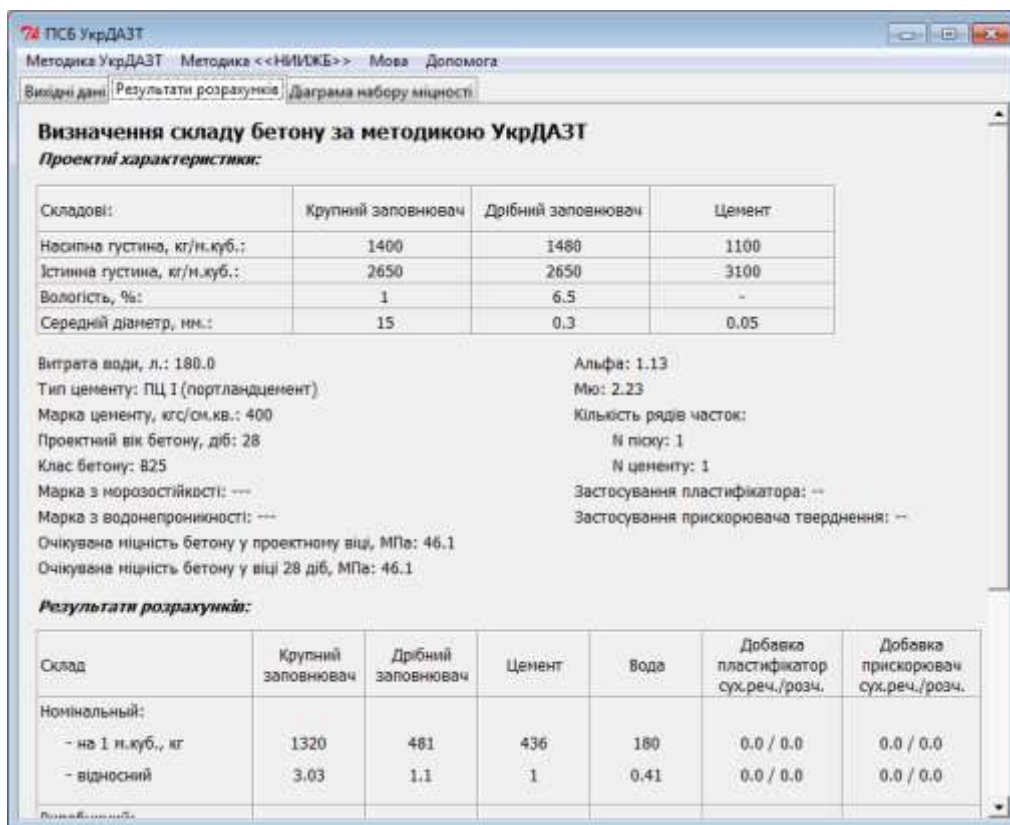


Рис. 2. Звіт - результат розв'язання задачі проектування складу бетону для конкретних параметрів

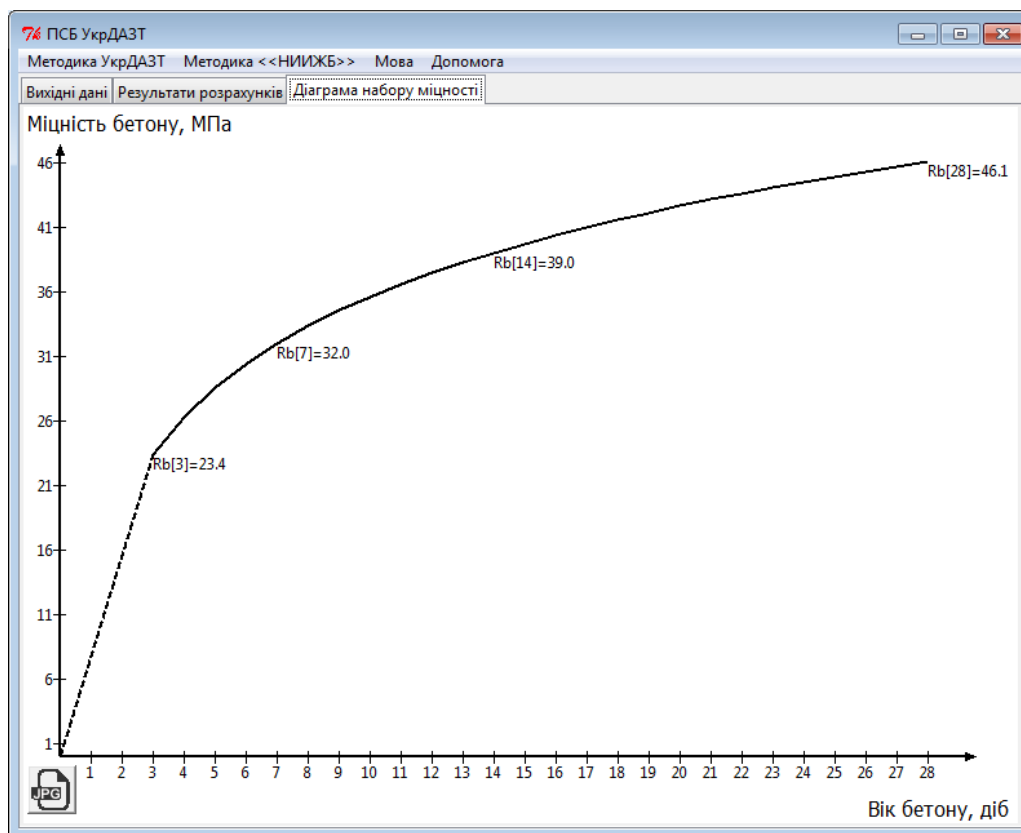


Рис. 3. Діаграма набору міцності бетону проектного складу

### Список використаних джерел

1. Вознесенский, В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении [Текст] / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко. – Одесса.: Астропринт, 2006. – 110 с.
2. Плугин, А.Н. Проектирование долговечности конструкций и сооружений из бетона на основе физико-химических моделей [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.С. Борзяк, О.А. Калинин, С.В. Мирошниченко, Д.А. Плугин // Компьютерное материаловедение и обеспечение качества: Матер. к 45-му Междунар. семинару по моделированию и оптимизации композитов МОК'45, Одесса, 28–29 апреля 2006. – Одесса: Астропринт, 2006. – С.10–14.
3. Латорец, Е.В. Анализ применения современных информационных технологий для решения задач производства товарного бетона [Текст] / Е.В. Латорец, И.А. Михеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №2/6 (50). – С. 32–34.
4. Сизова, Н.Д. Физическое и математическое моделирование в задаче проектирования состава бетона [Текст] / Н.Д. Сизова, А.А. Плугин, О.А. Калинин, И.А. Михеев // Моделирование и оптимизация композитов: Материалы к международному семинару, посвященному 80-летию В.А. Вознесенскому (Одесса, 22–23 апр. 2014). – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 90–94
5. Плугин, А.А. Программное обеспечение системы проектирования состава бетона для конструкций и сооружений железных дорог [Текст] / А.А. Плугин, О.А. Калинин, Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Технологический аудит. – 2013. – № 6/1(14) – С. 38–40.
6. Сизова, Н.Д. Особенности создания программного обеспечения для проектирования состава бетона [Текст] / Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/2(66) – С. 27–31
7. Руководство по подбору составов тяжелого бетона [Текст] // НИИЖБ. – М: Стройиздат, 1979. – 102 с.
8. Плугин, А.А. Физико-химическая модель долговечности бетона и железобетона [Текст] / А.А. Плугин // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 77. – С. 104–119.
9. Спосіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону [Текст]: пат. 62613 UA. МПК 7C04B28/12 / А.М. Плугін, О.А. Калінін, С.В. Мірошніченко, А.А. Плугін та ін. – Заявл. 15.04.2003. – №2003043396. – Опубл. 15.06.2005. – Бюл. №6.
10. Сизова, Н.Д. Оценка изменения прочности бетона во времени [Текст] / Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2013. – №74. – С. 190–195.

---

Сизова Наталія Дмитрівна, д-р фіз.-мат. наук, професор, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-68.

Міхеев Іван Андрійович, канд. техн. наук, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com.

Плугін Антон Андрійович, Харківський національний університет радіоелектроніки. Тел.: (057) 730-10-63.

Sizova Nataliya, doct. of phys.-math. sciences, professor, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net.

Plugin Andrei, doct. of techn. sciences, professor, department of building materials, structures and facilities, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.

Kalinin Oleg, cand. of techn. sciences, docent, department of building materials, structures and facilities, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-68.

Mikheev Ivan, cand. of techn. sciences, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com.

Plugin Anton, Kharkiv National University of Radio Electronics. Tel.: (057) 730-10-63.

---