

УДК656.25

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.152.2015.65315>

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПЕРІОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДМОВ У КАНАЛАХ РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ**

Д-р техн. наук В.Ф Кустов, магістрант І.І. Кулаченков

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЕРИОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ОПАСНЫХ ОТКАЗОВ В КАНАЛАХ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СИСТЕМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

Д-р техн. наук В.Ф Кустов, магистрант И.И. Кулаченков

**DEFINITION OF ACCEPTABLE VALUES PERIODS DIAGNOSING DANGEROUS
FAILURES IN REDUNDANT CHANNELS OF RAILWAY AUTOMATION.**

Doct. of techn. sciences V.F. Kustov, master student I.I. Kulachenkov

Визначення максимально припустимих значень періоду діагностування систем залізничної автоматики з загальним навантажувальним резервуванням «2» з «2» та мажоритарним резервуванням «2» із «3» дозволяє забезпечити їхню функційну безпечність на етапі постійної експлуатації.

Ключові слова: загальне навантажувальне резервування, мажоритарне резервування, період діагностування, рівень функційної безпечності, функційна безпечність, тривалість усунення відмови.

Определение максимально допустимых значений периода диагностирования систем с общим нагруженным резервированием «2» из «2» и мажоритарным резервированием «2» из «3» позволяет обеспечить их функциональную безопасность на этапе постоянной эксплуатации.

Ключевые слова: общее нагруженное резервирование, мажоритарное резервирование, период диагностирования, уровень функциональной безопасности, функциональная безопасность, время устранения отказа

Definition of the maximum permissible period of diagnosis with a total loaded redundant "2 of 2", and the majority "2 of 3" allows their functional safety in operating income etap.

Keywords: total loaded reservation, majoritarian reservation, period of diagnosis.

Вступ. На даний час на залізничному транспорті України починають впроваджувати замість релейних систем мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Основна проблема при їх введенні – це забезпечення необхідної функційної безпечності як на етапах розробки та впровадження, так і на етапі постійної експлуатації.

Постановка проблеми. Забезпечення функційної безпечності систем МПЦ досягається у першу чергу за рахунок резервування, діагностування небезпечних відмов каналів резервування та своєчасного їх відновлення. Останні два чинники є найбільш важливими, але у багатьох випадках їх недостатньо використовують або взагалі не враховують. Це може призвести до суттєвого зменшення функційної безпечності систем МПЦ, а також до неприпустимого зниження безпеки руху поїздів.

Існуючі етапи доказу функційної безпечності [1, 2] у багатьох випадках не можуть дати високу достовірність безпеки руху поїздів на етапах постійної експлуатації, тому дуже важливим є введення показників обгрунтованого своєчасного періодичного контролю та діагностування каналів резервування з метою виявлення небезпечних відмов під час експлуатації. Тому повинні бути визначені максимально припустимі значення періодів діагностування небезпечних відмов у каналах резервування систем залізничної автоматики, які впливають на періодичність

обслуговування пристроїв СЦБ та чисельність штату для їх обслуговування, випробовування та ремонту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню зазначеної проблеми присвячена публікації [3, 4], в яких виконано аналіз найбільш важливих проблем і особливостей забезпечення та доказів ФБ систем залізничної автоматики на сучасному етапі. В них наведені математичні моделі функціональної безпечності мікропроцесорних систем, які дозволяють виконати дослідження максимально припустимих значень періодів діагностування каналів резервування різних способів резервування. Але в публікаціях немає результатів визначення цих значень для базових структур мікропроцесорних систем залізничної автоматики.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є обгрунтування припустимих значень періодів діагностування каналів резервування найбільш поширених способів резервування на прикладі систем МПЦ.

Основний матеріал. Для виконання відповідних досліджень оберемо середню станцію, яка обладнана системою МПЦ з кількістю централізованих стрілок – 22. Тоді кількість відповідальних функцій для всієї системи МПЦ складає орієнтовно 220 шт. (приблизно 10 функцій на 1 стрілку, з урахуванням кількості та значності світлофорів, стрілок, рейкових кіл, кодування тощо). Для 4-го рівня жорсткості, згідно ДСТУ 4178 [1], допустима імовірність

небезпечної відмови за кожну годину функціонування на одну відповідальну функцію дорівнює $0,14 \times 10^{-10}$ 1/год, (це практично дорівнює інтенсивності небезпечних відмов при малих їхніх значеннях). Тоді допустиме максимальне значення інтенсивності небезпечних відмов для всієї системи МПЦ буде складати $220 \times 0,14 \times 10^{-10} = 3,1 \times 10^{-9}$ 1/год. Інтенсивність небезпечних відмов у кожному каналі резервування МПЦ на практиці може складати значення, згідно роботи [5], $\lambda_{\text{н.л}} = 4 \times 10^{-5}$ 1/год. Також можливі більш безпечні системи МПЦ з меншою інтенсивністю небезпечних відмов у кожному каналі резервування: 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} 1/год. Тому ці значення обираємо для дослідження найбільш широко розповсюджених способів резервування систем МПЦ - двоканальних структур з загальним навантажувальним резервуванням «2» з «2» із розв'язувальним елементом «І» та мажоритарним резервуванням «2» із «3». Розрахунки будемо виконувати для ядра системи МПЦ - ЕОМ залежностей або центрального програмованого контролера (ПЛК).

Максимально припустиме значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування для цих

структур визначаються відповідно за наступними формулами [2,3]:

$$\dot{O}_{\text{д.2в2}} = \frac{\lambda_{\text{н.дн}} - 2\lambda_{\text{н.л}}^2 T_{\text{о}}}{2\lambda_{\text{н.л}}^2}; \quad (1)$$

$$\dot{O}_{\text{д.2в3}} = \frac{\lambda_{\text{н.дн}} - 6\lambda_{\text{н.л}}^2 T_{\text{о}}}{6\lambda_{\text{н.л}}^2}, \quad (2)$$

де $\lambda_{\text{н.дн}}$ - припустима інтенсивність небезпечних відмов системи МПЦ;

$\lambda_{\text{н.л}}$ - інтенсивність небезпечних відмов одного каналу резервування;

$T_{\text{у}}$ - максимально припустимий гарантований час усунення небезпечних відмов елементів у каналах резервування системи МПЦ.

В таблиці 1 наведено результати розрахунків для структур «2» з «2» та «2» з «3» максимально припустимі значення періодів діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування у разі використання каналів резервування з інтенсивністю небезпечних відмов 4×10^{-5} ; 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} 1/год у разі дуже швидкого усунення небезпечної відмови або автоматичного гарантованого вимкнення небезпечного каналу резервування чи усієї системи (тривалість усунення небезпечної відмови не враховуємо).

Таблиця 1

Максимально припустимі періоди діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування в залежності від інтенсивності небезпечних відмов

	$\lambda_{\text{он.л}}, 1/\text{год}$				
	4×10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	$0,5 \times 10^{-7}$
$T_{\text{д.2в2}},$ годин	0,96 (менше 1 години)	15,4 (не більше 0,64 доби)	$15,4 \times 10^3$ (не більше 2,1 місяця)	$15,4 \times 10^5$ (не більше 17,6 років)	$30,8 \times 10^5$ (35,2 років, діагностика не потрібна)
$T_{\text{д.2в3}},$ годин	5,1 (менше 18 хвилин)	5,1 (не більше 0,21 доби)	$5,1 \times 10^2$ (не більше 0,7 місяця)	$5,1 \times 10^4$ (не більше 5,87 років)	$10,2 \times 10^4$ (не більше 11,7 років)

В таблиці 2 наведено результати розрахунків максимально припустимих значень періодів діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування для структур «2» з «2» та «2» з «3» з

інтенсивністю небезпечних відмов у кожному каналі резервування $\lambda_{\text{н.л}} = 10^{-5}$ у разі тривалості усунення небезпечної відмови від 1 до 15 годин.

Максимально припустимі періоди діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування в залежності від тривалості їх усунення.

	T_y , годин			
	1	5	10	15
$T_{0.2v2}$, годин	14,4	10,4	5,4	0,4
$T_{0.2v3}$, годин	4,1	0,1	Функційна безпечність не забезпечується	

Розрахунки показують, що при інтенсивності небезпечних відмов $\lambda_{н.1} = 10^{-5}$ та тривалості усунення небезпечних відмов каналів резервування більше, ніж 5,1 години для мажоритарного резервування «2» з «3» та більше ніж 15,4 години для загального навантажувального дублювання «2» з «2», функційна безпечність систем не забезпечується, тому їх необхідно вимкнути з експлуатації та перейти на інші способи регулювання руху поїздів. При цьому потрібно також забезпечити у період експлуатації інтенсивність небезпечних відмов у кожному каналі резервування не більш, ніж 10^{-5} 1/год. У разі експоненційного закону розподілу небезпечних відмов у каналах резервування середній наробіток до небезпечної відмови відповідно повинен бути під час експлуатації не менш 10^5 годин або 11,4 років.

При ще більшій інтенсивності небезпечних відмов каналів резервування, наприклад, при $\lambda_{н.1} = 4 \times 10^{-5}$ 1/год, наведеної для МПЦ «Іпуть» [5], тривалості усунення небезпечних відмов каналів резервування для варіантів «2» з «2» та «2» з «3» повинні бути відповідно не більше ніж 0,96 та 0,32 години. Виконання таких вимог з ремонтпридатності системи МПЦ не завжди можливо, тому для її обслуговування потрібно забезпечити добове чергування електромеханіка СЦБ на станції та відповідні організаційні заходи для забезпечення швидкого усунення небезпечних відмов. У разі експоненційного закону розподілу небезпечних відмов у каналах резервування середній наробіток до небезпечної відмови такої системи МПЦ повинен бути під час експлуатації не менше $0,25 \times 10^5$ годин або 4,56 років.

Для інших, менш жорстких рівней функційної безпечності МПЦ, дослідження можуть бути проведені аналогічно. При цьому вимоги до періодичності діагностування та тривалості усунення небезпечних відмов будуть відповідно зменшені. Але при зменшенні кількості відповідальних функцій у системах вони будуть більш жорсткими: періоди діагностування та тривалості усунення небезпечних відмов - повинні зменшуватися.

На рис. 1 наведено залежності максимально припустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування систем МПЦ (для структур «2» з «2» та «2» з «3») від заданих вимог безпечності $\lambda_{н.дн.1} = (2,2 \times 10^{-6}) - (2,2 \times 10^{-6})$ 1/год для тривалості усунення небезпечних відмов $T_y = 0,5$ годин та інтенсивності небезпечних відмов у кожному каналі резервування $\lambda_{н.1} = 4 \times 10^{-5}$ 1/год, наведеної для МПЦ «Іпуть» у роботі [5].

Результати розрахунків вказують, що для забезпечення функційної безпечності систем МПЦ потрібно для вказаних значень виконувати достатньо часто контроль безпечності каналів резервування, особливо для більш жорстких вимог з безпечності. Як видно з графіку (рис. 1) мажоритарне резервування потребує значно меншого припустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов ніж у двоканальній 2 з 2 та потребує у 3 рази частіше виконувати періодичний контроль справності та діагностування небезпечних відмов каналів резервування.

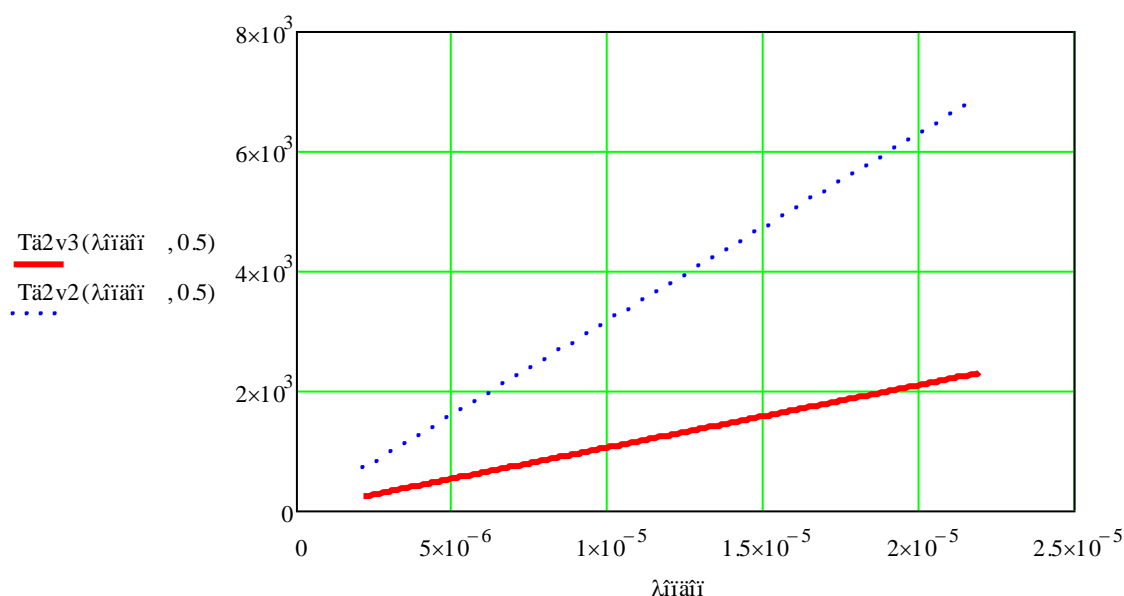


Рисунок 1 – Залежність припустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування від припустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому.

Для вищевказаних параметрів тривалість усунення небезпечних відмов практично не впливає на припустимі значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування (рис.2).

Мінімально допустимий наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування мажоритарної структури «2» з «3» і двоканальної дубльованої структури

«2» з «2» з безпечним розв'язувальним елементом «І» визначаються за формулами [3, 4]

$$T_{on.1.2v3} = \sqrt{\frac{6(T_d + T_y)}{\lambda_{on.don}}}; \quad (2)$$

$$T_{on.1.2v2} = \sqrt{\frac{2(T_d + T_y)}{\lambda_{on.don}}}. \quad (3)$$

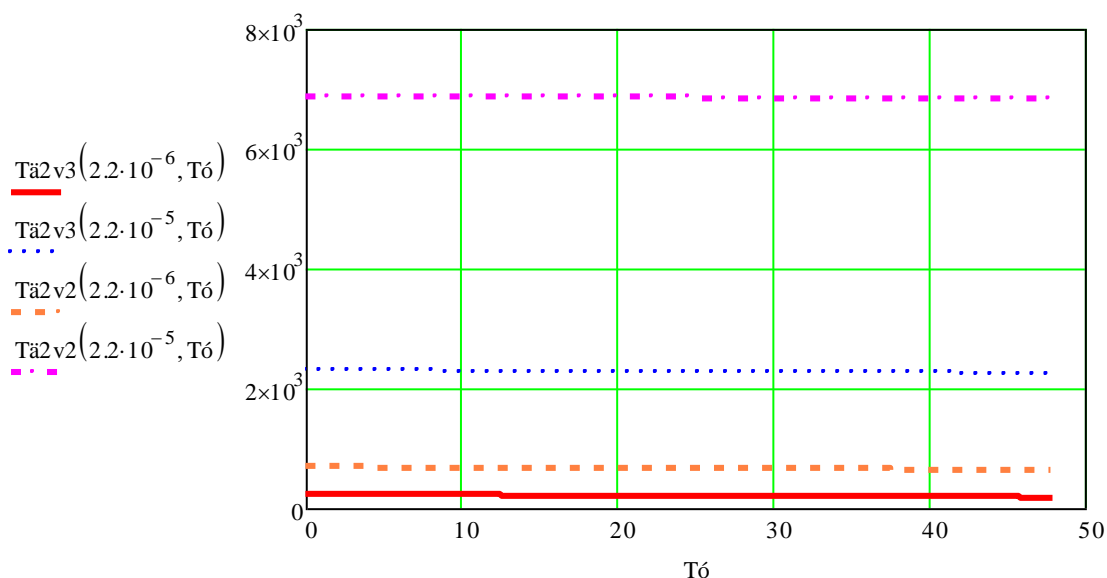


Рисунок 2 – Залежність припустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування від максимально припустимого гарантованого часу усунення небезпечних відмов у каналах резервування систем МПЦ.

На рис. 3 наведено результати каналу резервування для вищевказаних дослідження мінімально припустимих структур МПЦ та вихідних параметрів. наробіток до небезпечної відмови одного

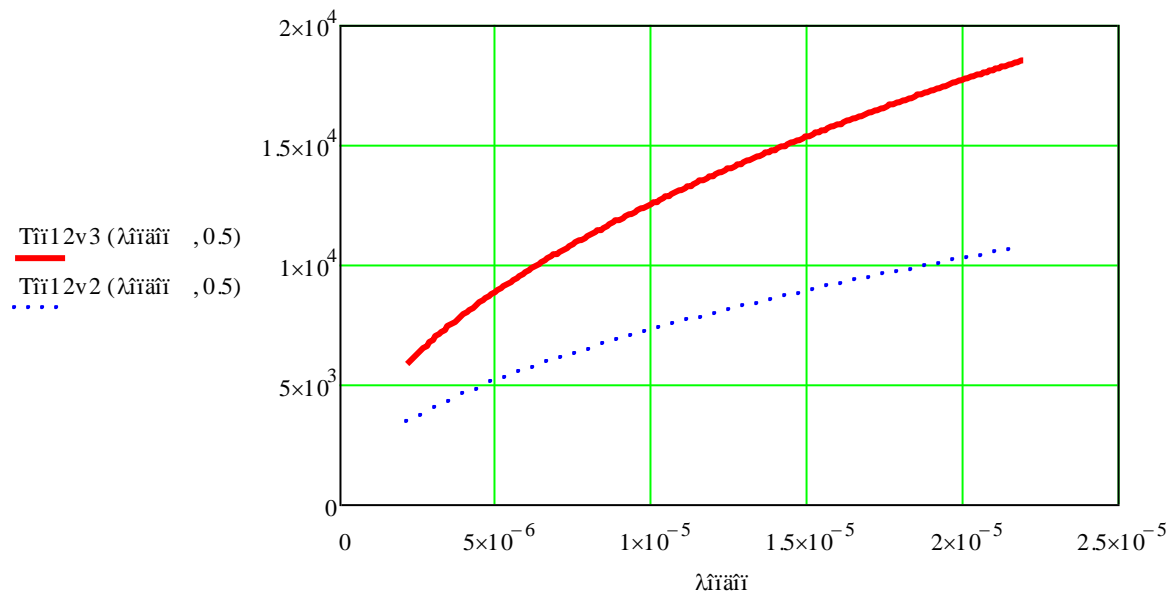


Рисунок 3 – Залежність мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування від припустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому

Результати досліджень вказують, що збільшення припустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому призводить до збільшення мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування як у структурі з мажоритарним резервуванням «2» з «3», так і у двоканальній дубльованій структурі «2» з «2». При цьому, структура з мажоритарним резервуванням «2» з «3» має більше значення мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування, ніж у двоканальній дубльованій структурі «2» з «2», який при постійній експлуатації не повинен його перевищувати для забезпечення необхідної функційної безпечності.

Висновки.

1.Результати досліджень показують, що функційна безпечність у більшості випадків у мікропроцесорних системах МПЦ досягається за рахунок діагностування каналів резервування та своєчасного виявлення небезпечних відмов каналів резервування. Тому, що така функція діагностування є відповідальною (в основному за рахунок його гарантується

необхідна безпечність систем МПЦ), вона повинна виконуватися з відповідними рівнями безпечності (SIL1 – SIL4). На практиці діагностування з такими рівнями безпечності у більшості випадків неможливе, як по кількості контрольованих виходів та входів, так і по достовірності гарантованого визначення небезпечної відмови каналу резервування за необхідний, частіше всього за дуже малий час. Внаслідок цього необхідно забезпечити у разі необхідності періодичний контроль безпечного функціонування каналів резервування МПЦ. Таку необхідність або її відсутність потрібно обґрунтовувати теоретично для кожної системи МПЦ для конкретної станції.

2.Для контролю безпечності каналів резервування МПЦ потрібно розробляти необхідні випробувальні стенди та відповідні методики (по аналогії зі стендами для перевірки реле 1-го класу надійності). Практично за рахунок діагностування і забезпечується такий необхідний 1-й клас надійності мікропроцесорних систем (високий рівень безпечності).

3.Необхідність діагностування каналів резервування суттєво збільшується з тривалістю експлуатації систем, особливо у

разі наближення до середнього наробітку до небезпечної відмови кожного каналу резервування. При великій кількості елементів у каналі резервування ця проблема стає ще більш актуальною.

4. Виконані розрахунки дозволяють визначити припустимі значення середнього наробітку до небезпечних відмов кожного каналу резервування систем МПЦ та максимальні припустимі значення тривалості

усунення небезпечних відмов під час постійної експлуатації.

5. Результати виконаних досліджень функційної безпечності систем МПЦ можуть бути використані також для інших систем залізничної автоматики та інших відповідальних технологічних процесів, де відмови систем керування або контролю призводять до дуже великого матеріального збитку, загибелі людей та непоправного впливу на довкілля.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 32 с.
2. Кустов, В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: навч. посібник для вузів / В. Ф. Кустов. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
3. Кустов В.Ф. Математические модели функциональной безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики. // 3б. Наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2010.- Вип. №116.- С.65-71.
4. Кустов В.Ф. Математичні моделі функційної безпечності та безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» // 3б. Наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010.- Вип. №23.- С.5-14.
5. Бочков К.А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. [Текст] / Бочков К.А., Коврига А.Н., Харлап С.Н. // Гомель: БелГУТ, 2013.- 254 с.

Кустов Віктор Федорович, канд. техн. наук, професор кафедри «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (057) 730-10-32, моб. 050 3010790. E-mail: kyf@satep.com.ua.

Кулаченков Іван Іванович, магістр кафедри «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (057) 730-10-32, моб. 050-533-46-01. E-mail: ikulachenkov@gmail.com.

Kustov Viktor, doctor of science Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-32, 050 3010790. E-mail: kyf@satep.com.ua.

Kulachenkov Ivan, master Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-32, 050-533-46-01. E-mail: ikulachenkov@gmail.com