

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ДВОГРУПНИХ ПОЇЗДІВ В ОПЕРАТИВНИХ УМОВАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ

Р. В. Вернигора, О. О. Мазуренко

Наведено загальну структуру імітаційної моделі залізничного напрямку, яка була використана для дослідження ефективності системи оперативної організації вантажних вагонопотоків на залізничному напрямку з використанням технології формування двогрупних поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, оперативне керування, імітаційна модель, залізничний напрямок, двогрупний поїзд

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ДВУГРУППНЫХ ПОЕЗДОВ В ОПЕРАТИВНЫХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Р. В. Вернигора, А. А. Мазуренко

Приведена общая структура имитационной модели железнодорожного направления, которая была использована для исследования эффективности оперативной организации грузовых вагонопотоков в поезда на железнодорожном направлении с использованием технологии формирования двугруппных поездов.

Ключевые слова: вагонопоток, оперативное управление, имитационная модель, железнодорожное направление, двугруппный поезд

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGY MAKING-UP THE TWO-UNIT TRAINS IN OPERATIONAL CONDITIONS OF THE USE OF SIMULATION MODEL RAILWAY LINES

R. V. Vernigora, A. A. Mazurenko

There has been described structure of a simulation model of the railway direction which can be used for studying the effectiveness of the operative organization of freight wagonflows into the trains on railway direction with the use of technology of making-up the two-unit trains.

Key words: wagonflows, operative making-up the trains, simulation model, railway direction, two-unit train

Вступ та постановка задачі

В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України значна увага повинна приділятися зменшенню витрат на перевезення вантажів. Одним з можливих заходів щодо зменшення власних витрат залізниць є удосконалення системи організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Як показує практика роботи залізниць, в певних оперативних умовах доцільно застосовувати технологію формування двогрупних поїздів на технічних станціях. При цьому виникає проблема отримання достовірної кількісної оцінки ефективності того чи іншого варіанту коригування діючого плану формування поїздів. Виконання досліджень щодо впливу тих чи інших варіантів організації вагонопотоків на витрати залізниць на реальних об'єктах (залізничних напрямках і станціях) є неможливим.

Кількісну оцінку техніко-експлуатаційних та економічних показників роботи окремого залізничного напрямку для кожного з можливих варіантів організації вагонопотоків та/або зміни технології їх обслуговування найбільш доцільно виконувати за допомогою методів імітаційного моделювання.

В даній статті розглянута структура та порядок побудови функціональної імітаційної моделі роботи залізничного напрямку, яка може бути використана для виконання досліджень щодо впливу системи оперативної організації вантажних вагонопотоків на витрати залізниць по формуванню та просуванню поїздів на залізничному напрямку.

Аналіз досліджень і публікацій

Розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій та напрямків присвячена достатньо велика кількість наукових робіт. Так, наприклад, в роботах [1, 2] розроблено математичні моделі для імітації процесу поїздоутворення та просування поїздів на мережі з застосуванням об'єктно-орієнтованої системи моделювання.

Серед імітаційних моделей функціонування залізничної мережі цікавим є досвід вчених БілІЗТу. В роботах [3, 4] запропоновано систему автоматизованого створення імітаційної моделі залізничної мережі на основі імітаційних моделей залізничних станцій, які входять до її складу. Розроблені моделі станцій формалізовані на основі теорії сітьового планування та теорії масового обслуговування. Основними недоліками даних моделей є складність їх побудови та дискретність у моделюванні роботи залізничної мережі, тобто робота кожної станції мережі моделюється автономно, а отримані результати є вихідними даними для моделювання роботи наступної станції. Це не дозволяє застосовувати такі моделі для дослідження роботи залізничної мережі в умовах оперативного керування організацією вагонопотоків.

Однією з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи залізничних мереж та станцій, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для різних категорій поїздів. Для полегшення й спрощення підготовки до моделювання в ДНУЗТі виконано комплекс науково-дослідних робіт, що пов'язані з розробкою методики формалізації технології обслуговування поїздів та технічного оснащення станцій. Для врахування впливу оперативно-диспетчерського персоналу в [5] запропоновано концепцію ергатичних моделей станцій, в яких людина бере безпосередню участь в процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера. В роботі [6] запропоновано імітаційну модель залізничного напрямку, в якій технологія роботи напрямку формалізована на основі теорії скінчених автоматів. Дана модель використовується для дослідження організації руху поїздів та впливу їх параметрів на показники роботи залізничних напрямків. Розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати роботу залізничних мереж та станцій. Разом з тим для виконання досліджень функціонування залізничних мереж та станцій в умовах застосуван-

ня оперативного керування роботою є необхідним подальше удосконалення вказаних моделей.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження обрано залізничний напрямок, до складу якого входить три технічних станції (А, В та С). Залізничний напрямок та окрема технічна станція, розглядаються як складні керовані системи масового обслуговування (СМО), що складаються з багатьох різних елементів, які в процесі роботи тісно взаємодіють між собою та мають взаємний вплив (станції, ділянки, колії, бригади технічного обслуговування та ін.).

Розроблена авторами функціональна модель залізничного напрямку (ФМН) є дворівневою. При цьому на макрорівні моделюється робота всього напрямку в цілому, а на мікрорівні – робота кожної окремої технічної станції напрямку.

У загальному вигляді ФМН може бути представлена структурою:

$$D = \left\{ \begin{matrix} S_1, S_2, \dots, S_n \\ Pg_1, Pg_2, \dots, Pg_n \end{matrix} \right\}$$

де S_i – окрема технічна станція, що входить до складу залізничного напрямку; Pg_i – окрема ділянка між двома технічними станціями.

Структура ФМН включає наступні моделі:

- генератор вхідного потоку поїздів (ГВП);
- модель оперативного керування організацією вагонопотоків (МОКЗН);
- функціональні моделі роботи кожної окремої технічної станції напрямку (ФМС).

Структура ФМН та схема взаємодії її моделей наведена на рис. 1.

Генератор вхідного потоку (ГВП) призначений для моделювання надходження поїздів на кожну станцію з тих підходів, які не входять до складу даного залізничного напрямку. Моделювання надходження заявок на окрему станцію з тих станцій, які входять до даного напрямку, виконується

за результатами роботи попередньої станції та з використанням графікової тривалості руху поїздів.

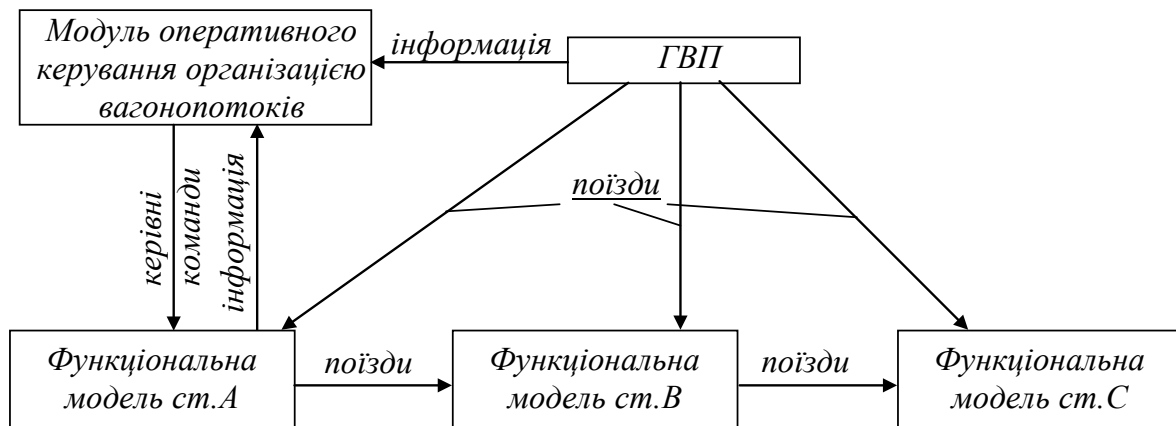


Рис.1. Структура функціональної моделі залізничного напрямку

Вхідний потік представляє собою множину поїздів різних категорій, що прибувають на технічну станцію. Параметри кожного об'єкта O_j в розробленій моделі визначаються структурою:

$$O_j = \{S, T_{\text{пр}}, \mathbf{P}, \mathbf{B}\},$$

де S – ідентифікатор станції надходження поїзда; $T_{\text{пр}}$ – момент прибуття поїзда на станцію; $\mathbf{P}$ – список параметрів поїзда; $\mathbf{B}$ – список параметрів процесу обслуговування поїзда на станції.

Поїзди можуть надходити на кожну станцію напрямку з декількох підходів. Момент надходження чергового поїзда O_j на станцію з підходу, що не входить до обраного напрямку, визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}(j)} = T_{\text{пр}(j-1)} + I_j; (T_0 = 0),$$

де $T_{\text{пр}(j-1)}$ – момент прибуття на станцію попереднього $(j-1)$ поїзда;

I_j – інтервал прибуття між суміжними $(j-1)$ та j поїздами.

Величина I_j моделюється за певним законом розподілу, або встановлюється у відповідності до розкладу.

Момент надходження поїзда O_j на станцію i з попередньої станції $(i-1)$ залізничного напрямку визначається за формулою

$$T_{\text{пр}(i)} = T_{\text{вих}(i-1)} + t_{xj},$$

де $T_{\text{вих}(i-1)}$ – момент відправлення O_j поїзда зі станції $(i-1)$;

t_{xj} – тривалість руху поїзда між станціями $i-1$ та i .

Момент виходу поїзда зі станції $T_{\text{вих}(i-1)}$ визначається за результатами обслуговування заявки в ФМС станції $i-1$. Величина t_{xj} встановлюється відповідно до графіку руху поїздів між даними станціями.

Рішення про застосування оперативного керування організацією вагонопотоків на залізничному напрямку, на практиці, приймає поїзний диспетчер, після узгодження цього рішення з дорожнім поїзним диспетчером. Для моделювання оперативних рішень поїзного диспетчера щодо можливості формування на головній станції двогрупного поїзда до складу ФМН включено МОКЗН. Оцінювання та прийняття рішення щодо формування окремого двогрупного поїзда виконується відповідно до спеціально розробленої процедури [7].

Для моделювання роботи технічних станцій напрямку розроблено відповідні функціональні моделі станцій [8]. При цьому в кожену модель технічної станції включено модуль оперативного керування технологічним процесом станції (МОКТП).

Структура ФМС та схема взаємодії її основних моделей наведена на рис. 2.

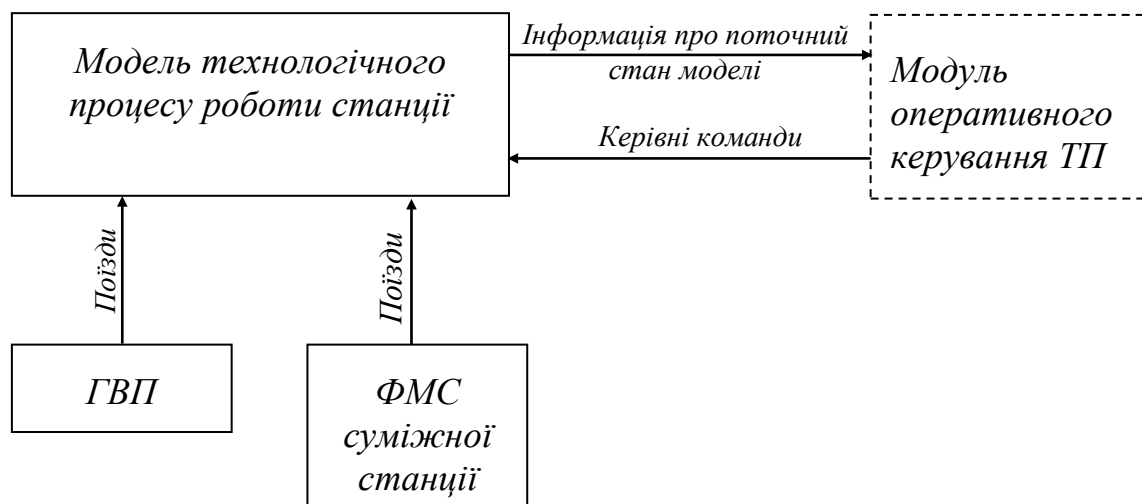


Рис. 2. Структура функціональної моделі технічної станції

Призначенням МОКТП є визначення та застосування раціональної (адаптивної) технології обміну груп вагонів у двогрупних поїздах в залежності від оперативних умов функціонування станції та експлуатаційної ситуації на напрямку.

На залізниці рішення про застосування адаптивної технології обробки двогрупних поїздів приймає маневровий або станційний диспетчер сортувальної станції за погодженням з поїзним диспетчером. Для цього маневровий диспетчер завчасно, враховуючи інформацію щодо двогрупного поїзда, аналізує можливі варіанти його обробки та обирає найбільш раціональний.

Інформація, яка необхідна для аналізу варіантів обробки двогрупного поїзда, може бути поділена на зовнішню та внутрішню. До зовнішньої інформації, яка може бути отримана від поїзного диспетчера або з НАСК ВП УЗ, відносяться відомості щодо моменту надходження поїзда на станцію та його складу. Внутрішня інформація формується безпосередньо на самій станції. Для забезпечення найбільш якісного планування роботи сортувальної станції необхідна наявність наступної оперативної інформації:

- план (графік) прибуття поїздів із сусідньої станції;
- наявність вагонів на коліях в парках станції;
- склад двогрупного поїзда (кількість вагонів у кожній з груп, місце їх розташування).

Наявність цих даних дозволяє завчасно підготуватися до обробки двогрупного поїзда з урахуванням найбільш раціонального використання резервів станції, необхідних для його обслуговування. В розробленій ФМН значення необхідних для прийняття рішення вхідних параметрів моделюються за допомогою ГВП відповідних станцій як випадкові величини за законами розподілу, які наведено в [9].

Синхронізація моделей ФМС та ФМН виконується в дискретні моменти системного часу T_c , який змінюється з певним кроком. Всі вказані

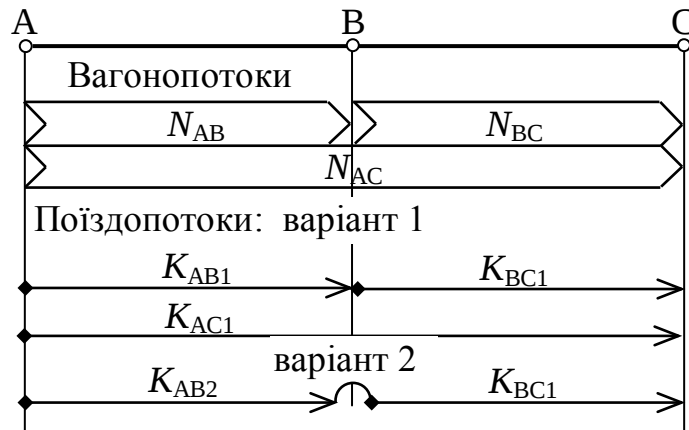
моделі побудовані та реалізовані з застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу у середовищі C++.

Розроблена модель функціонування залізничного напрямку дозволяє отримати необхідні експлуатаційні показники роботи за певний період як окремих технічних станцій, так і залізничного напрямку вцілому при тій чи іншій системі організації вагонопотоків. Окрім того, за допомогою розробленої імітаційної моделі напрямку, можна отримати значення загальних витрат на організацію вагонопотоків по кожному з можливих варіантів оперативного коригування плану формування.

З метою визначення придатності розробленої імітаційної моделі до виконання практичних досліджень була виконана її ідентифікація та оцінка адекватності. Для ідентифікації моделі виконано комплексне дослідження двох великих сортувальних станцій України, за результатами якого визначені закони розподілу випадкових величин тривалості накопичення одnogрупних составів, тривалості знаходження вантажних поїздів різних категорій на станції, а також статистичні характеристики вхідного потоку поїздів. Порівняння, на основі параметричного критерію Уїлкоксона, показників роботи кожної сортувальної станції, отриманих на реальному об'єкті та у результаті моделювання дозволило зробити висновок про адекватність розроблених моделей станцій та можливість їх використання для вирішення прикладних задач.

За допомогою розробленої імітаційної моделі залізничного напрямку було виконано дослідження впливу системи оперативного формування двогрупних поїздів з попутних одnogрупних призначень на окремі експлуатаційні показники роботи, а також на витрати по організації вантажних вагонопотоків у поїзди окремих технічних станцій та залізничного напрямку вцілому.

Схема залізничного напрямку, на прикладі якого було виконано дослідження, та можливі варіанти організації вагонопотоків наведені на рис.3.



Умовні позначення:

N_{AB} , N_{BC} , N_{AC} – розміри вагонопотоків;

K_{AB1} , K_{AC1} , K_{BC1} – кількість одnogрупних поїздів;

K_{AB2} – кількість двогрупних поїздів.

Рис.3. Схема залізничного напрямку та варіанти організації вагонопотоків у поїзди.

Вихідні дані до моделювання наведені в табл.1. Технологія та тривалість обробки поїздів різних категорій прийняті відповідно до технологічних процесів технічних станцій, що входять до складу обраного залізничного напрямку.

Таблиця 1

Вихідні дані до моделювання

Найменування елементів	Позначення	Одиниця виміру	Числове значення
Кількість вагонів у складі поїзда	m	вагони	50
Вагонопотік із А призначенням на станцію С	N_{AC}	вагони	200
Вагонопотік із А призначенням на станцію В	N_{AB}	вагони	200
Вагонопотік із В призначенням на станцію С	N_{BC}	вагони	200
Витратна ставка на 1 вагоно-годину	$e_{вг}$	грн	3,67
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину маневрової роботи	$e_{мл}$	грн	82,1
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину простою поїзного локомотива	$e_{пл}$	грн	148,8

У якості результатів фіксувалися наступні показники роботи станцій А та В для двох попутних призначень плану формування поїздів за період роботи протягом одного року:

- кількість поїздів по категоріям (однотурні, двотурні), які прийнято та відправлено зі станції;
- сумарні вагоно-години знаходження вагонів кожного призначення на технічних станціях;
- обсяг маневрової роботи, пов'язаної з формуванням, розформуванням та обміном груп вагонів;
- тривалість знаходження поїзних локомотивів на технічних станціях;
- сумарні витрати пов'язані з організацією вагонопотоків.

Для порівняння варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди в табл. 2 наведено результати моделювання при формуванні лише однотурних поїздів на обрані призначення, та при оперативному формуванні двотурних поїздів.

Таблиця 2

Результати моделювання роботи залізничного напрямку

Техніко-експлуатаційні показники		Існуючий ПФП	Оперативне коригування ПФП
Кількість сформованих поїздів	K_{AB}	1453	787
	K_{AC}	1459	905
	K_{ABC}	0	1220
	K_{BC}	1427	1099
Вагоно-години простою, тис. ваг-год	ст А	691,75	542,48
	ст В	521,48	521,54
	залізничний напрям	1213,23	1064,02
Тривалість роботи маневрового локомотива, тис. лок-год	$Mt_{манА}$	1,6	1,85
	$Mt_{манВ}$	1,44	2,39
Тривалість простою поїзного локомотива, тис. лок-год	$Mt_{плА}$	0,87	0,87
	$Mt_{плВ}$	6,47	6,80
Річні витрати E , тис. грн. за рік	станція А	2800,303	2272,414
	станція В	2994,494	3122,177
	сумарні	5794,797	5394,591
Економія витрат (у порівнянні з формуванням лише однотурних поїздів), тис. грн			400,206

Аналізуючи результати, наведені в табл.2, можна зробити висновок, що формування двогрупних поїздів в оперативних умовах є ефективним заходом щодо удосконалення системи організації вагонопотоків у поїзди, який дозволяє суттєво зменшити власні експлуатаційні витрати залізниць.

Висновки.

Розроблена модель роботи залізничного напрямку може бути застосована для дослідження, аналізу та оцінки варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Формування двогрупних поїздів на базі попутних одnogрупних призначень в оперативних умовах забезпечує економію експлуатаційних витрат на організацію вагонопотоків у поїзди на залізничному напрямку без додаткових капітальних вкладень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ульяницкий Е.М. Моделирование процессов управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте [Текст] / Е.М. Ульяницкий, В.Н. Скляров // Вестник ВНИИЖТа. – 2003. – № 6. – С.39-42.
2. Буринская З. Имитационное моделирование процесса распределения сортировочной работы и вагонопотоков между станциями [Текст] / З. Буринская, А. Кутах, В. Мироненко, Т. Фурсова // Збірник наукових праць КУЕТТ. – 2002. – № 1. – С.141-148.
3. Сукач Е.И. Автоматизация процесса исследования вариантов организации перемещения транспортных потоков в железнодорожной сети [Текст] / Е.И. Сукач // Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С.161-168.
4. Максимей И.В. Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети [Текст] / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.В. Гируц, Е.А. Ерофеева // Математичні машини і системи. – 2008. – № 4. – С.147-153.
5. Бобровский В.И. Техничко-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В.И. Бобровс-

- кий, Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – №6. – С.17-21.
6. Козаченко Д.М. Моделювання роботи залізничного напрямку [Текст] / Д.М. Козаченко, Г.Я. Мозолевич, О.В. Власюк // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С.143-148.
7. Мазуренко О.О. Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі однокрупних призначень [Текст] / О.О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С.7-13.
8. Вернигора Р.В. Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання [Текст] / Р.В. Вернигора, О.В. Пугач // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4(48). – С.52-55.
9. Мазуренко О.О. Визначення характеру надходження вагонів на окремі призначення плану формування [Текст] / О.О. Мазуренко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – Вип.113. – С. 128-134.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Вернигора Роман Віталійович, доцент кафедри Станцій та вузлів, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Коло наукових інтересів: Імітаційне моделювання роботи об'єктів залізничного транспорту, удосконалення конструкції колійного розвитку станцій.

Контактный тел.: (056) 373-15-12, (068) 409-62-14, e-mail: RomaV1@yandex.ru.

Мазуренко Олександр Олександрович, асистент кафедри Станцій та вузлів, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Коло наукових інтересів: Удосконалення організації вагонопотоків на залізницях України.

Контактный тел.: (056) 373-15-20, (097) 727-58-00, e-mail: sash_ok_ua@mail.ru.