

УДК 656.222.4.001.57

*Буцько Т.В., д.т.н., проф. (УкрДАЗТ)  
Костиркіна Т.О., аспірант (УкрДАЗТ)*

## МОДЕЛЬ ПРОСУВАННЯ ВАГОНОПОТОКІВ В УМОВАХ «ЖОРСТКИХ» НИТОК ГРАФІКУ

*Вступ.* Падіння об'ємів промислового та сільськогосподарського виробництва, яке відбулося на Україні, відповідно призвело до зниження обсягів перевезень і, як наслідок, до значного погіршення економічного і фінансового стану залізничного транспорту та до зростання конкуренції на транспортному ринку. В умовах постійного змінення обсягів перевезень, важливим моментом, для покращення конкурентоздатності залізничних перевезень, є гнучкість у виборі маси поїзда, а також пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад.

У зв'язку з цим, стає необхідним вирішення задачі удосконалення технологічних процесів роботи основних напрямків залізниць при забезпеченні раціонального використання ресурсів. Використання жорстких ниток, як доводить аналіз, притаманне саме логістичним технологіям, які забезпечують гнучкість у перевізному процесі. За таких умов формування технології руху поїздів за «жорсткими» нитками графіку в умовах подовжених пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад дозволяє дослідити та впровадити перспективні варіанти системи організації вагонопотоків.

*Постановка задачі у загальному вигляді.* З урахуванням вище наведеного, виникає науково-прикладне завдання формування віртуального логістичного ланцюга на основі виділення жорсткої нитки з урахуванням найбільш економічно доцільних маршрутів прямування поїздів в умовах різних варіантів подовження тягових пліч локомотивів, швидкостей руху на дільницях при експлуатації різних типів локомотивів, технології обробки поїздів на технічних станціях, зміни ваги та довжини поїздів.

*Аналіз останніх досліджень.* Питанням організації вагонопотоків займалася велика кількість вчених – В.М. Акулінічев, А.Ф. Бородін, Т.В. Буцько, М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.А. Кудрявцев, І.Б. Сотніков.

В.Г. Шубко, Н.В. Правдін, В.С. Волков та інші. Жорсткому графіку руху поїздів присвятили свої роботи такі вчені як І.Н. Шапкін, В.А. Буянов, Н.В. Кондрахіна, В.А. Івницький, Є.М.Кожанов.

Аналіз довів, що в основному ці роботи вирішували вищезгадану стохастичну задачу за допомогою методів лінійного програмування, що у свою чергу призводило до спрощення задачі та введення великої кількості припущень[1,2].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Віртуальний логістичний ланцюг являє собою комплекс технологічних, технічних та організаційних засобів для просування вагонопотоків[3]. Він діє у межах жорсткого графіку руху поїздів, коли на цю, високо пріоритетну, нитку відправляються вагони відповідного призначення з дотриманням умови повносоставності та повноваговості, а також доставки точно в строк.

Для визначення конкурентоспроможних варіантів організації поїздопотоків передбачається формування методів дослідження впливу різних факторів при реалізації технології пропуску вагонопотоку в умовах жорстких ниток графіку за критеріями найбільш раціональних витрат паливо-енергетичних ресурсів, доставки вантажів точно в строк, потрібного парку локомотивів, якісних та кількісних показників роботи залізниць, що у сукупності являє собою багатокритеріальну оптимізаційну задачу. В даній роботі пропонується звести цю задачу до однокритеріальної за рахунок формування суперкритерію в адитивній формі, що по суті являє собою сукупні експлуатаційні витрати.

В такій постановці модель має наступний вигляд:

$$E_{заг} = \frac{\Gamma}{\varphi Q_{бр}} \left[ \sum_i E_{тяг} + E_{л.п.} + E_{л.б.} + \sum_i E_{обг} + E_{зуп} + E_{ПТО} \right] \rightarrow \min$$

де  $\Gamma$  – заданий вантажопотік на напрямку, млн. т;

$\varphi$  – відношення ваги состава нетто  $Q_n$  і брутто  $Q_{бр}$  ;

$Q_{бр}$  – вага поїзда брутто, т;

$\sum_i E_{тяг}$  – витрати на тягу спеціалізованих поїздів на  $i$ -й дільниці,

грн;

$E_{л.п.}$  – витрати на парк локомотивів при обслуговуванні спеціалізованих поїздів, грн;

$E_{л.б.}$  – витрати на утримання штату локомотивних бригад, грн;

$\sum_i E_{обг}$  – витрати на обгони пасажирськими поїздами спеціалізованого поїзда, грн;

$E_{зуп}$  – приведені витрати на зупинки одного вагону в поїзді, грн;

$E_{ПТО}$  – витрати на утримання бригад ПТО на технічних станціях напрямку, грн.

В теперішній час найбільш перспективним видом тягового рухомого складу є електровози, тому модель сформовано в умовах перевезення вантажів електровозною тягою. В таких умовах система обмежень має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{потр} \leq N_{наявн}; \\ T_x \leq T; \\ T_x^i \leq T^{ТО-2}; \\ T_x^i \leq T_{лб}^i; \\ Q_{бр} \leq Q; \\ U_n \leq U; \\ L_n \leq L_{пвк}; \\ v_{дост} \leq v_d. \end{array} \right.$$

$N_{потр} \leq N_{наявн}$  – потрібна пропускна спроможність лінії повинна бути меншою ніж наявна;

$T_x \leq T$  – час доставки повинен бути меншим ніж нормативний;

$T_x^i \leq T^{ТО-2}$  – час роботи кожного локомотива повинен бути не більшим ніж час між ТО-2 ;

$T_x^i \leq T_{лб}^i$  – час роботи локомотивної бригади не повинен перевищувати встановлені норми праці;

$Q_{бр} \leq Q$  – маса поїзда брутто повинна бути меншою ніж максимально допустима маса для цього напрямку;

$U_n \leq U$  – напруга в контактній мережі повинна забезпечувати проходження по перегону даного поїзда з можливістю слідування за ним або у зворотному напрямку іншого поїзда з встановленим інтервалом;

$L_n \leq L_{пвк}$  – довжина поїзда не повинна перевищувати довжину приймально-відправних колій на станції;

$v_{дост} \leq v_d$  – швидкість доставки вантажу не повинна перебільшувати дільничну швидкість.

Таким чином, вказана система обмежень забезпечує виконання нормативних показників перевізного процесу, необхідного обсягу перевезень та безпеку руху поїздів.

Модель враховує пріоритетність пропуску великовагових поїздів, так як не містить витрат з обгонів іншими вантажними поїздами, що притаманно саме жорстким ниткам.

Аналіз довів, що складові цільової функції  $E_{заг}$  залежать від наступних чинників, частина яких входить до моделі у неявному вигляді:

$v_d$  – дільнична швидкість;

$Q_{бр}$  – маса бруто вантажного поїзда;

$N_{наявн}$  – наявна пропускна спроможність;

$M$  – потрібна кількість поїзних локомотивів;

$B$  – потрібна кількість локомотивних бригад;

$L_{п}$  – довжина поїзда;

$K_{тех}$  – кількість технічних станцій на шляху прямування;

$t_{пер}$  – середній простій на технічній станції без переробки.

Серед наведених чинників можна виділити два, вплив яких найбільш вагомий – це маса бруто вантажного поїзда та потрібна кількість локомотивів та локомотивних бригад. Розглянемо процедуру формування моделі для вибору віртуального логістичного ланцюга при фіксованій масі поїзда бруто та змінні пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад, що обумовлює в свою чергу потрібну кількість локомотивів та локомотивних бригад, за допомогою структурної схеми, представленої на рисунку 1.

В блоках 1 та 2 дається характеристика полігону, по якому буде пропускатися вагонопотік в умовах жорстких ниток графіку руху поїздів. Спираючись на назву вказаного полігону, з бази даних беруться для подальшого розрахунку усі необхідні дані – довжина дільниць, ухили, довжина приймально-відправних колій, тощо.

База даних представляє собою сукупність таблиць, у яких дані взаємопов'язані між собою, що є одним із видів контролю достовірності введених даних та дозволяє отримати усю необхідну інформацію за один запит. Після отримання назви полігону з бази даних вибираються відомості про маршрути, якими можна дістатися вказаних станцій.

*Блок №3* – розділення полігону на дільниці, що обмежені технічними станціями також виконується завдяки базі даних. На визначений маршрут у базі даних формується таблиця 1, яка частково бере свої значення з таблиці 2.

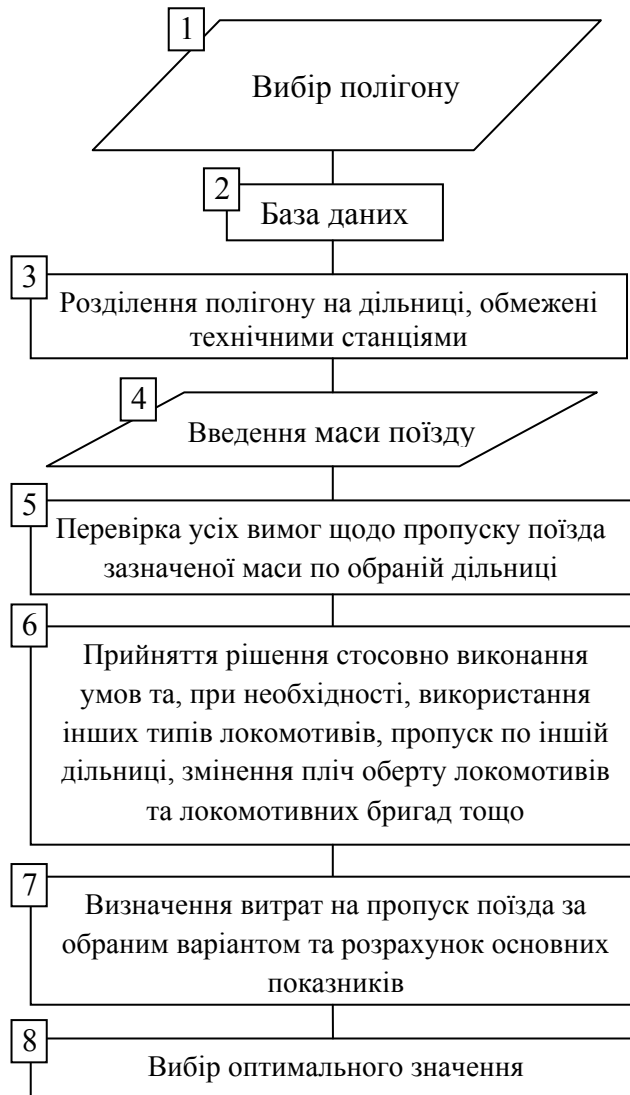


Рисунок 1 – Структурна схема визначення оптимального варіанту пропуску поїзда по обраному полігону

Для того, щоб у подальшому перевірити обраний маршрут на відповідність усім критеріям, у базі даних знаходяться та зводяться до наступного вигляду усі існуючі обмеження по перегонах та станціях – швидкості руху, наявні попередження, ухили, вагові маси по напрямках (уніфіковані та критичні), довжина поїздів, тощо (таблиці 3, 4).

**ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Таблиця 1 - Техніко-експлуатаційна характеристика станцій на маршруті

Найменування	Характеристика станції		Наявність з'їздів на головних коліях
<b>Дільниця</b>			
перегін довжина, км			
станція ЄСР			
тип станції			
клас станції			
умовна довжина колій	для непар напрямку		для пар напрямку
кількість колій			
кількість п/в колій			
кількість стрілок ЕЦ			

Таблиця 2 - Відомість місткості колій станцій на напрямку

Порядковий №	Назва станції	Тип станції	Приймально-відправні та сортувально-відправні колії, які спеціалізуються для поїздів у напрямках											Примітка	
			непарному						парному						
			Парк	№ колії	Назва	корисна довжина колії, м	корисна довжина колії, ваг	наявність контактної мережі	№ колії	Назва	корисна довжина колії, м	корисна довжина колії, ваг	наявність контактної мережі		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Таблиця 3 - Техніко-експлуатаційна характеристика маршруту

Найменування	Найменування перегонів та роздільних пунктів	довжина перегону (м)	напрямок руху	назва головної колії	спеціалізація головної колії	пристрої СЦБ та зв'язку	вид тяги	вид струму	допустимі швидкості руху, км/год			наявність попереджень	
									головні колії на станції	бокові колії на станції	на перегонах	довжина дії, км	швидкість, км/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Дільниця</b>													
станція													
перегін													

Таблиця 4 - Вагова норма поїздів та довжина составів на дільниці

Найменування дільниці	Довжина дільниці, км	Визначальний підйом		Серії локомотивів	Вагові норми, т				Довжина поїздів, ум. ваг			
		непарний напрямок	парний напрямок		уніфіковані по графіку		критичні по потужності локомотива		Уніфіковані поїзди		дільничні поїзди	
					непарний	парний	непарний	парний	непарний	парний	непарний	парний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

*Блок №4* – при виборі маси поїзда необхідно враховувати потужності виробника та вантажоодержувача, потужності наявних локомотивів та тягових підстанцій, тощо. Так як маса поїзда у даному випадку не змінюється, необхідно знаходити такі напрямки, локомотиви та інші засоби, щоб задовольнити потребу у перевезеннях. Для того, щоб модель носила універсальний характер, необхідно враховувати:

- модернізацію існуючого тягового рухомого складу або придбання електровозів, що працюють на змінно-постійному струмі;
- подовження приймально-відправних колій;
- побудову нових тягових підстанцій;
- зміну технології пропуску поїздів на обраній дільниці, тощо.

*Блок №5* – перевірка вимог для пропуску поїздів зазначеної маси проводиться з порівнянням значень, що взято з бази даних. Вони будуть враховані в системі обмежень при вирішенні оптимізаційної задачі.

*Блок №6* – після перевірки умов, приймається рішення щодо подальших розрахунків – чи є доцільним подальший розрахунок для даного напрямку і необхідно переходити до наступного етапу, або є сенс шукати інший напрямок для пропуску поїзда.

*Блок №7* – при визначенні витрат будуть враховані усі вище зазначені обмеження, необхідні капітальні витрати та отриманий економічний ефект від запропонованої технології.

Так як запропонована модель носить універсальний характер, то доцільно ввести блок, який забезпечує змінення маси поїзда та визначення оптимальної маси. Тягові розрахунки при можливості зміни маси поїзда представлені у наступній формі (таблиця 5).

Таблиця 5 - Тягові розрахунки для напрямку

Серія локомотива	Розрахункові параметри	Вага поїзда, т								Примітка
		уніфіко- вана 4000	4600	5000	6000	6100	6200	6300	7000	
		57у.в.	57у.в.	57у.в.	65у.в.	67у.в.	69у.в.	71у.в.	77у.в.	
ВЛ82М	Назва дільниці									
	Відстань, км									
	Керівний ухил									
	Кратність тяги									
	Загальні витрати електр., кВт*год									
	Витрати електр., на додаткову тягу, кВт*год									
	Вартість, грн									
	Час ходу, хв									
	розрах. V <sub>тех</sub> , км/год									

*Блок №8* – після проведення розрахунків по усім можливим варіантам робиться висновок щодо вибору оптимального маршруту.

На основі проведеного моделювання в умовах напрямку Куп'янськ – Сорт – Одеса - Сорт для вантажного поїзда масою бруто 4600 тонн виявлено, що витрати на роботу локомотивних бригад від загальних витрат  $E_{заг}$  складають приблизно 13%, відповідно на роботу локомотивів – 2,5-3,5%, витрати, що пов'язані з зупинками поїздів на технічних та проміжних станціях та пропуском по перегону спеціалізованого поїзда відповідно склали приблизно 4,5% від загальних витрат  $E_{заг}$ . Розрахунки наведені в таблиці 6.

В умовах напрямку Куп'янськ - Сорт – Одеса - Сорт для вантажного поїзда з фіксованою масою 4600т проведено моделювання при змінній пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад наступним чином: подовжено плече Куп'янськ - Сортувальний – Основа до станції Полтава-Південна (на 139,3км), від ст. Полтава-Південна подовжено плече до ст. Знам'янка-Сортувальна, замість зміни локомотивів та локомотивних бригад на станції Кременчук (плече подовжено на 97,9 км), та від ст. Знам'янка-Сортувальна через ст. Помічна без зміни локомотивів та локомотивних бригад до станції Одеса-Сортувальна (284,9 км замість 136км).



Таблиця 6 – Результати моделювання в умовах напрямку Куп’янськ -  
Сорт – Одеса - Сорт для вантажного поїзда масою бруто 4600 т

	Куп’янск-Сорт– Полтава-Півд– Знам’янка-Сорт– Одеса-Сорт		Куп’янск-Сорт– Основа– Полтава-Півд– Кременчук– Знам’янка-Сорт– Помічна–Одеса-сорт	
Загальні витрати, грн, %:	34518,596	100%	35419,031	100%
витрати на роботу локомотива, грн	863,488	2,50	1161,988	3,28
витрати на роботу локомотива кратної тяги, грн	279,396	0,81	279,396	0,79
витрати на роботу локомотивних бригад, грн	4186,5	12,13	4724,99	13,34
витрати на роботу локомотивних бригад кратної тяги, грн	1076,31	3,12	1076,31	3,04
витрати на інфраструктуру, грн	1502,58	4,35	1566,03	4,42
витрати на тягу, грн	26610,32	77,09	26610,32	75,13

Порівняльний аналіз довів, що подовження пліч роботи локомотивів та локомотивних бригад дозволяє зменшити загальні витрати на 2,6%, витрати на роботу локомотивних бригад, у порівнянні з варіантом без подовження пліч обертання, – на 11,3% , а на роботу локомотива відповідно на 25,6%. Також зменшуються загальні локомотиво- та бригадо-години на напрямку – на 25,6% та 11,3% відповідно (таблиця 7). Завдяки такому комплексному підходу стає можливим зменшити час просування поїзда на напрямку на 2,5год та покращити маршрутну швидкість приблизно на 15,4%

**Висновки.** Реалізація запропонованої моделі, забезпечує формування пропуску вантажних поїздів за жорсткими нитками графіку, дозволяє покращити експлуатаційні показники за рахунок подовження пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад, зменшити експлуатаційні витрати на 2-3% та підвищити дільничну швидкість на 15%.

Модель надає гнучкість у виборі маси поїзда та пліч обертання локомотивів та локомотивних бригад, завдяки чому вона дозволяє отримати оптимальне рішення на будь-якому полігоні, враховуючи усі наявні обмеження та техніко-експлуатаційні умови.

Таблиця 7 – Експлуатаційні показники напрямку Куп'янськ - Сорт – Одеса - Сорт для вантажного поїзда масою брутто 4600 т при різних варіантах роботи локомотивів та локомотивних бригад

	Куп'янск-Сорт– Полтава-Півд– Знам'янка-Сорт– Одеса-Сорт	Куп'янск-Сорт– Основа– Полтава-Півд– Кременчук– Знам'янка-Сорт– Помічна–Одеса-сорт
Кількість технічних станцій на шляху прямування	2	5
Довжина напрямку, км	861,966	
Загальні локомотиво-години на напрямку	21,7	29,2
Загальні локомотиво-години кратної тяги	7,02	7,02
Загальні бригадо-години	27,31	30,82
Загальний час просування поїзда на напрямку, год	16,2	18,7
Час знаходження поїзда в русі	14,2	14,2
Час знаходження поїздів на технічній станції, год	2	4,5
Маршрутна швидкість, км/год	53,22	46,11

Вона повинна бути інтегрована як додаткова задача на автоматизоване робоче місце оперативних працівників в автоматизовану систему керування вантажними перевезеннями на Укрзалізниці (АСК ВП УЗ).

### *Список використаних джерел*

- 1 Шапкин, И.Н. Информационные технологии в организации перевозок // Железные дороги мира. – 2003 – №2 – С. 9-13.
- 2 Буянов, В.А., Кондрахина, Н.В. Жесткий график движения поездов в среде информационных технологий организации перевозок // Вестник ВНИИЖТ. – 2001 – №4 – С. 3-7.
- 3 Бутько, Т.В., Ломотько, Д.В., Прохорченко, А.В., Олійник, К.О. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Випуск 111. – Харків, 2009. – С.23-30.