

УДК 656.222.3:658.5

О.В. ЛАВРУХІН (Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків)

ФОРМУВАННЯ ОСНОВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОНАННЯ МІСЦЕВОЇ РОБОТИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЯХ В ОПЕРАТИВНИХ УМОВАХ

В науковій роботі вирішено наукове завдання формування основ інтелектуальної технології виконання місцевої роботи на залізничних дільницях в оперативних умовах. Поставлену задачу вирішено на основі застосування генетичного алгоритму, що дозволило отримувати оптимальні варіанти обслуговування залізничних дільниць поїзним локомотивом.

Ключові слова: залізнична дільниця, залізнична станція, черговий по станції, поїзний, диспетчер, ген, хромосома, популяція, генетичний алгоритм.

В научной работе решено научную задачу формирования основ интеллектуальной технологии выполнения местной работы на железнодорожных участках в оперативных условиях. Поставленную задачу решено на основе применения генетического алгоритма, что позволило получать оптимальные варианты обслуживания железнодорожных участков поездным локомотивом.

Ключевые слова: железнодорожный участок, железнодорожная станция, дежурный по станции, поездной диспетчер, ген, хромосома, популяция, генетический алгоритм.

In a study agreed scientific task of forming the basis of intellectual technologies perform work on the local railway stations in operational conditions. Task solved through the application of genetic algorithm that enables the optimal service options railway stations train locomotive.

Keywords: railway station, railway station, station duty officer, train dispatcher, a gene chromosome, population, genetic algorithm.

Вступ

Виконання оперативних планів роботи залізничних станцій ґрунтується на раціональній організації місцевої роботи залізничних дільниць. Слід зауважити, що в основу існуючої технології виконання місцевої роботи визначених підрозділів покладено оперативний перерозподіл локомотивного парку для подавання порожніх вагонів під навантаження і вивезення навантажених вагонів. Технологія виконання місцевої роботи дільниць передбачає, що розподіл локомотивного парку та закріплення його за певними поїздами виконується на основі діючого плану формування вантажних поїздів (ПФП) та графіку руху поїздів (ГРП) [1]. Однак слід зауважити, що оперативна ситуація на дільницях протягом доби і зміни постійно змінюється і може кардинально відрізнятись від спланованої в результаті розробки змінно-добового плану і тим більше, може відрізнятись від середніх значень кількісних і якісних показників, які було використано для розробки технічного плану, плану формування поїздів та графіку руху [2]. З цією метою поїзний диспетчер (ДНЦ) повинен вживати оперативних заходів щодо оперативного розподілу вагонного

та локомотивного парків. Як правило, визначені операції ДНЦ виконує практично без застосування автоматизованих засобів (використовуються у якості інформаційно-довідкових систем) на основі особистого досвіду, тим самим підсилює вплив людського фактору, що може призводити до погіршення виконання основних показників експлуатаційної роботи.

Постановка мети дослідження

Згідно зазначеного стає можливо поставити мету дослідження – формування основ технології раціонального розподілу локомотивного парку в оперативних умовах з елементами штучного інтелекту і послідуною реалізацією її на автоматизованому робочому місці диспетчерського персоналу.

Вирішення поставленої задачі доцільно виконувати на основі розробки математичної моделі обслуговування станцій дільниці, які включено до плану формування вантажних поїздів. В основу формування визначеної моделі, необхідно покласти наступні умови: вивезення всіх сформованих за добу поїздів та груп вагонів зі всіх станцій дільниці; загальні простой всіх вагонів на станціях дільниці повинні бути мінімальними; необхідність екіпірування локо-

мотиву після встановлених локомотиво-кілометрів пробігу на станціях основного депо та в пунктах обігу; необхідність зміни локомотивних бригад згідно прийнятої технології їх роботи.

Вирішення поставленого наукового завдання

Першим етапом вирішення поставленої задачі є визначення основних кількісних та якісних параметрів, які впливають на вибір раціонального варіанту підводу поїзних локомотивів під состав або групу вагонів на станцію та входять до складу параметрів визначеного вектору стану системи, а саме: вагоно-години простою сформованого составу або групи вагонів в очікуванні поїзного локомотива та кількість поїзних локомотивів, які обслуговують дільницю.

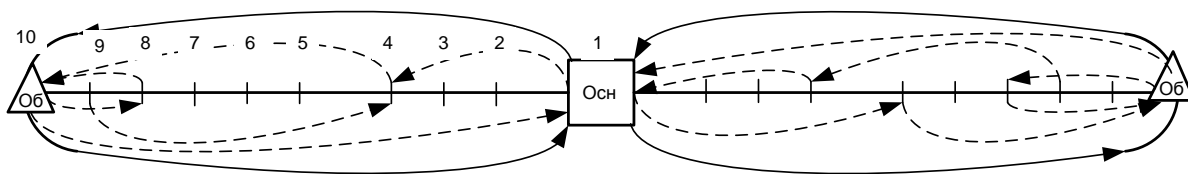


Рис. 1. Схематичне відображення варіантів роботи локомотива при плечовому способі, де 1, 2, ..., 10 – закодовані під номерами назви станцій дільниці на яких відбувається формування поїздів.

Одним з методів вирішення поставленого завдання є метод в основу якого покладено еволюційний підхід, на основі генетичного алгоритму [3].

Генетичний алгоритм надає переваг при рішенні практичних задач. Одна з них – це адаптація до мінливого навколишнього середовища. В реальному житті проблема, яка була поставлена для рішення на початку дослідження, може перетерпіти значні зміни в процесі свого вирішення. При використанні традиційних методів всі обчислення необхідно починати знову, що може призвести до значних витрат людського та машинного часу. При еволюційному підході популяцію можливо аналізувати, доповнювати і змінювати стосовно мінливих умов [4, 5]. Для цього немає необхідності виконувати повний перебір. Іншою перевагою генетичного алгоритму для рішення оптимізаційних задач є доволі швидка генерація адекватних рішень.

Також до переваг даного методу можливо віднести такі: відносно проста реалізація, можливість роботи із великими вибірками, відносно швидкий пошук рішення за рахунок «осмисленого» перебору

Використання генетичного алгоритму надає можливості розглядати Укрзалізницю з точки

На другому етапі, як зазначалося раніше, доцільно визначити підходи щодо вирішення поставленої задачі при обслуговування дільниці одним поїзним локомотивом та обрати метод на основі якого буде виконуватися моделювання. При цьому визначені підходи повинні забезпечити вирішення задачі використання одного поїзного локомотива для обслуговування всіх категорій поїздів, які формуються і курсують в межах дільниці і тим самим забезпечують безпосереднє виконання місцевої роботи (вивізні, збірні та диспетчерські локомотиви).

На рис. 1 схематично відображено певну кількість можливих варіантів роботи локомотива при плечовому способі. Для отримання раціонального варіанту необхідно прорахувати всі можливі варіанти підводу локомотиву під поїзди різних категорій з урахуванням часу закінчення формування составів.

зору живого організму. Відповідно до цього взагалі всю Укрзалізницю можливо співвіднести до організму живої істоти з відповідними органами та їх властивостям [6]. Таким чином, функції центральної нервової системи та мозку можливо співвіднести з функціями, які покладено на апарат Головного управління перевезень (ЦД) та його структурних підрозділів (далі апарат управління перевезеннями (АУП)).

Існуюча технологія роботи залізничного транспорту в галузі перевезень вантажів та пасажирів свідчить, що апарат АУП виконує аналогічні функції центральної нервової системи живого організму по забезпеченню процесу життєдіяльності. Однією з основних задач якого є забезпечення раціонального (такого, який сприяє розвитку) функціонування організму Укрзалізниці (УЗ) на основі раціонального використання транспортних ресурсів. Тобто однією з основних функцій АУП є раціональне використання робочого парку локомотивів і вагонів. Відповідно до цього з точки зору побудови та розвитку такого організму як УЗ в контексті вирішення даної проблеми мова йде про формування нової хромосоми обслуговування станцій, які входять до плану формування поїздів.

В подальшому, як і у всіх літературних дже-

релах при описі певних процесів будуть використовуватися поняття, які було запозичено з генетики. Доцільно навести основні визначення, які буде в подальшому використано. Таким чином, під популяцією в контексті даного питання називається кінцева множина особин. У свою чергу особини, які входять до популяції в генетичних алгоритмах представляються хромосомами із закодованим в них множинами параметрів задачі. В даному випадку при вирі-

шенні поставленої задачі особинами будуть називатися послідовності обслуговування станцій поїзними локомотивами. Хромосоми – це упорядковані послідовності генів [4]. На рис. 2 наведено приклад хромосоми, яка відображає послідовність обслуговування локомотивом залізничних станцій на яких за планом формування здійснюється формування поїздів. Наведена хромосома відбиває процес обслуговування локомотивом станцій наведений на рис. 1.

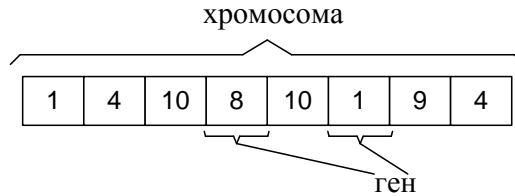


Рис. 2. Приклад хромосоми, яка відображає процес обслуговування станцій поїзним локомотивом.

Наведена на рис. 2 послідовність обслуговування поїзним локомотивом станцій формування скоріше за все не є кінцевим результатом для певного випадку. Вона в рівній мірі може

бути і початковою (батьківською) і проміжною (хромосома нащадком). На рис. 3 відображено певну кількість хромосом дійсних для даного випадку.

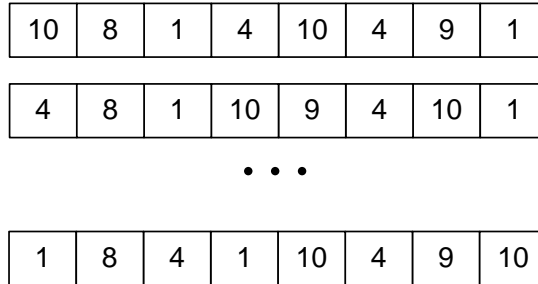


Рис. 3. Хромосомний набір (батьківська популяція).

Ген – це атомарний елемент генотипу тобто хромосоми. Генотип – це набір хромосом даної особини. Також слід розглянути поняття фенотипу, алелі, локусу. Згідно до цього фенотип – це набір значень, які відповідають даному генотипу, тобто декодована структура або мно-

жина параметрів задачі. Алель – це значення конкретного гену [4]. На рис. 2 алелями є множина закодованих значень станцій тобто {1, 4, 10, 8, 10, 1, 9, 4}. Позиція кожного гену в хромосомі називається локусом (рис. 4).

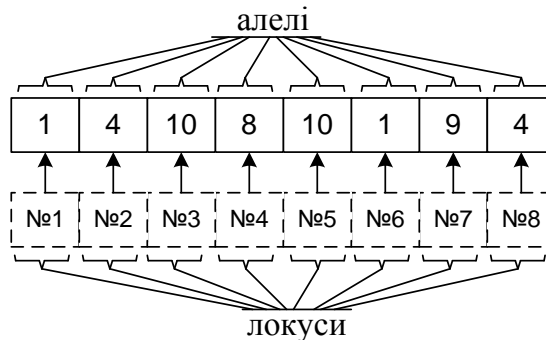


Рис. 4. Графічна інтерпретація позицій і значень в хромосомі.

Після того як було розглянуті поняття, які характеризують певну послідовність обслуговування станцій локомотивом необхідно розглянути таке поняття як функція пристосування

(fitness function) також вона носить назву – функція оцінювання. Вона представляє міру пристосованості одержаної особини в популяції. Ця функція є основою при визначенні оцінки при-

стосування конкретних особин в популяції і обрати з них найбільш пристосовані. Тобто fitness function дозволяє обрати найбільш пристосовану популяцію, а в результаті хромосому, яка буде оптимально описувати послідовність обслуговування станцій формування локомотивом. Поняттю fitness function в даній роботі відповідає цільова функція [7]:

$$R = \int_{t_k}^{t_n} \sum_{i=1}^n (L(t), V(t)) dt \rightarrow \min. \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} m^{\text{від}} = 0, \\ P = 1 \text{ при } t_i^S + t_i^D \leq 24 - t_{\text{ек}}, \\ P > 1 \text{ при } t_i^S + t_i^D > 24 - t_{\text{ек}} \\ t_{\text{лб}} \leq 12 \end{cases} \quad (2)$$

де $L(t)$ – вектор стану системи – диспетчерська дільниця, який характеризується незмінними параметрами підсистеми, а саме – кількість лінійних об'єктів, кількість вагонів, що знаходяться в процесі накопичення та завантажені вагони в парку відправлення.

$V(t)$ – вектор управління системою, який характеризується змінними параметрами підсистеми ДН, зокрема – експлуатаційні витрати, які враховують простій вагонів під накопиченням, простій вагонів в очікуванні прибуття локомотива та витрати пов'язані на прямування локомотиву по дільниці, витрати пов'язані з простоєм локомотивів на станціях в очікуванні підготовки составів або груп вагонів під вивезення.

$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}$ – відповідно початковий та кінцевий моменти часу періоду управління ДНЦ (зміна або доба).

t_i^S – час простою локомотива на станції в очікуванні поїзда або причіпної групи вагонів, год.;

t_i^D – час роботи локомотива на дільниці (час в русі), год.;

$m_i^{\text{від}}(t)$ – кількість вагонів, які знаходяться в очікуванні локомотива в момент часу (t) ;

P – кількість локомотивів, які обслуговують місцеву роботу;

$t_{\text{ек}}$ – час на екіпіровку локомотива протягом доби, год.;

$t_{\text{лб}}$ – час роботи локомотивної бригади з

урахуванням прийняття та здавання зміни, год.

Сформована математична модель є основою автоматизованої технології визначення раціонального варіанту роботи локомотивів, що обслуговують місцеву роботу при умові мінімізації вагоно-годин простою на проміжних та вантажних станціях.

Оскільки даний розділ передбачає удосконалення технології роботи полігону дирекції шляхом розробки технології раціонального обслуговування станцій дільниці поїзними локомотивами то в подальшому доцільно розглядати плечовий спосіб роботи локомотивів і локомотивних бригад при якому локомотиви дільниці не будуть покидати її меж при вивезенні та підводі вивізних, збірних поїздів та курсування диспетчерських локомотивів.

Далі необхідно безпосередньо проаналізувати етапи реалізації генетичного алгоритму, які відповідають вирішенню поставленої задачі. Таким чином згідно [8, 9] на першому етапі необхідно виконати ініціалізацію тобто сформувати похідну популяцію, а саме у випадковому порядку обирається задана кількість хромосом. Слід зауважити, що в даній роботі пропонується змінити підхід щодо виконання процедури ініціалізації, яка в класичному вигляді виконується у вигляді двійкової послідовності фіксованої довжини. Це положення витікає з постановки задачі, яка вимагає виконання умови вивезення всіх сформованих поїздів зі всіх станцій формування. Згідно із цим для облегшення роботи алгоритму ініціалізацію доцільно виконувати у вигляді натурних чисел, що в подальшому обумовить вибір механізму схрещення. На другому етапі необхідно виконати оцінювання пристосовуваності хромосом в популяції.

Селекція хромосом полягає в виборі (згідно розрахованим значенням fitness function) таких хромосом (послідовностей), які будуть брати участь в генерації нащадків для наступної популяції тобто чергового покоління. Такий вибір буде виконуватися на основі принципу природного відбору згідно із яким найбільші шанси на участь в утворенні нових особин мають хромосоми з найбільшими значеннями fitness function (1). Існує певна кількість методів селекції яких об'єднує одна мета. Одним з найбільш розповсюдженим є метод рулетки також відомий як метод Монте-Карло [8].

Позначимо кожну хромосому популяції як ch_i для $i = 1, 2, \dots, C$ (де C – чисельність популяції) тоді кожній хромосомі популяції буде відповідати сектор колеса $v(ch_i)$, який можливо виразити в відсотках згідно формули (3).

$$v(ch_i) = p_s(ch_i) \cdot 100\%, \quad (3)$$

де

$$p_s(ch_i) = \frac{F(ch_i)}{\sum_{i=1}^K F(ch_i)}, \quad (4)$$

$F(ch_i)$ – значення функції пристосовуваності хромосоми ch_i ;

$p_s(ch_i)$ – імовірність селекції хромосоми ch_i ;

$\sum_{i=1}^K F(ch_i)$ – загальне значення цільової функції всіх хромосом в популяції.

Величину $p_s(ch_i)$ також називають нормалізованою імовірністю вибору. Число копій і-тої хромосоми після реалізації оператора репродукції можливо визначити за наступною формулою:

$$N_i = F(ch_i) \cdot N_G, \quad (5)$$

де N_G – кількість хромосом, які аналізуються, причому N_G включається до N .

Очікувану кількість копій хромосоми $F(ch_i)$, які переходять до наступного покоління, також можливо визначити наступним чином:

$$N_i = \frac{F(ch_i)}{F(ch)}, \quad (6)$$

де $F(ch)$ – середнє значення цільової функції по всій популяції.

Взагалі селекція може бути представлена як результат повороту колеса рулетки, оскільки обрана хромосома відноситься до сектору колеса, що випав. На основі теорії ймовірностей можливо припустити, що чим більше сектор, тим більше імовірність перемоги відповідної хромосоми. Згідно з цим імовірність вибору даної хромосоми виявляється пропорційною значенню її функції пристосовуваності.

В основу функціонування генетичного алгоритму покладено оператор кросинговеру. При виборі кросинговеру слід враховувати той факт, що перше формування популяції батьківських хромосом повинно включати в себе всі станції на яких відбувається формування складів за

визначений час. Слід зазначити, що відповідно поставленої задачі гени в хромосомі, тобто закодовані чисельні значення станцій формування, повинні повторюватися стільки разів скільки складів буде сформовано протягом певного інтервалу часу (в роботі розглядається добовий інтервал). Причому з (1) виходить, що для одержання оптимального результату необхідно забезпечити вивезення всіх сформованих на станціях поїздів за визначений період часу. При роботі стандартних кросинговерів може виникнути ситуація при якій на певній ітерації з хромосоми нащадка може бути вилучений ген певної станції, що зробить неможливим досягнення оптимального результату. Таким чином, використання таких кросинговерів ставить під сумнів оптимальність отриманого результату. Відповідно до цього необхідно розробити спосіб формування батьківської хромосоми та кросинговер, який буде відповідати умові збереження визначеної кількості певних генів закодованих значень станцій формування.

Згідно зазначеного визначимо спосіб формування батьківської хромосоми у математичному вигляді. Представимо батьківську хромосому ch у вигляді множини:

$$ch = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}, \quad (7)$$

де g_1, g_2, \dots, g_n - гени, які відповідають закодованому значенню номера станції формування поїздів.

$$\begin{aligned} g_1 &= \{0, 1, 2, \dots, k\}, \\ g_2 &= \{0, 1, 2, \dots, k\}, \\ &\dots \\ g_n &= \{0, 1, 2, \dots, k\}. \end{aligned} \quad (8)$$

де $0, 1, 2, \dots, k$ – кількість поїздів, які формуються на n -ї станції.

Після того як було обрано спосіб формування батьківської хромосоми необхідно визначитися з методом на основі якого буде виконуватися робота кросинговеру. Як вже зазначалося кросинговер повинен забезпечувати утримання всіх визначених генів в батьківській хромосомі в хромосомі нащадку [5]. На рис. 5 схематично відображено принцип роботи кросинговеру, який буде відповідати вимогам поставленої задачі.

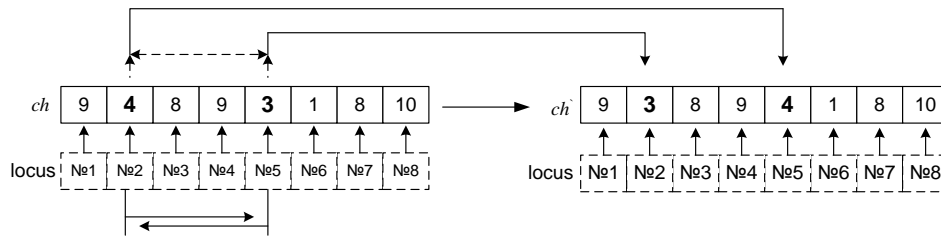


Рис. 5. Схематичне відображення роботи кросингверу перестановки (permutation).

Даний кросингвер носить назву «перестановочний кросингвер», вона виходить із сутності його роботи. На першому етапі його роботи відбувається вибір двох генів, причому як і в проаналізованих кросингверах локуси обираються випадково. На другому етапі відбувається формування хромосоми «нащадка» ch' шляхом зміни локусів обраних генів в батьківській хромосомі ch як це відображено на рис. 5. В даному випадку при роботі «перестановочного кросингверу» з хромосоми обслуговування станцій формування не видаляється жодного гену (сформованого складу на певній станції). Причому для оптимальної роботи в алгоритмі даного кросингверу необхідно передбачити умову вибору генів незбіжних локусів, тобто

$$locus\ g_{n-1} \neq locus\ g_n. \quad (9)$$

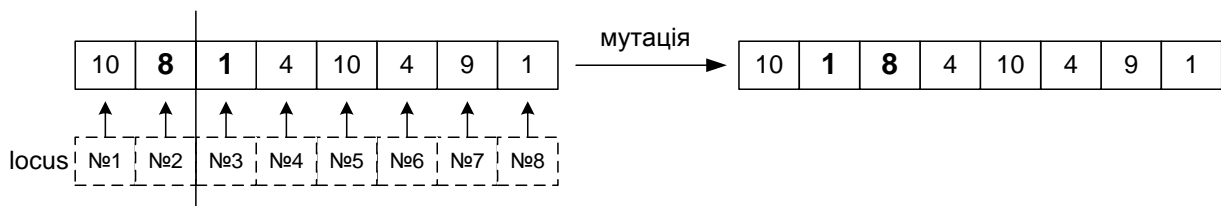


Рис. 6. Схематичне відображення роботи оператора мутації з однією точкою розриву.

Для отримання більш широкого спектру змін в хромосомі і як слідство підвищення швидкості пошуку оптимального рішення, при значній кількості генів в хромосомі, в даній роботі доцільно використати другий тип оператора мутації. В результаті його роботи на першому етапі в різних місцях хромосоми випадковим чином обираються два локуси гени яких будуть мінятися місцями на другому етапі. Принцип роботи оператора мутації в даному випадку подібний обраному оператору кросин-

говеру, але на відмінність умови (9) в даному випадку буде дійсна умова (10)

$$locus\ g_{n-1} \leq locus\ g_n. \quad (10)$$

Тобто при роботі оператора мутації в результаті вибору першого і другого локусу ним може опинитися одне й те ж значення. На рис. 7 відображено приклад роботи даного оператора.

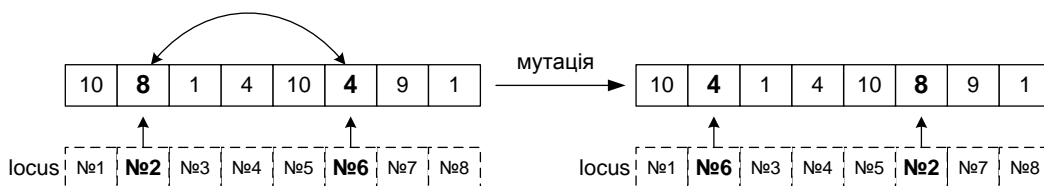


Рис. 7. Схематичне відображення роботи оператора мутації з двома позиціями зміни генів.

Також при роботі оператора мутації, відбувається випадкове включення і виключення, що робить його подібним до реальної мутації живого організму в якому цей процес не є постійним. Як зазначалося раніше ймовірність мутації досить мала і саме від неї залежить буде даний ген піддаватися мутації чи ні. В даній роботі ймовірність мутації при побудові моделі буде емулюватися випадковим вибором числа з інтервалу $[0,1]$.

На етапі формування нової популяції ті хромосоми, які було одержано в результаті схрещення хромосом тимчасової батьківської популяції, включаються до складу нової популяції. Вона позиціонується як поточна популяція для певної ітерації генетичного алгоритму. На кожній черговій ітерації розраховується значення функції пристосовуваності (1) для всіх хромосом даної популяції, після чого перевіряється умова припинення дії алгоритму або фіксується результат у вигляді послідовності (хромосоми) з найбільшим значенням fitness function або здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму. В даній роботі як і в класичному генетичному алгоритмі передбачається заміна попередній популяції хромосом новою популяцією, яка має ту ж саму розмірність. Також слід зауважити, що в дисертації при вирішенні оптимізаційної задачі обслуговування станцій локомотивом використовується цілочисельне кодування генів на відміну від класичного підходу двійкового кодування. Як вже зазначалося це пов'язано із тим, що в даному випадку кожному гену відповідає не абстрактні чисельні значення суму яких необхідно максимізувати або мінімізувати, а в ньому закодовано номер станції формування і при виконанні операції схрещення з послідовності може бути вилучено номер станції і замінено його на ген неіснуючої станції.

Згідно зазначеного необхідно побудувати хромосому відповідно рис. 1, яка буде характеризуватися наступними параметрами:

- кожний ген буде відповідати номеру станції дільниці з якої локомотив буде здійснювати вивезення составів вантажних поїздів, а також станції на які прямують поїзди;

- довжина хромосоми буде залежати від кількості составів, які необхідно вивезти зі станції дільниці протягом доби;

- дільниця обслуговується одним поїзним локомотивом.

Результати дослідження

Для прикладу оберемо дільницю з десятьма

станціями Харківської дирекції по залізничним перевезенням на яких відбувається формування поїздів або груп вагонів для забезпечення виконання плану формування.

Безпосереднє моделювання буде відбуватися в середовищі прикладного програмного забезпечення Matlab, яке дозволить здійснити всі проміжні розрахунки і одержати результати моделювання.

Обраний варіант реалізації алгоритму накопичення вагонів на станції базується на використанні автоматизованого способу підрахунку вагоно-годин простою при дотриманні вимог цільової функції (1) на основі надходження оперативних даних з АСК ВП УЗ-Є.

На рис. 8 наведено результати моделювання у середовищі Matlab. На ньому візуально відображається сформована та вивезена кількість составів, які накопичуються протягом поточної доби, а при збільшенні глибини прогнозування накопичення вагонів на станціях формування на склад поїзду буде одержано можливість визначення оптимальних варіантів роботи локомотивів на попередні періоди. Також на рисунку, у вигляді цифрового коду станції заданого в десятинній формі, відображено раціональний варіант обслуговування станцій дільниці на яких відбувається формування поїздів або груп вагонів тобто хромосома.

Запропонований підхід щодо визначення раціонального режиму обслуговування одним локомотивом дільниці, може бути використаний в тому випадку якщо локомотив може вивезти усі сформовані протягом доби состави в межах планової доби. Використання цього підходу доцільно при порівняно невеликій кількості станцій, які входять до складу дільниці і на яких за планом формування відбувається формування поїздів свого формування, а також при порівняно невеликій кількості поїздів, які формуються протягом доби.

Розроблений підхід характеризується принципово новим підходом у вирішенні задач оптимізації не тільки на залізничному транспорті але і в інших галузях промислового комплексу України. Реалізація сформованого підходу в середовищі Matlab демонструє порівняно простий і доволі ефективний спосіб визначення оптимального режиму роботи поїзного локомотива на основі застосування інтелектуальних методів.

При великому обсязі поїзної роботи застосування визначеної процедури формування батьківської пари хромосом неефективна оскільки не відповідає умові $P > 1$ при $t_i^S + t_i^D > 24 - t_{ек}$ обмеження (2), яке передба-

час наявність декількох локомотивів для виконання визначених обсягів місцевої роботи. При цьому модель та обраний спосіб формування батьківської пари хромосом повинні враховува-

ти вимогу закріплення певного обсягу місцевої роботи, яка відповідає умові $P=1$ при $t_i^S + t_i^D \leq 24 - t_{ек}$ обмеження (2).

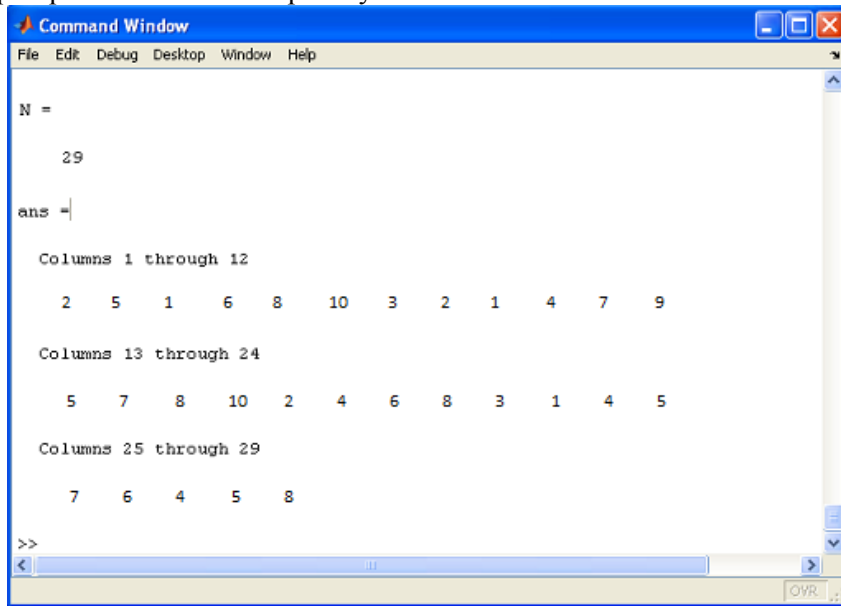


Рис. 8. Визначення послідовності обслуговування дільниці поїзним локомотивом

Висновки

На основі застосування генетичного алгоритму запропоновано підхід використання сформованої моделі, при якому моделюється робота полігону з одним локомотивом. Визначений підхід доцільно використовувати у випадку якщо локомотив може вивезти усі сформовані протягом доби состави в межах планової доби. Використання цього підходу обумовлюється порівняно невеликою кількістю станцій, які входять до складу дільниці і на яких за планом формування відбувається формування поїздів свого формування, а також при порівняно невеликій кількості поїздів, які формуються протягом доби.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ПЕРЕЛІК

1. Інструкція з обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських, приміських та вантажних поїздів. ЦЧУ - ЦД/0002 [Текст]. – Київ, 2010. – 44 с.
2. Шапкин, И. Н. Организация перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов [Текст] / И. Н. Шапкин, Д. Б. Неклюдов, Е. М. Кожанов // Железные дороги мира. – 2005. – Вып. 3. – С.28-33.
3. Курейчик, В. М. Генетические алгоритмы [Текст] / В. М. Курейчик, Л. А. Гладков, В. В. Курейчик – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Физматлит, 2006. – 320 с.

4. Алтухов, Ю. П. Генетические процессы в популяциях [Текст] / Ю. П. Алтухов. – Москва: Академкнига, 2003

5. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие [Текст] / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2006. – С. 320.

6. Лаврухин, О. В. Підходи щодо створення автоматизованої системи управління місцевою роботою з елементами штучного інтелекту [Текст] / О. В. Лаврухин // Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України : тези доп. 5-й між нар. наук.-пр. конф. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 27. – С. 58.

7. Лаврухин, О. В. Формування моделі визначенні раціонального варіанту виконання місцевої роботи диспетчерської дільниці [Текст] / О. В. Лаврухин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2013. – Вип. 2/3 (62). – С. 62-64.

8. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковский, М. Пилинский, Л. Рутковский. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Козаченко Д.М. (Україна)

Надійшла до редколегії 18.10.2014.
Прийнята до друку 19.10.2014.