

Г. І. НЕСТЕРЕНКО, О. М. ПАСІЧНИЙ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## АВТОМАТИЗОВАНА РОЗРОБКА І ПОБУДОВА ГРАФІКІВ РУХУ ПОЇЗДІВ

Розглянуто стан питання автоматизації розробки графіків і розкладів руху поїздів, ведення графіків виконаного руху, а також поставлена і вирішується задача розробки системи автоматизованої побудови графіків руху поїздів на одноколіїних дільницях, а також можливість впровадження її у навчальний процес та наукову роботу.

*Ключові слова:* графік руху поїздів, організація руху поїздів, графік виконаного руху, автоматизація, АРМ.

Рассмотрено состояние вопроса автоматизации разработки графиков и расписаний движения поездов, а также поставлена и решается задача разработки системы автоматизированного построения графика движения поездов на однопутных участках, а также возможность её внедрения в учебный процесс и научную работу.

*Ключевые слова:* график движения поездов, организация движения поездов, график исполненного движения, автоматизация, АРМ.

In this article, the state of the train schedules automation have been analyzed. Due to the analysis, the problem of creation of the software for creating train schedules on single-track railroads has been formalized and solved.

*Keywords:* train schedule, organization of the train traffic, automation, automated workstation.

Основою організації перевезень і експлуатаційної роботи на залізничному транспорті є графік руху поїздів. Він повинен забезпечувати: задоволення потреб у перевезенні пасажирів і вантажів, безпеку руху поїздів, найефективніше використання пропускної і провозної спроможності ділянок та переробної спроможності станцій, раціональне використання рухомого складу, дотримання встановленої тривалості безперервної роботи локомотивних бригад, можливість виконання робіт з поточного утримання та ремонту колії, споруд, пристроїв СЦБ, зв'язку й електропостачання при безумовному дотриманні вимог охорони праці [1].

Застосування ЕОМ при розробці нормативних графіків руху в декілька разів прискорює і полегшує роботу інженерів-графістів, погодження та затвердження ГРП. Автоматизація ведення графіків виконаного руху поїздів покращує умови праці поїзних диспетчерів і дозволяє більш точно контролювати виконаний рух поїздів на залізничних ділянках.

Наукові дослідження по розробці графіків руху на ЕОМ розпочалися з 1970 року, були опубліковані, зокрема, праці [2, 3], що стали початковою теоретичною базою для автоматизованої розробки ГРП. Проте на залізницях СРСР та країн, що утворилися після його розпаду, графіки руху поїздів до відносно недавнього часу складалися практично вручну. Істотними недоліками цього є відсутність інформаційного обміну між задачами, які вирішуються

при розробці графіка, та суміжними задачами, а також можливість лише візуального контролю результатів без інструментальної перевірки та моделювання. Тому в кінці ХХ – на самому початку ХХІ ст. на залізничному транспорті країн колишнього СРСР, насамперед, Росії, активізувалися процеси розробки, створення і розвитку систем автоматизованої розробки ГРП і розрахунку нормативів графіка (АРМ інженера-графіста, «График исполненного движения», ИСКРА-ПТР). З 2007 року був введений у дослідну експлуатацію на Гомельському відділенні Білоруської залізниці програмний комплекс «АРМ графіста», до складу якого входять програми-підсистеми «Тягові розрахунки», «Інтервал», «Графік руху поїздів» [4]. В Україні на Одеській залізниці впроваджена в дію автоматизована система «График исполненного движения» (ГИД Урал-ВНИИЖТ), але що стосується інших залізниць, то на них поїзні диспетчери поки що виконують ведення графіків виконаного руху вручну.

Аналіз етапів розвитку графіків руху поїздів та автоматизації побудови ГРП показує, що рівень автоматизації процесів, пов'язаних із розробкою нормативів, прокладенням поїздів на графіку руху та побудовою розроблених графіків є вже достатньо високим, крім того, існує тенденція до підвищення його – до переходу на повну автоматизацію процесу. Через це стає актуальним і питання якісної підготовки працівників господарства перевезень, які б могли

якісно та ефективно користуватися існуючим та перспективним програмним забезпеченням. Для цього потрібно вже під час навчання знайомити студентів із основними принципами автоматизованої розробки графіків руху поїздів, надавати їм можливість отримання базових навиків роботи з АРМ інженерів-графістів та ведення графіків виконаного руху поїздів на дільницях із застосуванням ЕОМ. Тому у даній роботі виконана розробка програмного забезпечення, яке дасть змогу студентам Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, які навчаються за спеціальністю «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті», виконувати автоматизоване ведення графіків виконаного руху поїздів та знайомитись із прийомами автоматизованої розробки нормативних графіків руху поїздів у рамках дисципліни «Управління експлуатаційною роботою та якістю перевезень».

Складністю процесу автоматизації розробки графіків руху є те, що цей процес досить важко піддається формалізації [5]. Через це найбільш доцільною є розробка системи автоматизованої побудови ГРП як ергатичної (людина-машинної) системи, що працює у діалоговому режимі і дозволяє інженерові-графісту або диспетчерові (при веденні графіка виконаного руху) керувати роботою програми.

Виходячи з цього, найкраще вирішувати задачу, розкладаючи її на окремі підзадачі та створюючи ергатичну (людина-машинну) систему, яка деякі підзадачі вирішує в автоматичному режимі на основі введених в ЕОМ вихідних даних, а деякі (в першу чергу, прокладку поїздів на графіку) вирішує у взаємодії з людиною в діалоговому режимі.

Доцільний (за [6]) порядок розробки графіка руху має включати до себе окремі етапи у наступній послідовності:

1. Збирання вихідних даних до графіка руху:
  - 1.1. Технічна характеристика дільниці.
  - 1.2. Завдання за розмірами пасажирського та вантажного руху по дільниці..
2. Розрахунок нормативів графіка руху поїздів:
  - 2.1. Вагові норми поїздів і тривалість ходу поїздів по перегонах.
  - 2.2. Станційні та міжпоїзні інтервали.
3. Розрахунок наявної та потрібної пропускної спроможності та перевірка можливості реалізації заданих розмірів руху, а в разі необхідності – вжиття заходів щодо підсилення пропускної спроможності ділянки.

4. Прокладка пасажирських поїздів на графіку
5. Прокладка вантажних поїздів на графіку
6. Розрахунок показників ГРП.

Для наочності зазначені вище етапи розробки ГРП викладені в графічному виді у вигляді загального алгоритму, який наведено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний алгоритм розробки графіка руху поїздів

Для реалізації наведеного алгоритму розробки графіка руху поїздів у вигляді програмного забезпечення вирішено використати мову програмування C++, яка дозволяє створювати достатньо функціональні програмні продукти, які зазвичай не вимагають значної потужності ЕОМ, у середовищі програмування Borland C++ Builder 6. При цьому слід зазначити, що такі задачі, як обробка даних до розрахунку графіка

руху поїздів, розрахунок нормативів графіка і перевірка можливості реалізації заданих обсягів руху за наявною пропускнуою спроможністю дільниці, виконується ЕОМ автоматично, а власне прокладання поїздів на графіку – за участю людини.

Якщо розглянути більш детально алгоритм постановки задачі, то матимемо наступні характеристики.

Для формування графіка руху поїзда відомим є тип його локомотива, інформація про вагони, послідовність слідування через станції і мінімальні часи стоянок на станціях. Такий набір інформації для  $p$ -го поїзда в графіку позначимо

$$D_p = (a_p, V_p, S_p), \quad (1)$$

де  $a_p$  – тип локомотива,

$V_p = (V_1, V_2 \dots V_m)$  – склад поїзда (набір вагонів),

$S_p = (S_1, S_2 \dots S_n)$  – послідовність станцій, через які рухається поїзд.

Для вказаного поїзда графік його руху записується у вигляді

$$G_p = (T_{1p}^{eid}, T_{2p}^{np}, T_{2p}^{eid}, \dots, T_{(n-1)p}^{np}, T_{(n-1)p}^{eid}, T_{np}^{np}), \quad (2)$$

де  $T_{np}^{np}$  – час прибуття  $p$ -го поїзда на  $n$ -ну станцію,

$T_{np}^{eid}$  – час відправлення  $p$ -го поїзда з  $n$ -ї станції.

Для двох поїздів, шляхи яких на схемі дільниці перетинаються, виникають міжпоїзні і станційні інтервали. Ці інтервали забезпечують безпеку руху поїздів. Для прокладання поїзда потрібна інформація про інтервали руху, які утворюються з вже прокладеними поїздами.

В процесі побудови графіка руху потрібно забезпечити:

– безпеку руху, що забезпечується розрахунком міжпоїзних і станційних інтервалів руху;

– оптимальність, економність – забезпечуються побудовою критеріїв оптимальності прокладання поїзда, наборів поїздів; максимальним використання пропускнуої і переробної спроможностей станцій, перегонів; прокладанням поїзда без додаткових зупинок і простоїв; використання додаткового часу не на збільшення стоянок, а на економію енергоресурсів;

– максимальний ступінь автоматизації побудови – забезпечується введенням системи пріоритетів прокладання різних типів поїздів та

розпаралеленням процесу побудови графіків руху;

– адаптивність – забезпечується гнучкою взаємодією задач розрахунку елементів графіка руху;

– максимальну стабільність графіка порівняно з минулорічним – забезпечується алгоритмом побудови, який надає критерію близькості двох графіків руху високий пріоритет;

– стійкість графіка – забезпечується врахуванням впливу на розраховані параметри елементів графіка можливих випадкових факторів.

Оптимальний графік руху для всіх поїздів в одному напрямку не завжди збігається з оптимальним прокладанням кожного поїзда зокрема. Досить часто в зв'язку з існуванням обмеження пропускнуої спроможності накладають вимогу на максимізацію залишкової пропускнуої спроможності. Можуть бути висунуті ще додаткові вимоги щодо забезпечення підвищеної стійкості графіка руху поїздів.

В алгоритмі побудови графіка руху поїздів використовуються такі поняття:

– *станція* — елемент схеми залізниці; основні об'єкти: вершини входу–виходу (межі станції), світлова сигналізація, стрілки різних типів, станційні колії, які є спеціалізованими і, в основному, орієнтованими;

– *горловини станції* — вершини входу–виходу станції, наборів вершин входу–виходу може бути декілька ( $\geq 2$ );

– *перегони* — ребра (дуги), які з'єднують входи–виходи різних станцій;

– «*сусідні*» поїзди — поїзди, між якими виникають інтервали.

Перед прокладанням поїзда з номером  $P$ , відомі графіки руху всіх поїздів з номерами від 1 до  $P-1$ . Якщо поїзд з номером  $P$  на час  $T_0$  повністю сформований, то з цього часу починаємо формувати графік його руху, який би задовольняв умови безпеки його руху на перегоні і на станціях, тобто сусідні поїзди повинні бути розділені часовими інтервалами. Система формує графік з вказаного часу і з довільної станції слідування поїзда (станції прив'язки) в напрямку руху і напрямку станції відправлення. Також перевіряється наявність вільних станційних колій. Якщо умови безпеки руху не виконуються, то система збільшує час стоянки на потрібній станції (якщо є така можливість і це забезпечить прокладання поїзда). Якщо прокласти поїзд для заданих умов неможливо, то система змінює час «прив'язки» (залежно від того, прибуває поїзд чи відправляється, час зменшується або збільшується відповідно).

У програмі, що розроблена автором, виконується так зване пониткове прокладення поїздів на графіку руху. В основі його лежить той принцип, який є наближеним до принципів роботи інженера-графіста у звичайному, неавтоматизованому режимі. Графіст може прокласти поїзд або коректувати його нитку, безпосередньо керуючи процесом побудови чи коректування нитки окремого поїзда. У результаті такої роботи поїзд можливо прокласти на графіку у тому взаємному розташуванні з іншими поїздами, яке потрібно інженерові-графісту. При цьому перевірка правильності перегінного часу ходу поїздів, дотримання станційних та міжпоїзних інтервалів виконує програма, а графіст звільняється від цієї роботи для прийняття принципових рішень.

Програмний інтерфейс являє собою форму з елементами керування системою, яка дозволяє вести діалог між користувачем (графістом) та ЕОМ. Вигляд її наведено на рис. 2.

Програма «Розрахунок графіка руху поїздів» містить наступні елементи управління:

1. Головне меню.
2. Панелі для введення імен файлів вихідних даних, корегування додаткового часу на розгін і

уповільнення, введення і корегування станційних та міжпоїзних інтервалів.

3. Панель управління прокладанням поїзда на графіку руху («В роботі»).

4. Інформаційні панелі, на яких відображається інформація про розклад руху поїздів, що вже прокладені, та – у разі наявності конфліктної ситуації – розклад руху поїзда, чий маршрут є ворожим відносно даного.

У процесі розробки графіка руху можуть виникати конфлікти через ворожість маршрутів або через невитримку станційних і міжпоїзних інтервалів (наприклад, у зв'язку з нагоном вантажного поїзда пасажирським). Якщо такий конфлікт виникає, програма виводить повідомлення про конфлікт і виводить текстове повідомлення із роз'ясненням суті конфлікту. Тоді графіст має проаналізувати сутність ситуації та прийняти рішення про її виправлення. Можливі варіанти виправлення ситуації наступні:

а) змінення часу відправлення поїзда з початкової станції;

б) встановлення або збільшення тривалості зупинки поїзда на станції, що передує перегону, на якому виникає конфлікт (порядковий номер цього перегону виведений у полі «Конфлікт по перегону» під вікном з розкладом руху);

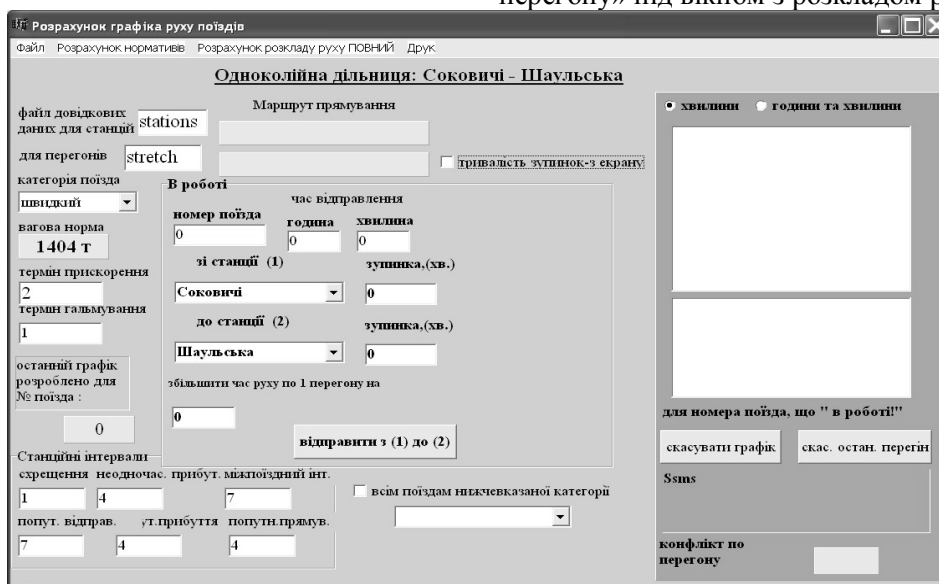


Рис. 2. Вікно програми «Розрахунок графіка руху поїздів».

в) «затягування» (збільшення тривалості руху) поїзда на перегоні, що передує конфліктному; може бути застосоване разом із коректуванням тривалості зупинки.

На рис. 3 наведений приклад вирішення конфліктної ситуації (при прокладанні поїздів для учбового графіка руху на одноколінійній ділянці Соковичі – Шаульська лабораторії «Організація руху поїздів» ДНУЗТ) шляхом збіль-

шення тривалості руху поїзда № 2002 по перегону Шаульська – Тихоново на 2 хв. і встановлення дванадцятихвилинної зупинки по станції Тихоново для схрещення з поїздом № 619.

Після того, як графік (у вигляді розкладу руху) розроблений, результати роботи можливо зберегти у файл для можливості подальшого друкування, а також для виконання графічної побудови.

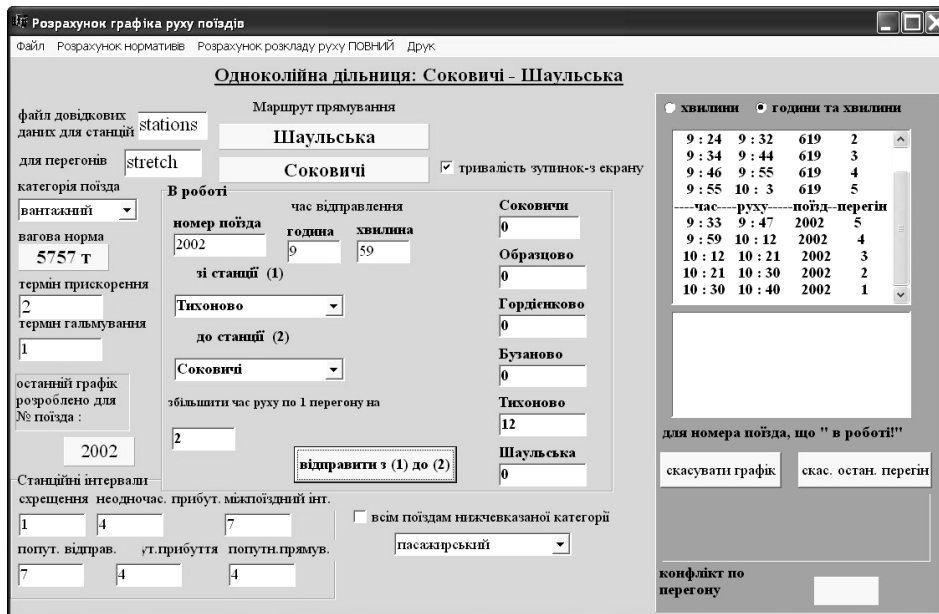


Рис. 3. Вирішення конфліктної ситуації.

Для побудови нормативного графіка руху поїздів автором розроблена (в середовищі *Visual C++ Builder*, з використанням засобів мови програмування *C++*) програма «Побудова графіка руху поїздів», яка будує нормативний графік руху на основі результатів прокладки поїздів, отриманих при роботі з програмою «Розрахунок графіка руху поїздів».

Графік руху будується на сітці, у якій по осі абсцис в масштабі відкладається час із розбивкою на десятихвилинні інтервали, а по осі ординат – осі роздільних пунктів дільниці. Окрім цього, на сітці нормативного графіка руху поїздів розміщуються таблиці-відомості: перегінних часів ходу поїздів різних категорій, відстаней між роздільними пунктами, кількості поїздів різних категорій, технічної та дільничної швидкостей руху. Для програми *Graphic.exe* сітка виконана як окрема бітова матриця.

Вихідними даними для заповнення сітки графіка руху поїздів (побудови ниток графіка та заповнення таблиць, розташованих на сітці) слугують:

1. Розклад руху всіх прокладених на дільниці поїздів, виконаний у вигляді таблиці координат, який зберігається за результатами роботи програми «Розрахунок графіка руху поїздів».

2. Кількість прокладених на дільниці поїздів окремих категорій (вантажних, пасажирських, приміських), яку програма «Розрахунок графіка руху поїздів» зберігає автоматично.

3. Час чистого руху поїздів окремих категорій (вантажних, пасажирських, приміських),

який також зберігається за результатами роботи програми «Розрахунок графіка руху поїздів».

Після цього можливо виконати побудову графіка руху поїздів, а саме, ліній ходу поїздів, які попередньо прокладалися в аналітичному вигляді. Для виконання цієї операції користувачеві потрібно виконати команду меню Графік -> Побудувати. Якщо побудова пройшла успішно, виводиться повідомлення про закінчення побудови (приклад наведено на рис. 4).

У розробленому програмному комплексі, для автоматизованої розробки та побудови графіків руху поїздів у вигляді окремої функції у програмі «Побудова графіка руху поїздів» закладено також розрахунок основних показників графіку.

### Побудова графіків виконаного руху

Для забезпечення якісного управління рухом поїздів на ділянках та полігонах залізниць призначений диспетчерський апарат. Серед його представників основним є поїзний диспетчер, який згідно з [1, 7] одноособово здійснює керівництво рухом поїздів на дільниці.

Одним із основних посадових обов'язків поїзного диспетчера є ведення графіка виконаного руху поїздів, на якому фіксується динаміка руху поїздів у просторі та часі. Для забезпечення уніфікації форм та умовних позначень, що використовуються на графіках виконаного руху, на залізницях України запроваджена та діє інструкція [8].

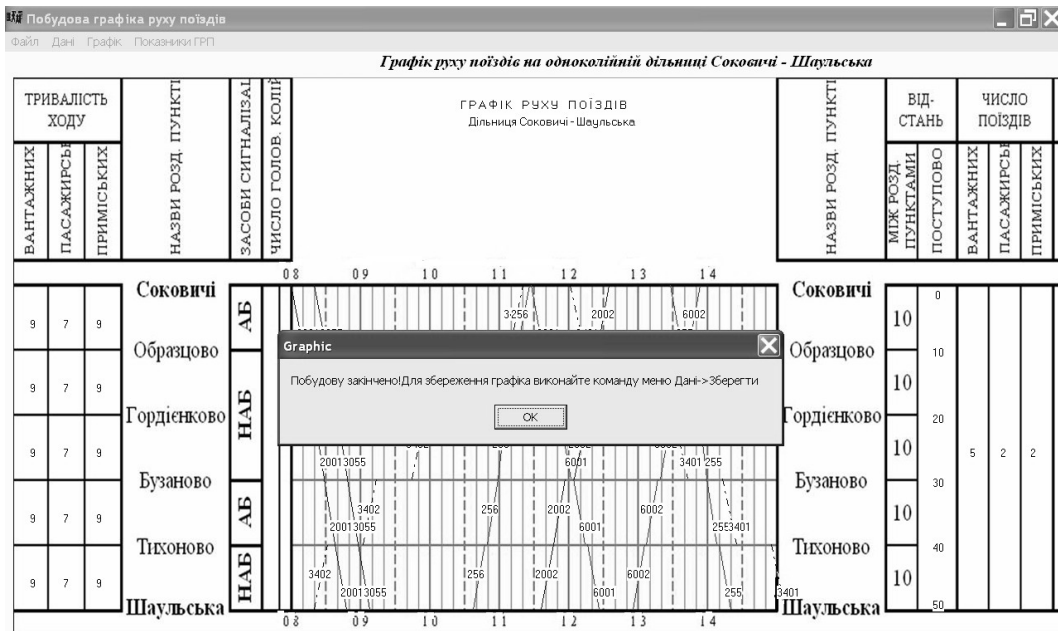


Рис. 4. Фрагмент програми «Побудова графіка руху поїздів» (у разі успішної побудови графіка)

Для вирішення задачі автоматизованої побудови графіків виконаного руху поїздів в умовах навчальної лабораторії «Організація руху поїздів» розроблена і реалізована (на мові програмування C++) програма «Графік виконаного руху», вигляд якої зображено на рис. 5.

У вікні програми є дві інструментальні панелі та область побудови графіка. На панелі завантаження сітки та побудови графіка є налаштовувач дати та кнопки завантаження сітки ГВП та збереження результатів роботи. На па-

нелі управління побудовою ГВП розташовані поля для введення номера поїзду, часу відправлення або прибуття, список станцій та управляючі кнопки, за допомогою яких ДНЦ вносить до програми інформацію про відправлення чи прибуття поїзда.

Побудований під час роботи програми графік виконаного руху може бути збережений у файл, який потім в потрібний момент часу можливо переглянути на комп'ютері або роздрукувати.

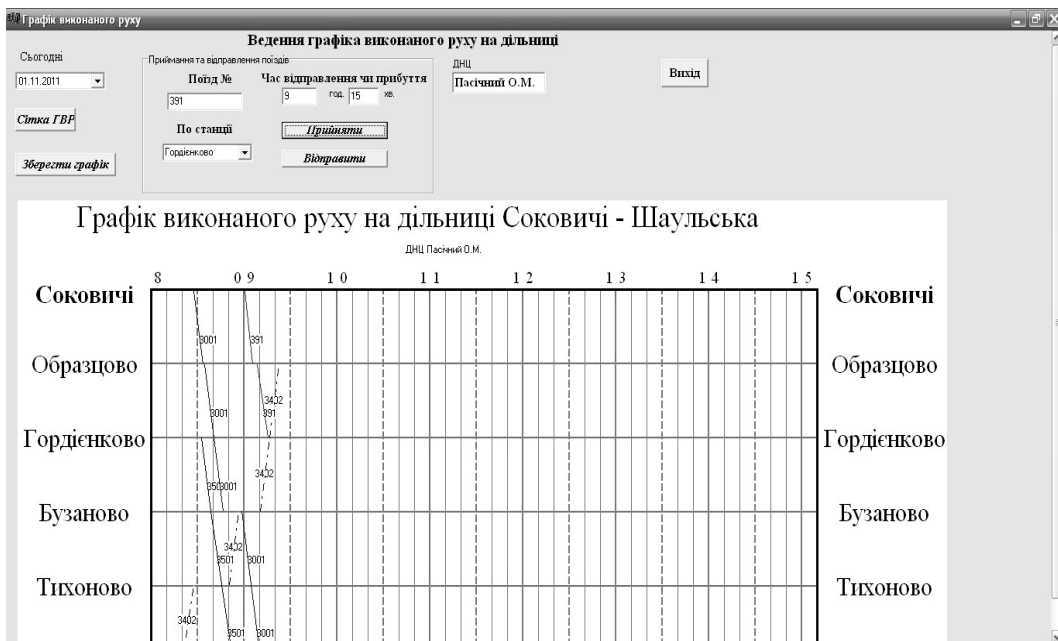


Рис. 5. Фрагмент програми «Графік виконаного руху»

## ВИСНОВКИ

Розроблене програмне забезпечення, насамперед, «Графік виконаного руху» може застосовуватись на практиці під час виконання студентами лабораторних робіт з дисципліни «Управління експлуатаційною роботою та якістю перевезень», під час яких студенти, котрі виконують функції поїзних диспетчерів, будуть виконувати автоматизовану побудову графіків виконаного руху поїздів; а крім цього – за допомогою програм «Розрахунок графіка руху поїздів» і «Побудова графіка руху поїздів» – зможуть опанувати також і роботу інженерів-графістів, розробляючи нормативні графіки руху поїздів.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2003.
2. Тишки, Е. М. Автоматизація розробки графіка руху поїздів [Текст] / Е. М. Тишки // Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1974. – Вып. 517. – 136 с.

3. Самарина, Н. А. Составление двухпутного графика движения поездов на ЭВМ [Текст] / Н. А. Самарина. – М.: Транспорт, 1973. – 123 с.

4. Кузнецов, В. Г. Комплекс прикладных программ для разработки графика движения поездов [Текст] / В. Г. Кузнецов, Н. В. Шакель, А. А. Ерофеев, Е. А. Ерофеева // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 4. – С. 25 – 31.

5. Централизация разработки графика движения поездов на основе компьютерных технологий. [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 5. – С. 48 – 55.

6. Інструкція зі складання графіків руху поїздів на залізницях України [Текст] / Розроб.: О. Ф. Вергун, В. І. Науменко, М. Й. Семенюк та ін. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с.

7. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України [Текст]. – К., 2005.

8. Інструкція з ведення графіка виконаного руху поїздів на залізницях і дирекціях залізничних перевезень [Текст]. – К., 2009.

Надійшла до редколегії 12.09.2012.

Прийнята до друку 14.09.2012.