

УДК 681.324:623.618

П.М. Онипченко¹, М.А. Павленко¹, О.І. Тимочко¹, П.Г. Берднік²¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В статті проведено аналіз існуючих методів вирішення задачі складання розкладу занять. На основі зробленого аналізу обґрунтовано вибір найбільш ефективного методу (алгоритму) вирішення задачі автоматизації складання розкладу занять для вдосконалення процесу підготовки льотного складу авіації ПС ЗС України.

Ключові слова: процес підготовки, розклад занять, імітаційне моделювання, мережеві методи, евристичний підхід, метод імітації відпалу, генетичний алгоритм, графічний метод.

Вступ

Постановка проблеми. Чітка організація процесу підготовки льотного складу авіації ПС ЗС України може бути досягнута лише при якісному плануванні. Одним з найбільш відповідальних, трудомістких і складних завдань планування процесу підготовки є складання різноманітних розкладів занять. Відповідальність завдання складання розкладів визначається безпосереднім впливом результатів його реалізації на якість та ефективність підготовки.

На даний час, трудомісткість та великий період виконання завдання складання розкладу зумовлені участю багатьох представників різних ланок управління, планування і забезпечення навчального процесу при підготовці, обробці і використанні великої кількості нормативної навчальної, методичної документації та матеріального забезпечення цього процесу. Підвищення ефективності виконання вказаних задач вимагає автоматизації процесу складання розкладу занять.

Мета статті. Аналіз існуючих методів вирішення задачі складання розкладу занять та обґрунтований вибір найбільш ефективного методу (алгоритму) вирішення задачі автоматизації складання розкладу занять для процесу підготовки льотного складу авіації ПС ЗС України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз існуючих методів рішення задачі складання розкладу занять показує, що рішення задач теорії розкладів представляє відому трудність. За змістом ці задачі відносяться до класу комбінаторних, для яких суттєве значення має розмірність. Як правило, розмірність задач складання оптимальних розкладів настільки велика, що розв'язати їх простим перебором варіантів не представляється можливим.

Часто задачі складання розкладів зводяться до задач цілочисельного лінійного програмування (в тому числі багатоіндексного), для вирішення яких використовуються методи відсікання або гілок і меж. Традиційними методами дослідження операцій

для задач планування є комбінаторні процедури, імітаційне моделювання, мережеві методи й евристичні підходи [1 – 3].

В [2, 3] наведено огляд таких методів, як метод імітації відпалу, алгоритм розкраски графа, імітаційне моделювання, логічне програмування в обмеженнях, генетичні алгоритми, лінійне цілочисельне програмування. В [4] наведено докладний опис методів розв'язання задач дискретної оптимізації, а саме: евристичних та метаевристичних алгоритмів, методу динамічного програмування, графічного методу та деяких інших.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо основні методи рішення задач складання розкладу.

Цілочисельне математичне програмування. Задача складання розкладу може бути представлена як задача цілочисельного математичного програмування. При даному підході пропозиції від суб'єктів навчального процесу враховуються у вигляді обмежень або визначених критеріїв оптимальності.

Один з варіантів математичної моделі задачі складання тижневого розкладу навчальних занять дистанційного навчання наведено у [3]. Дана модель значно спрощена за рахунок зменшення кількості видів занять і відсутності аудиторного фонду.

Метод гілок та меж. Метод гілок та меж є загальним алгоритмічним методом вирішення оптимізаційних задач. Він широко застосовується для таких NP-повних задач, як задача комівояжера та задача о ранці. Даний метод є варіацією повного перебору при якій відкидаються підмножини допустимих рішень, що не містять оптимальних значень цільової функції.

В методі гілок та меж використовуються дві процедури: розгалуження та знаходження оцінок (меж).

За допомогою процедури розгалуження множина допустимих рішень на кожному етапі розділяється на підмножини меншої розмірності. Ці множини стають вузлами дерева пошуку.

Процедура знаходження оцінок (меж) визначає верхні та нижні межі оптимального значення на підмножинах допустимих рішень. Якщо для знайденого вузла дерева пошуку верхня межа співпадає з нижньою, то це значення є оптимальним і досягається на відповідній підмножині допустимих рішень.

Метод імітації відпалу. Алгоритми імітації відпалу [5] – загальний алгоритмічний метод розв'язання задачі глобальної оптимізації; є одним із прикладів методів Монте-Карло. У процесі пошуку оптимального рішення з деякою ймовірністю допускається перехід у стан із більш високим значенням цільової функції. Ця властивість дозволяє виходити з локальних оптимумів. На початку роботи алгоритму ймовірність переходу в стан із більш високим значенням цільової функції повинна бути досить велика, щоб була можливість переходу від обраного початкового наближення до будь-якого іншого розв'язку. У процесі роботи алгоритму ймовірність переходу поступово зменшується.

Генетичні алгоритми. Генетичні алгоритми (ГА) [5] дозволяють вирішувати широке коло складних задач багатокритеріальної оптимізації шляхом випадкового підбору, комбінування та зміни параметрів моделювання способами, що подібні до біологічної еволюції (наслідування, мутація, відбір). Застосовують ці алгоритми й для рішення задач на графах.

Генетичні алгоритми оперують сукупністю особин (популяцією), які кодують одно з можливих рішень задачі. Цим генетичний алгоритм відрізняється від більшості інших алгоритмів оптимізації, які оперують лише з одним рішенням, покращуючи його.

Існує багато модифікацій генетичних алгоритмів. Але всім їм властива універсальність. Тобто від задачі, яку необхідно розв'язати, залежить визначення функції пристосованості й спосіб кодування рішень. Решта же етапів генетичних алгоритмів виконується однаково для будь-яких задач.

Мурашиний алгоритм. Мурашиний алгоритм [6] (ant colony optimization, ACO) – один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених рішень задачі комівояжера, а також аналогічних завдань пошуку маршрутів на графах. Суть підходу полягає в використанні моделі поведінки мурах, що шукають шляхи від колонії до джерела живлення. Спорідненими з мурашиними алгоритмами є методи колективного (ройового) інтелекту, які описують комплексну колективну поведінку децентралізованої системи, що самоорганізується. Ці методи розглядаються в теорії штучного інтелекту як метод оптимізації.

Задача складання оптимального розкладу може бути вирішена за допомогою *теорії графів*, зокрема модифікацією (шляхом врахування додаткових обмежень при пошуку максимального паросполучення) «класичної» задачі про паросполучення, варіанти розв'язання якої в різних постановках наведено в [4].

З огляду на те, що при складанні розкладів занять необхідно враховувати велику кількість обмежень,

зумовлених об'єктивними та суб'єктивними факторами процесу підготовки льотного складу, подібні задачі мають безліч допустимих рішень, які в тій чи іншій мірі задовольняють деякому критерію ефективності. Отримання оптимального розв'язку є найважливішим аспектом процесу складання розкладів. Велика розмірність задачі та її багатопараметричність обумовлюють нелінійну залежність ефективності отриманого рішення, що не дає можливості вибору способу подальшої оптимізації з метою знаходження глобального оптимуму. При цьому основні труднощі застосування класичних методів оптимізації нелінійних функцій пов'язані з проблемами локального екстремуму.

Загальним недоліком *класичних методів* є те, що вони засновані на ітераційній процедурі пошуку або поліпшення деякого початкового наближення. Це означає, що отриманий результат безпосередньо залежить від деякого початкового наближення і природно виникає проблема вибору його значення.

Застосування *методу цілочисельного математичного програмування*, навіть для задач відносно малої розмірності, вимагає значних витрат часу. При дотриманні основних вимог до розкладу, математична модель повинна включати тисячі обмежень і десятки тисяч змінних. Тому не лише цілочисельна, а й проста задача лінійного програмування подібної розмірності не має перспектив на оптимізацію точними методами. Цей факт цілком пояснює, чому при зіставленні розкладу занять на практиці користуються зазвичай *евристичними методами* [6].

Головний недолік *методу гілок і меж* полягає у відсутності ознаки оптимальності і, як наслідок, в необхідності повністю вирішувати задачі лінійного програмування, асоційовані з кожною вершиною багатогранника допустимих рішень. Оптимальне рішення може бути отримано задовго до зупинки алгоритму, але виявити це в загальному випадку не можна, оскільки оптимальність встановлюється лише після вичерпання списку завдань. Для задач великої розмірності це вимагає значних і, певною мірою, невинуватих з практичної точки зору витрат часу. Крім того, для конкретних типів задач проблематичним може бути отримання оцінок для здійснення процедури розгалуження.

В основі *наближених методів*, як правило, лежить використання різного роду евристик або евристичних алгоритмів. Формування розкладу занять за допомогою деяких правил (евристик) дозволяє прискорити пошук "найкращого" розкладу, але використання таких алгоритмів в більшості випадків гарантує знаходження лише наближеного рішення (досягнення локального екстремуму). Також актуальною є проблема оцінки близькості знайденого рішення до оптимального.

Для багатьох NP-важких задач найкращі рішення були отримані *алгоритмами імітації відпалу* [5]. Однак їх недоліком є висока обчислювальна складність. Це зумовлено тим, що для отримання необхідного рішення потрібно досить повільно зни-

ження ймовірності переходу в стан із більш високим значенням цільової функції, яке призводить до великої кількості ітерацій алгоритму. Алгоритми імітації відпалу можуть застосовуватися для побудови розкладів виконання прикладних програм на всіх стадіях проектування обчислювальних систем реального часу. Однак для практичного застосування методів відпалу актуальною залишається задача зменшення обчислювальної складності алгоритмів.

Генетичні алгоритми можуть бути використані для широкого класу задач, у тому числі великої розмірності, й характеризуються стійкістю до потрапляння у локальні оптимуми поверхні можливих рішень. Ще однією важливою особливістю ГА є те, що вони можуть бути використані в задачах зі змінним середовищем. Проблематично використовувати ГА у випадках:

- коли необхідно знайти точний глобальний оптимум;
- час виконання функції оцінки великий;
- необхідно знайти всі рішення задачі, а не одне з них;
- кодування рішення надто складне.

Мурашині алгоритми гарантують знаходження розв'язку задачі, але час його отримання визначити неможливо. На відміну від ГА, при наступній ітерації використовується пам'ять всієї колонії, а не лише попереднього покоління. Зазвичай потребують застосування додаткових методів, таких як локальний пошук тощо. Для кожного конкретного типу задач потребують визначення параметрів моделювання, які можуть бути отримані лише експериментально [6].

Застосування *методів теорії графів* для розв'язку задачі складання розкладу навчальних занять, має експоненціальну складність і для відносно великої розмірності в умовах наявних, часто суперечливих, обмежень не є доцільним.

Висновки

Розклад занять, який є результатом завершального етапу процесу планування, повинен комплексно поєднувати всі аспекти навчання з урахуванням

кадрового, методичного, інформаційного, матеріально-технічного, фінансового забезпечення тощо.

Задача складання розкладу навчальних занять є NP-важкою, тобто такою, для якої невідомий алгоритм її розв'язку за поліноміальний час в залежності від розмірності. Для розв'язку подібних задач великої розмірності застосовують наближені методи. В умовах невизначеності для задачі складання розкладу занять підготовки льотного складу доцільним є застосування саме генетичного алгоритму, що характеризується стійкістю до потрапляння у локальні оптимуми поверхні можливих рішень і гарантує отримання деякого варіанту рішення за кінцевий час.

З урахуванням специфіки процесу підготовки льотного складу авіації ПС ЗС України необхідно розробити спеціалізовану автоматизовану систему конструювання розкладу занять. При цьому необхідно врахувати переваги й недоліки проаналізованих систем.

Список літератури

1. Семенюта И.С. Исследование эффективности системы составления расписаний методами теории массового обслуживания / И.С. Семенюта // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение, 2011. – № 10. – С. 45-49.
2. Безинов А.Н. Обзор существующих методов составления расписаний / А.Н. Безинов, С.Ю. Трегубов // Информационные технологии и программирование: – М.: МГИУ, 2005. – Вып. 2 (14). – С. 5-18.
3. Томашевський В.М. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання / В.М. Томашевський, Ю.Л. Новіков, П.А. Камінська // Вісник НТУУ «КПІ» Інформ., управл. та обчисл. техніка. – К.: 2010. – № 52. – С. 118-130.
4. Лазарев А.А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров. – М.: МГУ, 2011. – 222 с.
5. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик; под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
6. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. – №4. – С. 70-75.

Надійшла до редколегії 20.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА АВИАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СИЛ ВС УКРАИНЫ

П.Н. Онипченко, М.А. Павленко, А.И. Тимочко, П. . Бердник

В статье сделан анализ существующих методов решения задачи составления расписания занятий. На основе сделанного анализа обоснован выбор наиболее эффективного метода (алгоритма) решение задачи автоматизации составления расписания занятий для усовершенствования процесса подготовки летного состава авиации ВС ВС Украины.

Ключевые слова: процесс подготовки, расписание занятий, имитационное моделирование, сетевые методы, эвристический подход, метод имитации отжига, генетический алгоритм, графический метод.

ANALYSIS OF THE METHODS OF DRAWING UP TIMETABLES FOR IMPROVED TRAINING OF FLIGHT PERSONNEL OF AIR FORCES OF UKRAINE

P.M. Onypchenko, M.A. Pavlenko, A.I. Timochko, P.G. Berdник

The article describes and analyzes made of existing methods for solving scheduling classes. Based on the above analysis chosen it is the most effective method (algorithm) automation solution for scheduling activities for the improvement of aviation aircrew training AirForces of Ukraine.

Keywords: preparation process, schedule, simulation, network techniques, heuristic approach, the method of simulated annealing, genetic algorithm, graphical method.