

3. **Ширяев А.А.** Применение тонкого грохочения для повышения качества железорудного концентрата на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса «АрселорМиттал Кривой Рог» / **А.А. Ширяев, Е.Н. Нескоромный, А.И. Мироненко, С.А. Самохина, С.С. Старых**// Вісник КНУ. – Кривий Рог, 2013.
4. <http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/31306/1/Букин1.pdf>
5. **Пелевин А.Е.** Научные основы процесса тонкого гидравлического вибрационного грохочения и разработка новых систем обогащения магнетитовых руд: дис. доктора техн. наук :25.00.13 / **Пелевин А. Е.**, Екатеринбург, 2011. – 398 с.
6. **Булах О.В.** Тонке грохочення як перспективний метод підвищення ефективності збагачення магнетитових кварцитів / **О.В. Булах, І.В. Хміль, О.О. Булах** // Гірничий вісник. - № 100 – Кривий Ріг: КНУ, 2015. – С. 102 – 105.
7. **Евтехов В.Д.** Минералогическое обоснование возможности повышения качества магнетитового концентрата действующих горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна. 1. Дообогащение концентрата методом тонкого грохочения / **В.Д. Евтехов, В.В. Филенко, Е.В. Евтехов, Л.Н. Ковальчук, Л.Т. Дударь** // Геолого-минералогічний вісник. - № 2(16) - Кривий Ріг: КНУ, 2016. – С. 41 – 51.
8. **Вепнер м.л.** Опыт применения вибрационных грохотов корпорации «DERRIK» при обогащении железных руд / **Вепнер м.л., Н. Трапе, В.Ю. Лелис**// – Горный журнал, 2002г., №3. с.- 60-64.
9. <http://www.mining-media.ru/ru/article/gorobor/1655-osvoenie-vysokochastotnogo-grokhota-korporatsii-derrick-na-oao-ssgpo>.
10. <http://library.stroit.ru/articles/tgrohot>.

Рукопис подано до редакції 24.02.17

УДК 519.6:378

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., П.В. БУРНАСОВ, ст. викладач,  
Т.П. БУРНАСОВА, студентка, Криворізький національний університет

## ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ НЕЖОРСТКИХ ВИМОГ ДО РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ В УНІВЕРСИТЕТІ З БОКУ ВИКЛАДАЧІВ

**Мета.** Метою цієї роботи є формування принципів автоматичного формування нежорстких вимог до розкладу з боку викладачів у випадку їх відсутності, на основі аналізу розкладів попередніх періодів. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання проведено аналіз теоретичних й експериментальних робіт та використані метод найближчого сусіда для визначення прецедентів з інтегрованої бази розкладів та загальна теорія розкладів для розробки математичних моделей формування розкладу занять.

**Наукова новизна.** Розроблено принципи автоматичного формування нежорстких вимог до розкладу з боку викладачів на основі аналізу розкладів занять попередніх періодів з використанням модифікованого методу найближчого сусіда для визначення прецедентів з інтегрованої бази розкладів, що дозволить зменшити кількість операцій введення нежорстких обмежень.

**Практична значимість.** У випадку відсутності сформульованих побажань викладачів до розкладу занять виконується аналіз розкладів за попередні роки з якого визначаються критерії якості розкладу з точки зору викладача, виходячи з припущення, що якщо розклади попередніх періодів задовольняли викладача, то і новий розклад складений за тими самими критеріями також буде задовільним. Таким чином, у підсумку база даних нежорстких вимог з боку викладачів може бути вичерпною, що дозволить задіяти автоматичний режим формування розкладу занять.

**Результати.** До складу узагальненого критерію врахування інтересів викладачів входять наступні частинні критерії: число "вікон" у розкладі викладачів, виконання обмеження на максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, виконання обмеження на мінімальне число занять у довільний день тижня для викладачів, особисті побажання викладачів. Узагальнений критерій оптимальності розкладу викладачів враховує ступінь оптимальності індивідуального розкладу кожного викладача. Для кількісного порівняння та ранжування часткових критеріїв оптимальності вводиться числовий еквівалент ступеня важливості кожного часткового критерію оптимальності. Пошук рішення на основі прецедентів в базі даних попередніх розкладів полягає у визначенні ступеня подібності поточної ситуації з прецедентами, які мали місце раніше, а потім у виконанні спроби розв'язати сформовану проблемну ситуацію, використовуючи прецедент, що має найбільшу ступінь схожості з поточною ситуацією. Безумовного введення будуть потребувати тільки ті обмеження, що стосуються нових дисциплін, або потребують змінення на нові значення. Обмеження введені для поточного розкладу мають пріоритет перед сформованими автоматично.

**Ключові слова:** розклад занять, метод найближчого сусіда, база прецедентів, автоматичний розклад, якість розкладу, алгоритм розкладу.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Серед характеристик, що можна вимірювати і контролювати, які визначають якість керування освітнім процесом, істотно положення займають показники якості управління ресурсами. Стосовно завантаження аудиторного фонду критерії якості мають об'єктивний характер і досить просто визначаються у

кількісній мірі. З якістю використання професорсько-викладацького складу ситуація дещо складніша: кожен викладач має своє особисте уявлення до якості складеного для нього розкладу та якості розкладу студентів стосовно його дисципліни. Як відомо [1, 2], розклад занять має досить суттєвий вплив на якість підготовки фахівців взагалі. Суб'єктивна оцінка якості розкладу занять з боку викладачів залежить від ступеню виконання їх побажань до розкладу. Автоматичне складання розкладу занять потребує наявності вимог викладачів до розкладу до початку його формування, інакше не може бути мови про їх виконання та задоволеність розкладом його суб'єктами. Формулювання вимог викладачів до розкладу занять у випадку їх відсутності можливе в результаті аналізу розкладів попередніх періодів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Численні дослідження у галузі теорії розкладів доводять, що проблема створення оптимального розкладу за один цикл є дуже складною, оскільки не існує єдиного критерію оптимальності для розкладу занять [3, 4, 5]. Різні види інтегральних критеріїв оптимальності є компромісними і в більшості випадків вони вступають у протиріччя з локальними критеріями [6]. Задача складання оптимального розкладу розкладається на дві підзадачі: складання повного розкладу і вирішення всіх протиріч та оптимізація складеного розкладу [7]. Задача складання оптимального навчального розкладу в загальному випадку характеризується великою розмірністю, тобто великим числом елементів у векторі невідомих, великою кількістю обмежень і критеріїв оптимальності. У роботах [3, 4, 8] обґрунтована необхідність декомпозиції цієї складної задачі на підзадачі. Існуючі способи складання навчального розкладу розрізняються кількістю, видом обмежень, що враховуються, і критеріїв оптимальності. До того ж часто ці завдання є NP – важкими [9], тому для їхнього вирішення застосовуються різноманітні підходи й методи.

**Постановка завдання.** Дійсно оптимальний розклад занять можливий лише коли критерій оптимальності один. У цьому випадку розклад буде оптимальним, якщо критерій оптимальності набуває екстремального значення. Чи може розклад занять мати один критерій оптимальності? Ні, не може, оскільки суб'єктами розкладу занять є студенти, викладачі та аудиторії, які мають різні, і подекуди взаємовиключні, критерії оптимальності, задоволення яких одночасно неможливе. Побудова інтегральних критеріїв, що враховують декілька різних часткових критеріїв дозволить створити досить непогані розклади занять, але вони не будуть оптимальними, оскільки сам критерій є компромісним.

Задача складання розкладу занять університету має велику розмірність [6] і при деяких умовах взагалі може не мати рішення. Наприклад при дефіциті ресурсів (деяких лабораторій, викладачів) неможливо спланувати заняття в зазначені часові рамки. У випадку відсутності дефіциту ресурсів, що характерно для потужних університетів, задача складання розкладу занять має рішення і головним стає питання оптимальності розкладу.

Проблема оптимального розкладу занять має дві складові: оптимальність розкладу з точки зору використання ресурсів вишу (назвемо це явище «оптимальність у великому») і оптимальність з точки зору суб'єктів розкладу, в першу чергу студентів і викладачів (назвемо це явище «оптимальність у малому»). Задачу оптимальності у великому можна сформулювати як задачу пошуку чи задачу оптимізації [10, 11, 12] і в цьому випадку інтегральний критерій оптимальності доречний. Задача оптимальності у малому це намагання задовольнити численним вимогам і побажанням викладачів та студентів до розкладу [13].

Враховуючи, що основною задачею складання розкладу занять у виші є забезпечення виконання навчального плану підготовки фахівців у повному обсязі з безумовним виконанням жорстких вимог до розкладу і виконанням за можливістю нежорстких вимог, в роботі була поставлена задача розробки структури та алгоритму функціонування модуля формування нежорстких вимог до розкладу з боку викладачів на основі аналізу розкладів попередніх періодів.

**Викладення матеріалу та результати.** Нежорсткі обмеження до розкладу умовно можна поділити на три групи: побажання до розкладу кафедри, викладачів та студентів. Побажання зі сторони кафедри це, як правило, рекомендовані аудиторії для проведення конкретних занять, побажання зі сторони студентів це, наприклад, виконання санітарних вимог, виконання вимог до послідовності викладання різних дисциплін, до кількості занять у різні дні тижня. Як було зазначено вище, якість розкладу з точки зору викладача визначається ступенем урахування його побажань. Побажання викладачів має сенс стандартизувати до декількох найбільш вживаних варіантів: бажане заняття, небажане заняття, вільний день, обов'язковий день, кількість пар у

день. Побажання викладачів доповнюються побажаннями кафедри. Наприклад, викладач для своєї дисципліни вказує побажання про час проведення заняття, а кафедра рекомендує аудиторію для цього заняття. На жаль, такі побажання формулюють далеко не всі викладачі та не всі кафедри, що значною мірою знижує якість розкладу складеного в автоматичному режимі.

У розкладах занять попередніх періодів вже є інформація якої недостає в поточних даних. Таким чином, пошук рішення на основі прецедентів в базі даних (БД) попередніх розкладів полягає у визначенні ступеня подібності поточної ситуації з прецедентами, які мали місце раніше, а потім у виконанні спроби розв'язати сформовану проблемну ситуацію, використовуючи прецедент, що має найбільшу ступінь схожості з поточною ситуацією. Якщо дисципліна, для якої потрібно призначити аудиторії, вже викладалась у минулому і викладач співпадає з поточним, то можна вважати аудиторії, що використовувались в попередні роки рекомендованими в порядку спадання кількості використання. У випадку, коли викладач інший, то знайдений список аудиторій буде мати меншу ступінь достовірності. Для врегулювання випадків, коли дисципліна раніше не викладалась, або змінена її назва, для кожної дисципліни встановлюється ідентифікатори групи аудиторій. Кожна аудиторія може входити до декількох груп. Наприклад, комп'ютерний клас входить до груп аудиторій для практичних і лабораторних занять, комп'ютерних класів, комп'ютерних класів з встановленим пакетом програм Visual Studio, комп'ютерних класів з встановленим пакетом програм Microsoft SQL Server.

З урахуванням перерахованих особливостей був запропонований модифікований метод найближчого сусіда для визначення прецедентів з бази прецедентів (БП) [14]. Дана модифікація полягає в тому, що вводиться спеціальна величина  $H$  – граничне значення ступеня подібності (близькості) прецедентів з БП та поточної проблемної ситуації, яка задається експертом або ОНР. В результаті порівняння вибирається не один єдиний найближчий сусід (прецедент), а деяка множина найближчих сусідів, ступінь подібності яких більше або дорівнює граничному значенню  $S(C, T) \geq H$ . Це дозволяє вирішити проблему для випадку, коли є кілька прецедентів, рівновіддалених від поточної ситуації в заданій метриці. Далі ОНР може бути видано множину знайдених прецедентів із зазначенням ступеня їх подібності з поточною ситуацією для подальшого вибору найкращого рішення.

Існують декілька методів пошуку та вилучення прецедентів і їх модифікацій. Найбільш розповсюджені методи це метод найближчого сусіда ( $NV$  – Nearest Neighbor), метод вилучення прецедентів на основі дерев рішень, метод вилучення прецедентів на основі знань, метод вилучення прецедентів з урахуванням їх придатності до застосування. Як зазначено [15, 16], метод найближчого сусіда – найбільш популярний і він часто застосовується для пошуку прецедентів, для вирішення задач класифікації, регресії, розпізнавання образів і т. д. В основі методу лежить певний спосіб вимірювання ступеня схожості (близькості) прецеденту і поточної проблемної ситуації. Говорячи формально, необхідно ввести метрику на просторі параметрів (ознак, властивостей) для опису прецедентів і поточної ситуації, а потім, визначаючи на основі обраної метрики відстань між точками, відповідних прецедентів, і точкою, що відповідає поточній ситуації, вибрати точку (прецедент), найближчу до поточної ситуації.

Безумовно, ефективність методу найближчого сусіда багато в чому залежить від вибору метрики. Нехай задано прецедент ( $C$ ) і поточна проблемна ситуація ( $T$ ) в  $n$ -мірному просторі ознак (параметрів, властивостей), тоді ступінь подібності або близькості  $S(C, T)$  прецеденту  $C$  і ситуації  $T$  можна визначити, використовуючи одну з таких основних метрик, що визначають відстань між двома точками [15]

$$\text{евклідова метрика (евклідова відстань): } d_{CT} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^C - x_i^T)^2} . \quad (1)$$

Евклідову метрику слід використовувати якщо ознаки  $x_i$  однорідні за фізичним вмістом і мають однакову ступінь важливості для ідентифікації об'єкту. Якщо ознаки мають різну важливість, то використовується

$$\text{зважена евклідова метрика } d_{CT} = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_k (x_i^C - x_i^T)^2} , \quad (2)$$

де  $w_k$  – вага  $k$  – і ознаки;

$$\text{манхеттенська метрика } d_{CT} = \sum_{i=1}^n |x_i^C - x_i^T|; \quad (3)$$

$$\text{квадрат евклідової відстані } d_{CT} = \sum_{i=1}^n (x_i^C - x_i^T)^2; \quad (4)$$

$$\text{відстань Чебишева } d_{CT} = \max_i |x_i^C - x_i^T|; \quad (5)$$

$$\text{міра близькості Журавльова } d_{CT} = \sum_{i=1}^n I_i^{CT}, \text{ де } I_i^{CT} = \begin{cases} 1, & |x_i^C - x_i^T| < \varepsilon \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}; \quad (6)$$

$$\text{міра подібності за Хеммінгу } S(C, T) = \frac{n_{CT}}{n}, \quad (7)$$

де  $n_{CT}$  – число співпадаючих ознак (параметрів) у прецеденту  $C$  і ситуації  $T$ .

У модифікованому методі передбачені також наступні можливості.

*Врахування коефіцієнтів важливості параметрів об'єкта* у відповідності з експертними знаннями. Коефіцієнт важливості (вага)  $i$ -го параметра позначимо  $w_i$ , а його значення хай буде змінюватися в інтервалі від 0 до 1. За замовчуванням вага параметра вважається рівним 1, але експерт (ОПР) має можливість вказати необхідні на його погляд значення для коефіцієнтів важливості параметрів. Для врахування коефіцієнтів важливості параметрів при добуванні прецедентів з БП необхідно скоригувати значення параметрів  $x_i$ , з формули (1) помноживши їх на відповідні коефіцієнти  $w_i$  і використовувати величини межі діапазонів параметрів для опису прецедентів  $x_i^{\text{поч}} \cdot w_i$ ,  $x_i^{\text{кінц}} \cdot w_i$  при обчисленні максимальної відстані  $d_{max}$ .

*Робота з неповною інформацією у вихідних даних.* У разі відсутності значень параметрів в описі прецеденту передбачається, що за даними параметрами прецедент і поточна ситуація збігаються, тобто  $x_i^C = x_i^T$ , а параметри з відсутніми значеннями не є важливими для даного прецеденту.

Для пошуку нежорстких обмежень до розкладу з використанням модифікованого методу визначення найближчого сусіда були розроблені відповідні алгоритми визначення прецедентів, що використовують різні метрики для визначення ступеня подібності (близькості) прецедентів з БП системи та поточної проблемною ситуацією.

Розглянемо алгоритм визначення прецедентів з використанням евклідової метрики. Вхідні дані: поточна ситуація  $T$  (тобто повинні бути задані числові значення параметрів, що описують ситуацію),  $CL$  – непорожня множина прецедентів, що зберігається в БП,  $w_1 \dots w_n$  – ваги (коефіцієнти важливості) параметрів,  $m$  – кількість розглянутих прецедентів з БП і граничне значення ступеня подібності  $H$ .

Вихідні дані: Множина прецедентів  $SC$  (Set of Cases), які мають ступінь подібності (близькості) більшу або дорівнює порогового значення  $H$  для всіх занять для яких не задані у поточному розкладі побажання кафедри, викладачів та студентів та дисципліни викладалися в попередні роки.

Проміжні дані: допоміжні змінні  $i, j$  (параметри циклу).

Крок 1.  $SC = \emptyset, j = 1$ ; перехід до кроку 2.

Крок 2. Якщо  $j \leq m$ , то вибрати прецедент  $C_j$  з БП ( $C_j \in CL$ ) і перехід до кроку 3, інакше вважати, що всі прецеденти з БП розглянуті і перехід до кроку 6.

Крок 3. Обчислити відстань  $d_{C,T}$  в евклідовій метриці між вибраним прецедентом  $C_j$  і поточною ситуацією  $T$  з урахуванням коефіцієнтів важливості параметрів

$$d_{C,T} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i (x_i^{C_j} - x_i^T))^2}. \quad (8)$$

Якщо значення параметра  $x_i^{C_j}$  в описі прецеденту  $C_j$  відсутнє, то обчислити відстані  $d_{C,T}$ , враховуючи, що  $x_i^{C_j} = x_i^T$ , а якщо відсутнє значення параметра  $x_i^T$  в описі поточної ситуації  $T$ , то вирахувати відстань  $d_{C,T}$ , вважаючи

$$x_i^T = x_i^{\min} + \frac{x_i^{\max} - x_i^{\min}}{2}. \quad (9)$$

Перехід до кроку 4.

Крок 4. Обчислити ступінь подібності  $S(C_j, T) = 1 - d_{C_j T} / d_{max}$ , враховуючи при обчисленні  $d_{max}$  ваги параметрів.

Перехід до кроку 5.

Крок 5. Якщо  $S(C_j, T) \geq H$ , то витягти прецедент  $C_j$  з БП і додати в результуючу множину  $SC$ ; присвоїти  $j = j + 1$  і перехід до кроку 2.

Крок 6. Якщо  $SC \neq \emptyset$ , то прецеденти для поточної ситуації успішно знайдені, зберегти їх у таблиці побажань викладачів з позначкою автоматичного призначення і перехід до кроку 7. Інакше, якщо  $SC = \emptyset$  і прецеденти для поточної проблемної ситуації не знайдені, видати повідомлення про необхідність зменшення порогового значення  $H$  і перехід до кроку 7.

Крок 7. Якщо множина прецедентів для всіх дисциплін не вичерпана, перехід до кроку 2, інакше - кінець алгоритму.

Зазначимо, що знайдені прецеденти можуть бути впорядковані за спаданням їх значень ступенів схожості з поточною ситуацією і диспетчер може з урахуванням власного досвіду вибрати найбільш відповідні прецеденти і на їх основі отримати рішення (діагноз і рекомендації) для поточної проблемної ситуації. Зауважимо також, що для обчислення відстані (8) можуть бути використані і інші з розглянутих показників (формули (2)-(7)), вибір яких робиться з урахуванням специфіки проблемної області.

Що стосується алгоритму, що базується на міру подібності за Хеммінгом, то його відмінність від розглянутого вище алгоритму полягає в тому, що на кроці 3 визначається не відстань між прецедентом та поточною ситуацією, а кількість параметрів  $n_{C_j T}$ , значення яких у прецеденту і поточної ситуації збігаються. Цей алгоритм може працювати із символічними значеннями параметрів в описі прецедентів і проблемної ситуації. Перед виконанням обчислень значення  $n_{C_j T}$  повинно бути обнулено ( $n_{C_j T} = 0$ ). Крім того, для врахування коефіцієнтів важливості при збігу значень параметрів значення  $n_{C_j T}$  не збільшується на одиницю, а на  $w_i$ .

У разі відсутності значення параметра  $x_i^{C_j}$  в описі прецеденту  $C_j$  передбачається, що  $x_i^{C_j} = x_i^T$  і  $n_{C_j T}$  збільшується на  $w_i$ , а у разі відсутності значення параметра  $x_i^T$  в описі поточної ситуації  $T$ , передбачається, що  $x_i^T \neq x_i^{C_j}$  і значення  $n_{C_j T}$  не змінюється. Далі на кроці 4 обчислюється міра подібності за Хеммінгом, а решта кроків алгоритму залишаються без змін.

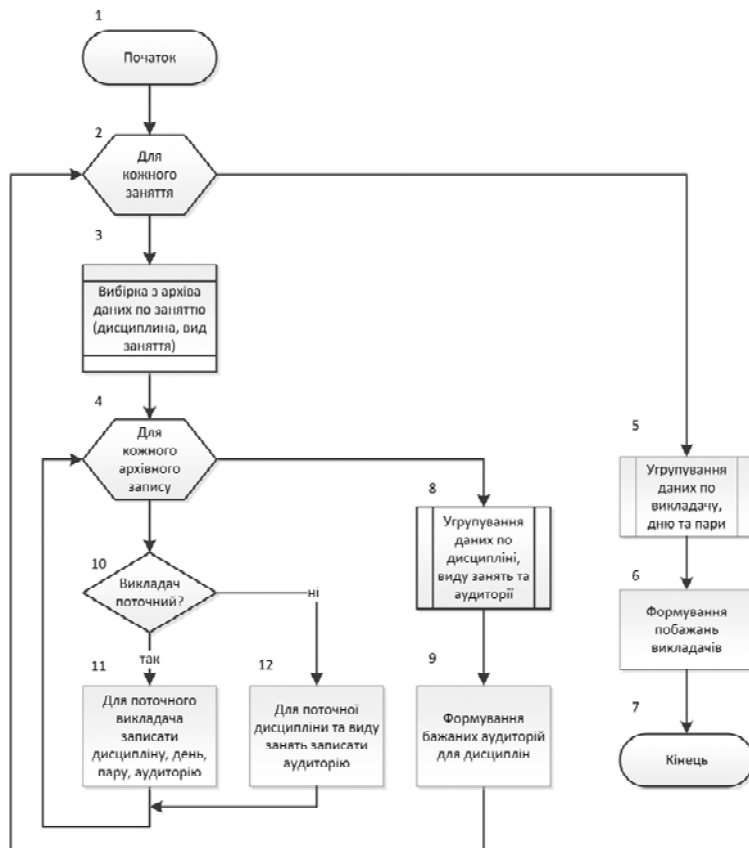
$$S(C_o, T) = \frac{n_{C_j T}}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (10)$$

Необхідно відзначити, що в алгоритмах визначення прецедентів для врахування коефіцієнтів важливості параметрів може виконуватися попередній етап (крок 0) для коригування значень меж діапазонів параметрів і самих параметрів, що виключає необхідність в подальшому врахування коефіцієнтів важливості при пошуку прецедентів.

Наведена методика дозволить зменшити кількість операцій введення нежорстких обмежень. Обмеження реалізовані у розкладах попередніх періодів будуть занесені до бази даних автоматично. Безумовного введення будуть потребувати тільки ті обмеження, що стосуються нових дисциплін, або потребують змінення на нові значення. Обмеження введені для поточного розкладу мають пріоритет перед сформованими автоматично.

По закінченню навчального року виконується процедура архівування розкладу (див. рис. 1).

Розклад приводиться до неявного вигляду, тобто посилання на конкретну академічну групу замінюється на спеціальність і семестр. Наприклад, група СУА-13-1 буде замінена на спеціальність СУА та семестр 3 (для осіннього семестру 2014-2015 навчального року) та семестр 4 (для весняного семестру).



**Рис. 1.** Алгоритм формування побажань викладачів та рекомендованих аудиторій

Перед початком складання розкладу на поточний навчальний рік для кожного заняття виконується вибірка даних на всю глибину архіву у розрізі викладач – аудиторія – день тижня – пара (блоки 2-4, рис. 1). У випадку, коли викладач з архівного запису співпадає з викладачем поточного заняття для нього визначаються аудиторії що рекомендуються для розкладу та день проведення занять і пару, інакше визначаються лише аудиторії (блоки 10-12, рис. 1).

По закінченню перевірки архівних записів для поточного заняття дані по заняттю угрупуються і сортуються по зменшенню частоти використання відповідної аудиторії чи часу проведення занять (блок 8, рис. 1). На основі цієї вибірки формується список бажаних аудиторій для проведення поточного заняття (блок 9, рис. 1).

Після закінчення сканування всіх занять для поточного розкладу виконується угруповання сформованих списків у розрізі викладач – день тижня – пара занять і формуються побажання викладачів щодо днів та пар занять, вільних днів (блок 5 – 6, рис. 1).

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Практичне використання розробленої системи показало, що якість складеного розкладу в значній мірі залежить від кількості і якості побажань викладачів та обмежень введених в систему. Маючи базу даних розкладів за попередні роки можливо, до деякої міри, автоматично сформувати та доповнити побажання викладачів, що безумовно підвищить якість розкладу занять.

### Список літератури

1. Луценко Е.В. Рефлексивная автоматизированная система управления качеством подготовки специалистов / Луценко Е.В., Коржаков В.Е. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2007. №4. С.28-36.
2. Савельев А.Я. Автоматизация управления вузом. / А.Я. Савельев, Ю.Б. Зубарев В.Е. Коваленко, Т.А. Колоскова — М.: Радио и связь, 1984.
3. Галузин К.С. Математическая модель оптимального учебного расписания с учетом нечетких предпочтений. // Автореф. дисс. канд. физ. мат. наук: спец. 05.13.18 "" / К.С. Галузин. - Пермь: Перм, гос.техн. ун-т - 2004.
4. Бурнасов П.В. Критерії якості автоматичного складання розкладу занять у ВНЗ [Текст] / П.В. Бурнасов // Вісник Криворізького технічного університету. : зб. наук. праць. - Кривий Ріг. – 2008. - Вип. 22. – С. 136-140.
5. Молибог А.Г. Методика составления расписания занятий на ЦВМ / Молибог А.Г., Медведский М.В., Неверов Г.С. -МВИРТУ, Минск. - 1972.
6. Ерунов В.П. Формирование оптимального расписания учебных занятий в вузе / Ерунов В.П., Морковин И.И. // Вестник Оренбургского государственного университета : сб. науч. трудов. – Оренбург. – 2001. № 3. С. 55-63.
7. Morkun V.S. The management of the resources educational institution / V.S. Morkun, P.V. Burnasov // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №4. – P. 56-61. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/12.2014.pdf>
8. Клеванский Н.Н. Разработка математической модели глобальной оптимизации расписания занятий / Клеванский Н.Н., Костин С.А., Пузанов А.А.// Сложные системы. Анализ, моделирование, управление - Саратов: ООО Издательство "Научная книга", 2005. - С.39-42.
9. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. - Санкт- Петербург: "БХВ-Петербург", 2003. - 1086с.

10. **Клеванский Н.Н.** Моделирование стратегии формирования расписания занятий ВУЗ'а средствами реляционной алгебры / **Н.Н. Клеванский, Е. А. Макарцова, С.А. Костин** // Прикладные проблемы образовательной деятельности: Межвуз. сб. научн. тр. – Воронеж: Центр. – Черноземн. книжн. изд-во, 2003. – Вып. 10. – С.71 – 74.
11. **Burke E.** Interactive Timetabling: Concepts, Techniques, and Practical Results in E. Burke, P. / T. Muller, R. Bartak // the 4th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATA2002), Gent, 2002, pp. 58-72.
12. **Калашников А. В.** Алгоритмы локальной оптимизации расписаний / **А. В. Калашников, В. А. Костенко** // Методы и средства обработки информации: Первая всероссийская научная конференция, Москва, 1 – 3 октября 2003 г. – М. МАКС Пресс, 2003.– С. 3 – 10.
13. **Моркун В.С.** Розробка системи управління ресурсами вишу при складанні розкладу занять / **В.С. Моркун, П.В. Бурнас** // Гірничий вісник : науково-технічний збірник. - Вип. 99.-Кривий Ріг: ДВНЗ "КНУ", 2015.-с.159-164.
14. **Моркун В.С.** Методи визначення якості розкладу занять ВНЗ/ **В.С. Моркун, П.В. Бурнас** // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №1 (225), 2016. с.129-138.
15. **Варшавский П.Р.** Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений / **П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев** // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 3. – С. 39 - 62.
16. **Карпов Л.Е.** Методы добычи данных при построении локальной метрики в системах вывода по прецедентам / **Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин** // ИСП РАН, препринт. – 2006. – №18.

Рукопис подано до редакції 28.03.17

УДК 681.03

И.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССА ИХ РАЗРАБОТКИ

**Цель.** Целью работы является построение моделей программных продуктов и процесса разработки программ. Рассматривается проблема моделирования программных систем. Предложены значимые характеристики программных систем, которые необходимо отобразить в модели. Выделены зависимости критериев и этапов разработки. Анализируется такая единица измерения временных показателей программирования, как человек-месяц. Ясно, что стандартные методы математического программирования, дифференциального исчисления и теории множеств ограничены в использовании при построении моделей программных систем. Необходим подход на основании комбинированного метода.

**Методы.** Для решения поставленных задач используются методы аналитического и статистического имитационного моделирования процесса разработки программных систем. Применены элементы агрегирования и комбинирования.

**Научная новизна.** Предложены варианты элементов моделей программных систем. Рассмотрены модели этапов разработки программного обеспечения.

**Практическая значимость.** Предложенные модели можно использовать для общей оценки качества программных систем, расчетов прогноза трудозатрат разработок, сложности программ, стоимости и времени программирования и др.

**Результаты.** Построены варианты элементов моделей программных систем. Отмечены показатели, оказывающие влияние на производительность программистов. Систематизированы количественные оценки процесса программирования. Выделены взаимосвязи показателей.

**Ключевые слова:** моделирование, программные системы, оценивание, производительность, программные ошибки, время разработки, человек-месяц.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Структуры современных технических систем отличаются большим разнообразием и сложностью. В связи с этим перед разработчиками систем возникает ряд серьезных проблем, связанных с проведением качественного и количественного анализа эффективности функционирования систем.

Анализ технологического опыта лидеров производства программных продуктов показывает, насколько дорого обходится несовершенство прогноза трудозатрат, сложности программ, негибкость контроля и управления, приводящие к последующей трудоемкой его переделке. Эти обстоятельства, требуют тщательного отбора методик, моделей, методов оценки качества программных систем.

**Постановка задачи.** Повышение требований к функционированию влечет за собой совершенствование средств и методов изучения и разработки программных систем. Фредерик Брукс отмечает: “Слабо развиты наши методы оценок”. В методах оценок достигнутый результат подменяется затраченными усилиями. Кроме этого, типовые методы и средства, используемые