



СТРАТЕГИИ ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ОПТИМАЛНО РАЗПИСАНИЕ НА УЧЕБНИ ЗАНЯТИЯ STRATEGIES FOR DESIGN OF AN OPTIMAL UNIVERSITY TIMETABLING SYSTEM

Стоян Колев Стоянов

Химико-технологичен и металургичен университет – София

Фатме Юсеинова Рашидова
Технически университет - Габрово

Звездица Петрова Ненова*
Технически университет – Габрово

Статията е постъпила на 15 февруари 2017 г.; приета за отпечатване на 22 февруари 2017 г.

Abstract

An integrated approach for building a system for management of university learning process is presented in this paper and new strategies for establishment of a schedule of classes are developed. The system provides 12 banks of data, strategies, methods and algorithms that include everything needed for optimal compiling of the learning process schedules. Only the bank for assessment of the economic indicators is not included. Ten strategies for establishing the optimal schedule of classes and 23 objective functions are presented.

Keywords: strategies, schedule of classes, multi-agent systems, mathematical programming, schedule models, Pareto-optimal solutions

ВЪВЕДЕНИЕ

Задачата за създаване на оптимални разписания на учебни занятия (РУЗ) в университетското образование е една от най-трудните и сложни за решаване оптимизационни задачи, тъй като тя е многопараметрична, комбинаторна, динамична задача на смесено целочислено и непрекъснато математично програмиране и с много голям брой ограничения от тип равенство и неравенство. Броят на изискванията за качеството на разписанието е много голям и много често изискванията са противоречиви. Това налага оптимизационната задача да се разглежда като многоцелева, което затруднява оптимално вземане на решение за избор на компромисно РУЗ.

Задачата, формулирана в „Теорията на разписанията”, е много стара, но научният и практическят интерес към нея в последните години нараства, тъй като нараства необходимостта от търсене на оптимални разписания в много области, разширяват се възможностите на компютърния хардуер и софтуер и се променя трактовката на формулираните задачи [1-10].

При търсене на оптимални разписания се включват и нови аспекти, освен търсене на оптимални разписания във време и в пространство, се налага и отчитане на изискванията на много агенти (студенти, преподаватели, администрация и др.), отчитане на множество размити параметри и лингвистично описани цели, отчитане на приоритети, отчитане на удовлетвореността от разписанието и от множеството целеви показатели.

Литературните проучвания оказват, че преди края на 20 век са използвани компютри само за 37% от изготвяните учебни разписания. От началото на новото хилядолетие рязко се увеличава броят на публикациите за използване на компютърните технологии в тази об-

ласт [2, 4, 5].

Алгоритмизацията на процеса за съставяне на разписание на учебните занятия и компютърните реализации на този процес намира все по-голямо приложение в интегрираните информационни системи за управление на качеството на учебния процес във висшите училища. Комплексният характер на задачата изисква, освен търсене на оптимални алгоритми и методология за бързи решения, също така и търсене на стратегии и методи за ефективно включване на РУЗ в изключително сложната многоагентна система на образователния процес за постигане на най-доброто ниво на получените знания и практически умения. В този стремеж е необходимо да се интегрира механичното съставяне на разписанието с множеството съвременни изисквания в образованието, които включват относително новите понятия: удовлетвореност, рационалност, приоритетност, адаптивност, разумен компромис, съгласуваност, устойчивост и др.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ НА ЗАДАЧАТА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ОПТИМАЛНО РАЗПИСАНИЕ

Разписанието на учебните занятия дефинира разпределението на дадено количество ресурси в пространството и във времето на участващите в учебния процес агенти и определя техните дейности по такъв начин, че да бъдат изпълнени задължителните изисквания при зададените ограничения и максимално да задоволи изискването на агентите относно желани показатели на качеството на РУЗ.

Най-важното условие за коректното решаване на задачата за определяне на оптималните разписания е съставяне на математичен модел, който да е адекватен на конкретния обект на разписанието. Това налага да се

* Тел.: 066 827 376; e-mail: nenova@tugab.bg

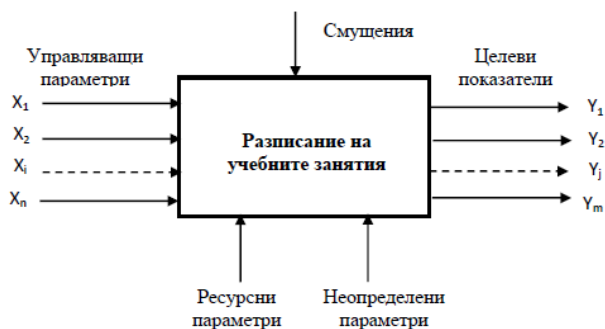
анализира задълбочено сложността на формулираната задача. Необходим е анализ на възможните ресурси, ограниченията, възможните управляващи параметри и целевите показатели и анализ на възможните стратегии и методи за решаване на задачата.

Въпреки многобройните опити да се създаде обща структура и общ модел, представящи проблема за разписанията, се установява, че не съществува един модел, който да бъде приложен за всички случаи. Причината е, че всяка образователна институция има своите специфични ограничения и различни цели.

В практиката през последните години, задаването на приоритети (или тегловни коефициенти) на показателите за качеството на разписанията става административно или се определят по субективни критерии, без да се изследва и да се взема под внимание съгласуваността на мненията на множеството агенти, участващи в образователния процес и в реализацията на разписанието на занятията. В болшинството от използваните стратегии водещи са мненията и желанията на преподавателите. В много университети по света, които следват тенденцията студентът сам да си определя учебния план със задължителни и избираеми дисциплини, които много често са в съотношение 50%:50%, в автоматизираното съставяне на „банката“ от възможните оптимални разписания, професионално-педагогическите мнения, знания и опит на преподавателите се използват с приоритет. Но трябва да се има предвид, че „клиентът“ е студентът.

ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ НА МОДЕЛА ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ОПТИМАЛНО РАЗПИСАНИЕ НА УЧЕБНИЯ ПРОЦЕС

Основните параметри на модела, от който зависи съставянето на оптимално РУЗ, са дадени на фиг. 1.



Фиг. 1. Основни групи параметри, които определят съставянето на оптимално разписание

От петте основни групи, най-важни за оптимално съставяне на учебно разписание са „управляващите“ и „целевите“ параметри

Основните **управляващи параметри** при съставяне на РУЗ са:

- (1) Варианти на съставяне на РУЗ;
- (2) Времеви интервал на учебното занятие;
- (3) Интервал на допустими „прозорци“;
- (4) Интервал на равномерност на натоварването с учебни занятия;
- (5) Интервал на отклонения от изискванията;
- (6) Брой занятия в работен ден;
- (7) Интервал на предпочитание за време на учебните

занятия;

(8) Интервал на предпочитанията за място на учебните занятия.

Целеви показатели при съставяне на оптимален РУЗ могат да бъдат:

- (1) Сумарен брой на неефективни интервали от време в учебното разписание („прозорци“);
- (2) Брой лекции/упражнения за един ден;
- (3) Сумарно време за придвижване между сградите при дислоциран сграден фонд;
- (4) Брой лекции с лекционен материал, предхождащ упражненията;
- (5) Равномерност на разпределение на часовете по дни;
- (6) Равномерност на разпределение на часовете по седмици;
- (7) Брой учебни дни в седмицата;
- (8) Седмична повторемост на занятията;
- (9) Брой времеви интервали за учебни занятия в учебен ден;
- (10) Брой отклонения от зададени изисквания към РУЗ;
- (11) Удовлетвореност само на студентите от РУЗ;
- (12) Удовлетвореност само на преподавателите от РУЗ;
- (13) Удовлетвореност на студентите и на преподавателите от РУЗ;
- (14) Предпочитание на агентите за време в разпределяне на занятията;
- (15) Предпочитание на агентите за място в разпределяне на занятията;
- (16) Предпочитание на агентите за време и за място в разпределяне на занятията;
- (17) Брой изпълнени предпочитания към РУЗ;
- (18) Време за съставяне на РУЗ;
- (19) Оптимално използване на ресурсите за съставяне на РУЗ;
- (20) Отклонение от общия брой „тайм - слотове“, които трябва да се изпълнят за реализиране на РУЗ;
- (21) Успеваемост на студентите.

Като **ресурсни параметри** за съставяне и за изпълнение на РУЗ могат да се разглеждат:

- (1) Учебни планове – дисциплини, лекции, упражнения, часове, кредити и др.;
- (2) Агенти – студенти, преподаватели, администрация;
- (3) Сграден фонд – сгради, аудитории, лаборатории, зали;
- (4) Времеви фонд - работни дни, работни седмици;
- (5) Времеви интервали за учебни занятия („тайм - слотове“);
- (6) Изисквания за съставяне на РУЗ (методични, организационни, учебни);
- (7) „Банка“ софтуер за подпомагане на РУЗ.

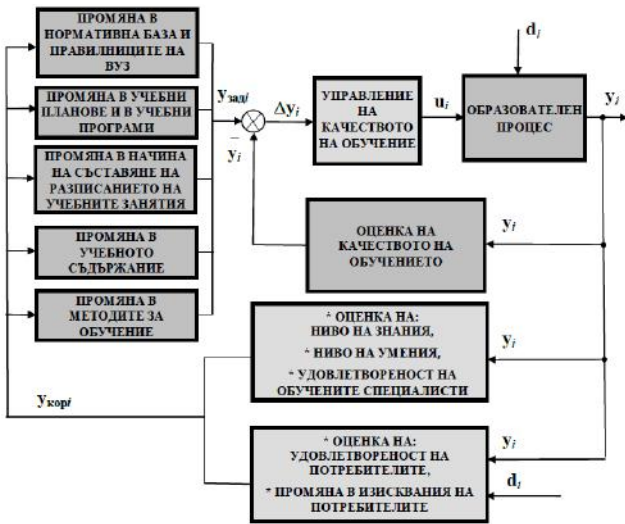
Параметрите с **непълна информация**, които се появяват при съставянето и реализирането на РУЗ са: желанията и приоритетите на агентите в РУЗ; непредвидени неработни дни, причините за проваляне на учебни занятия и др.

Като **смущения** в изпълнението на РУЗ могат да се появят: заболявания; аварии; повреди в апаратура; спиране на електрозахранване, вода и отопление; природни

бедствия и др.

СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ПРОЦЕСА НА ОБУЧЕНИЕ

В настоящата работа се предлага система за управление на образователния процес с обратна връзка, в която има няколко подсистеми, показани на фиг. 2. Една от важните подсистеми е съставяне на разписанието на учебните занятия.



Фиг. 2. Управление на качеството на процеса на обучение

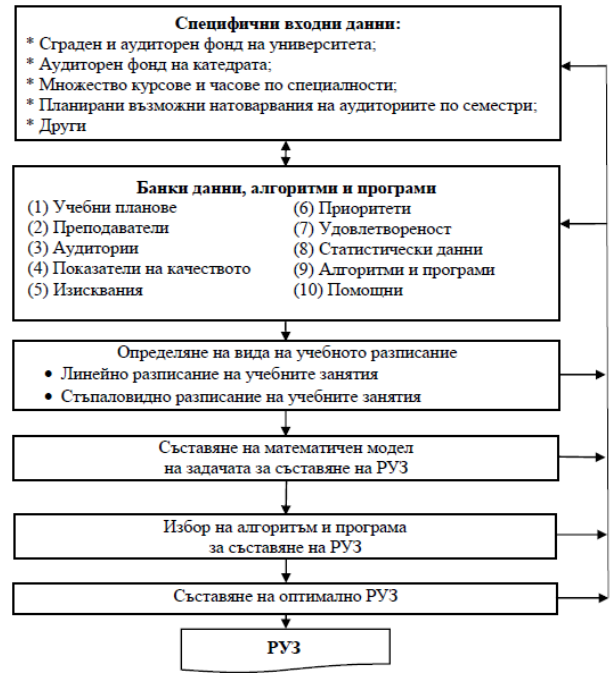
В системата на фиг. 2 са използвани следните означения:

- U_i – резултати от обучението;
- $U_{задi}$ – нормативни изисквания за показателите на качество;
- $U_{корi}$ – коригирани изисквания за качеството на обучение;
- u_i – управляващи въздействия;
- Δu_i – разлика между текущите и нормативните изисквания;
- d_i – смущения.

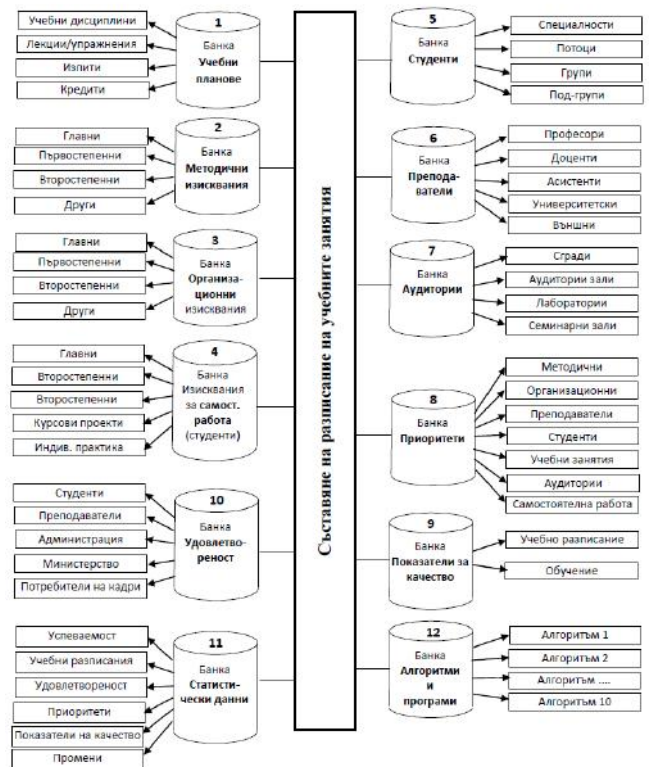
Изискванията за показателите на качество на обучение $U_{задi}$ се формират основно от пет източника, които при необходимост се променят, в зависимост от резултатите от обучението U_i : нормативната база и правилниците на ВУЗ; учебните планове и учебните програми; съставянето на РУЗ; учебното съдържание; методите за обучение, професионалната квалификация на обучаващите и др.

АЛГОРИТЪМ ЗА СЪСТАВЯНЕ НА РАЗПИСАНИЕ НА УЧЕБНИТЕ ЗАНЯТИЯ

Предлага се интегриран подход за изграждане на система за управление на учебния процес (СУУП) и нови стратегии за съставяне на оптимално разписание на учебни занятия. Блоквият алгоритъм на системата е представен на фиг. 3, като са предвидени 12 банки от данни, стратегии, методи и алгоритми (фиг. 4), които включват всичко необходимо за оптимално управление на учебния процес. Не е включена само банката за оценка на икономическите показатели. Представени са десет стратегии за съставяне на оптимално разписание на учебни занятия и 23 целеви функции (табл. 1).



Фиг. 3. Алгоритъм за съставяне на разписание на учебните занятия



Фиг. 4. Обща структура на банки данни, алгоритми и изисквания за съставя на РУЗ

СТРАТЕГИИ И ЦЕЛЕВИ ФУНКЦИИ ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ОПТИМАЛНИ РАЗПИСАНИЯ

В повечето задачи за съставяне на РУЗ има твърде много критерии за качеството на разписанието. В съществуващите стратегии за съставяне на РУЗ обикновено се използва избрана адитивна „функция на съответствие” на поставените изисквания към разписанието. При търсене на оптимално разписание тази функция не отчита всички целеви показатели на качеството на

разписанието на учебните занятия, като минимум „прозорци“, минимум движение между сгради, коефициент на равномерност на разпределение на занятията и др. и не е оформена като обобщаваща функция на векторния критерий на качеството. Използването на такава функция не води до намиране на Парето - оптимални решения (компромисни решения).

Като недостатък на предложените до сега стратегии може да се посочи, че не се отчитат обективно предпочитанията и на двете основни групи агенти, ползватели на учебното разписание „преподаватели“ и „студенти“. Друг недостатък на алгоритмите е, че с приоритет се отчитат „задължителните“ предпочитания за време на провеждане на занятията, ако преподавателят в определен интервал от време е зает с друга дейност.

В последните години използването на програмни системи за автоматизиране на процесите за управление на дейностите на ВУЗ са се увеличили няколко пъти и непрекъснато се създават нови системи, които включват и създаване на автоматизирано разписание на учебните занятия. Една от причините е, че учебните планове излизат от дългогодишния си класически вид и в тях се включват преобладаващ брой свободно избираеми учебни дисциплини, които студентите заявяват предварително като желани в своето обучение. Това налага създаване на една по-гъвкава система за съставяне на разписа на учебните занятия. В тях трябва да се дава значителен приоритет на желанията на студентите.

В съществуващите досега системи за управление на учебния процес се включват приоритети на изискванията към разписанието. Тези приоритети се явяват като

обобщена експертна оценка за относителната важност на конкретното изискване, основно на базата на статуса на преподавателя, на неговото желание и неговото влияние върху изискванията към учебния процес. Такава система дава значителен превес на мненията от агентите в учебния процес – преподавателите и така наречената ”справедливост” на учебното разписание се нарушава. Не се използват методите на ранговата корелация [11] за отчитане на степента на съгласуваност на мненията относно приоритетите на изискванията към разписанието. При наличие на статистическа значимост на тази съгласуваност, методологията позволява да се изчислят обективно числени стойности на приоритетите (ранговете) на изискванията към разписа и техните тегловни коефициенти. Тези тегловни коефициенти могат да се включат в целевата функция към съответната стратегия за намиране на оптималното разписание [12, 13].

Една положителна тенденция в съвременните алгоритми за съставяне на оптимални РУЗ е въвеждане на йерархия в изискванията чрез разделянето им на: методически, организационни и изисквания към самостоятелната работа на студентите. Всяка група, отделно включва главни, първостепенни и второстепенни изисквания [14].

В предложената от нас интегрирана система (фиг. 3 и фиг. 4), посочените по-горе недостатъци са отстранени. Представени са три нови и седем модифицирани стратегии за съставяне на оптимално разписание на учебни занятия, които включват 23 целеви функции, дадени в табл. 1.

Таблица 1. Стратегии и целеви функции за съставяне на оптимален разпис на учебни занятия (РУЗ)

No	Стратегии за съставяне на РУЗ/ Целеви функции
1.	<p>Съставяне на РУЗ по „наказателна функция”</p> <p>(1) $F_{\text{нак},S}(x) = \sum_{i=1}^S f_{\text{нак},S,i}(x) \rightarrow \min_x$ (За студенти)</p> <p>(2) $F_{\text{нак},P}(x) = \sum_{i=1}^P f_{\text{нак},P,i}(x) \rightarrow \min_x$ (За преподаватели)</p> <p>(3) $F_{\text{нак},S,P}(x) = \sum_{i=1}^S f_{\text{нак},S,i}(x) + \sum_{i=1}^P f_{\text{пен},P,i}(x) \rightarrow \min_x$ (За студенти и преподаватели)</p> <p>(4) $F_{\text{нак},S,W,P}(x) = W_S \cdot \sum_{i=1}^S f_{\text{нак},S,i}(x) + W_P \cdot \sum_{i=1}^P f_{\text{пен},P,i}(x) \rightarrow \min_x$ (За студенти и за преподаватели с тегловни коефициенти)</p>
2.	<p>Сумарен брой на предпочитание на агентите за време в разпределяне на занятията</p> <p>(5) $\max_{x_{c,t}} F^{\text{преп}}(x_{c,t}) = \sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{преп}} \cdot x_{c,t}$ (За преподаватели)</p> <p>(6) $\max_{x_{c,t}} F^{\text{студ}}(x_{c,t}) = \sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{студ}} \cdot x_{c,t}$ (За студенти)</p> <p>(7) $\max_{x_{c,t}} (\sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{преп}} \cdot x_{c,t} + \sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{студ}} \cdot x_{c,t})$ (За преподаватели)</p> <p>(8) $\max_{x_{c,t}} F^W_{\text{обоб}}(x_{c,t}) = \max_{x_{c,t}} (W_{\text{преп}} \sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{преп}} \cdot x_{c,t} + W_{\text{студ}} \sum_{c \in C} \sum_{t \in Tslot} p_{c,t}^{\text{студ}} \cdot x_{c,t})$ (За преподаватели студенти)</p>

3.	<p><u>Сумарен брой на предпочитание на агентите за време и за място в разпределяне на занятията</u></p> <p>(9) $F_e^{\text{время}}(\tau) = \sum_{m \in M_e} f_m^{\text{время}}(e, \tau(e)) \rightarrow \max$ (Предпочитание за време)</p> <p>(10) $F_e^{\text{място}}(\alpha) = \sum_{m \in M_e} f_m^{\text{място}}(e, \alpha(e)) \rightarrow \max$ (Предпочитание за място)</p> <p>(11) $F(\tau, \alpha) = \sum_{e \in E} (F_e^{\text{время}}(\alpha) + F_e^{\text{място}}(\alpha)) \rightarrow \max$ (Предпочитание за време и място)</p>
4.	<p>Съставяне на оптимално разписание на учебни занятия по „<u>функция на съответствие</u>”</p> <p>(12) $\max F(x) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot K_{\text{уп},i}(x) = \frac{1}{c_M + c_O + c_C} (c_M \cdot K_{\text{уп},M} + c_O \cdot K_{\text{уп},O} + c_C \cdot K_{\text{уп},C}) \rightarrow \max$</p>
5.	<p>Съставяне на РУЗ по критерий „<u>функция на наказание</u>” при отклонение от изискванията за качеството на разписанието</p> <p>(13) $Q_1(c) = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^N W_j \cdot C_{i,j}^* - C_{i,j} \rightarrow \min_{i \in J}$, (1-ва стратегия)</p> <p>(14) $Q_2(c) = \min_{j \in J} \sum_{i \in N} \max(C_{i,j}^* - C_{i,j})$ (2-ра стратегия)</p>
6.	<p>Съставяне на РУЗ по критерий „<u>функция на удовлетвореност</u>” (или „<u>неудовлетвореност</u>”) от разписанието на учебните занятия</p> <p>(15) $\Phi^{\text{HE}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) = \sum_{k_1 \in K_{\text{stud}}} F_{\text{СТУД}}^{\text{HE}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{k_2 \in K_{\text{Nons}}} F_{\text{СТУД}, \text{Nons}}^{\text{HE}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{l_1 \in L_{\text{VUZ}}} F_{\text{Преп}, \text{VUZ}}^{\text{HE}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{l_2 \in L_{\text{OUT}}} F_{\text{Преп}, \text{OUT}}^{\text{HE}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) \rightarrow \min_{X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}}$ (Неудовлетвореност по групи студенти и по групи преподаватели)</p> <p>(16) $\Phi^{\text{ДА}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) = \sum_{k_1 \in K_{\text{stud}}} F_{\text{СТУД}}^{\text{ДА}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{k_2 \in K_{\text{Nons}}} F_{\text{СТУД}, \text{Nons}}^{\text{ДА}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{l_1 \in L_{\text{VUZ}}} F_{\text{Преп}, \text{VUZ}}^{\text{ДА}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) + \sum_{l_2 \in L_{\text{OUT}}} F_{\text{Преп}, \text{OUT}}^{\text{ДА}}(X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}) \rightarrow \max_{X_{k_1, k_2, l_1, l_2, i, j, m, n}}$ (Удовлетвореност по групи студенти и по групи преподаватели)</p> <p>(17) $\Phi^{\text{ДА}}(X_{k,l}) = \sum_{k \in K} F_{\text{СТУД}}^{\text{ДА}}(X_{k,l}) + \sum_{l \in L} F_{\text{ПРЕП}}^{\text{ДА}}(X_{k,l}) \rightarrow \max_X$ (Удовлетвореност от всички студенти и от всички преподаватели)</p> <p>(18) $\Phi^{\text{HE}}(X_{k,l}) = \sum_{k \in K} F_{\text{СТУД}}^{\text{HE}}(X_{k,l}) + \sum_{l \in L} F_{\text{ПРЕП}}^{\text{HE}}(X_{k,l}) \rightarrow \min_X$ (Неудовлетвореност от всички студенти и от всички преподаватели)</p> <p>(19) $\Phi_w^{\text{ДА}}(X_{k,l}) = W_s \sum_{k \in K} F_{\text{СТУД}}^{\text{ДА}}(X_{k,l}) + W_p \sum_{l \in L} F_{\text{ПРЕП}}^{\text{ДА}}(X_{k,l}) \rightarrow \max_X$ (Удовлетвореност от студенти и преподаватели с тегловни коефициенти)</p> <p>(20) $\Phi_w^{\text{HE}}(X_{k,l}) = W_s \sum_{k \in K} F_{\text{СТУД}}^{\text{HE}}(X_{k,l}) + W_p \sum_{l \in L} F_{\text{ПРЕП}}^{\text{HE}}(X_{k,l}) \rightarrow \min_X$ (Неудовлетвореност от студенти и преподаватели с тегловни коефициенти)</p>

7.	<p>Съставяне на РУЗ по „времева функция”</p> $(21) \quad \Phi = \sum_{i=1}^{N^{TOTAL}} F_{ti}(a, s, g_s, p_s, b_s, n, d, z) - N^{TOTAL} \rightarrow \min \quad (\text{или } \rightarrow = 0),$
8.	<p>Съставяне на разписание на учебните занятия по целева функция с минимум „прозорци”</p> $(22) \quad F_n(X_i) = X_{z,ts} \cdot \sum_{ts \in T_s} \sum_{w \in W} BTS_{ts,w}(X_i) \rightarrow \min_{X_i},$
9.	<p><u>Селектиране на допустими области</u> за съставяне на оптимални РУЗ</p> <p>Всяка стратегия от No 1 до No 8</p>
10	<p><u>Многокритериална стратегия</u> с комбинация на целеви функции от стратегиите от 1 до 8</p> <p>Оптимистична стратегия с <u>функция на загубите</u></p> <p>(23) Скаларизирана целева функция от две или повече стратегии от No 1. до No 8., напр. целеви функции No 3, No 18 и No 22</p> $\Psi^{opt}(X) = \left \frac{F_{нак.S,P}^{opt} - \left(\sum_{i=1}^S f_{нак.S,i}(x) + \sum_{i=1}^P f_{пен.P,i}(x) \right)}{F_{нак.S,P}^{max} - F_{нак.S,P}^{min}} \right + \left \frac{\Phi_{opt}^{HE} - \left(\sum_{k \in K} F_{СТУД}^{HE}(X_{k,l}) + \sum_{l \in L} F_{ПРЕП}^{HE}(X_{k,l}) \right)}{\Phi_{opt}^{max,HE} - \Phi_{opt}^{min,HE}} \right +$ $+ \left \frac{F_n^{opt} - \left(X_{z,ts} \cdot \sum_{ts \in T_s} \sum_{w \in W} BTS_{ts,w}(X_i) \right)}{F_n^{max} - F_n^{min}} \right \rightarrow \min_X \quad (\text{Функция на загуби})$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложената система за оптимално съставяне на разписания на учебни занятия интегрира почти всички административни изисквания за разписанието, отчита множество показатели на качеството на разписанията и изискванията на заинтересованите участващи (преподаватели, студенти, администрация и др.). Предложеният алгоритъм и съставените 12 банки за необходимата информация, 10 стратегии и 23 формулирани целеви функции позволяват съставяне на „справедливо” разписание с отчитане и на приоритетите на основните участници в РУЗ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Benli O. S, Botsali A. R., An optimization - based decision support system for a university timetabling problem: An integrated constraint and binary integer programming approach. 2004, <http://www.csulb.edu/~obenli/Research/benli-botsali.pdf>.

[2] Bakır M. A., Aksop C., A 0-1 integer programming approach to a university timetabling problem, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, vol. 37 (1), 2008, pp.41 – 55.

[3] Бабкина Т. С., Задача составления расписаний. Решения на основе многоагентного подхода, Бизнес информатика, No 1, 2008, с. 23-28.

[4] Neely, M. J. Universal scheduling for networks with arbitrary traffic, channels, and mobility, 49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 2010, pp. 1822 – 1829.

[5] Burke, E. K., S. Petrovic. Recent research directions in automated timetabling. EJOR, 140(2), 2002, pp. 266-280.

[6] Burke, E.K., J. Kingston, D. de Werra, Applications to timetabling, in: J. Gross, J. Yellen (Eds.), Handbook of Graph Theory, Chapman Hall/CRC Press, 2004, pp. 445 – 474.

[7] Burke, E. K., Sanja Petrovic, Rong Qu. Case-based heuristic selection for timetabling problems, Journal of Scheduling, Volume 9, Issue 2, 2006, pp 115 - 132.

[8] Brucker, P. Scheduling Algorithms (Fifth Edition), Springer Verlag, Berlin. 2007.

[9] Бабкина, Т. С., Задача составления расписаний. Решения на основе многоагентного подхода, Бизнес информатика, No 1, 2008, с. 23 - 28.

[10] Безгинов, А. Н., С. Ю. Трегубов. Комплекс алгоритмов построения расписания ВУЗА. Часть 1. Система оценки качества расписания на основе нечётких множеств, Особенности алгоритма поиска оптимального расписания. В-к БГУ им. И Канта, 2011, Вып. 5, с. 127 - 135.

[11] Kendall M, J. D. Gibbons. Rank Correlation Methods, Oxford University Press, New York, 1990.

[12] Рашидова, Ф., Ст. Стоянов. Определяне на приоритетите, тегловните коефициенти и отчитане на степента на удовлетвореност при изготвяне на распис на учебните занятия за студенти - редовно обучение, Научно списание 'Известия' на ТУ-Габрово vol. 44, ISSN 1310-6686, 2012.

[13] Стоянов, С. Оптимизация на технологични процеси, Техника, София, 1993.

[14] Ерунов В. П., Морковин И. И., Формирование оптимального расписания учебных занятия в ВУЗе, в-к ОГУ No 3, 2001, с. 55-63.