

**КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ ЗАДАЧІ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЬОК В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ЯК ПІДСИСТЕМИ АСУ ВИШУ**

Розглянуто критерії оптимальності задачі автоматизованого складання розкладу занять ВНЗ, відмінностями яких від існуючих є угруповання частинних критеріїв оптимальності для побудови двох узагальнених критеріїв оптимальності, відповідальними за ступінь врахування інтересів студентів та викладачів. Узагальнені критерії оптимальності вводяться як зважена адитивна згортка частинних критеріїв оптимальності. В узагальнений критерій врахування інтересів студентів входять чотири часткових критеріїв оптимальності: число "вікон" у розкладі навчальних груп, баланс навантаження в розкладі навчальних груп, виконання правил угруповання занять по дням тижню, виконання правил угруповання занять по порядку занять в один день. До складу 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.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Серед характеристик, що можна вимірювати і контролювати, які визначають якість керування освітнім процесом, істотне 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.

З метою керування освітнім процесом і виявлення прихованих факторів, що негативно на нього впливають, використовуються математичні моделі, в основі яких лежить апарат класичного регресійного аналізу. Опіраючись на ці моделі, будуються прогнози якості розкладу занять які використовуються в процесі складання розкладу, що дозволяє зменшити кількість варіантів розкладів при пошуку оптимального.

**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 [3-5]. 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. 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 [3,6,7] 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 [8], тому для їхнього вирішення застосовуються різноманітні підходи й методи.

**Постановка завдання.** У загальному випадку всі частинні критерії оптимальності розкладу занять можуть бути розбиті на дві групи, а задача пошуку оптимального розкладу може бути зведена до постановки задачі оптимізації із двома узагальненими критеріями оптимальності, відповідальними за ступінь врахування інтересів студентів і викладачів. Між частинними критеріями кожної із груп теж можливі конфлікти [9], наприклад, при максимальному врахуванні особистих побажань до розкладу одного викладача за рахунок часткового невиконання побажань інших викладачів. У роботі [10] відзначено, що подібні конфлікти варто враховувати при пошуку оптимальних рішень і ігнорування залежностей між частинними критеріями оптимальності в деяких випадках не дозволяє знайти оптимальне рішення. При цьому частинні критерії оптимальності можуть бути: *a* - незалежними; *b* - підтримувати один одного (поліпшення зна-

чення одного критерію веде до поліпшення значення іншого);  $v$  - конфліктувати один з одним (збільшення значення одного критерію приводить до погіршення значень іншого критерію).

**Викладення матеріалу та результати.** З огляду на велику кількість критеріїв оптимальності, необхідно застосувати згортки частинних критеріїв. Частинні критерії оптимальності можуть бути як чіткими, так і нечіткими. Чіткі критерії оптимальності можуть бути представлені як нечіткі критерії оптимальності з функцією приналежності  $\mu_p(Y_p)$ , що дорівнює одиниці на всій області її визначення, тому далі будемо розглядати тільки нечіткі частинні критерії оптимальності. Загальний вид таких критеріїв записується в наступній формі

$$f_p^{(1)} = (\phi_p(x), \mu_p(Y_p^{(1)}), \alpha_p, s_p), Y_p \in V_p, V_p = \{\phi_p(x) | \forall x\}, p \in [1, N_1],$$

де  $f_p^{(1)}, p = \overline{1, N_1}$  - група частинних критеріїв, що описують інтереси студентів ( $N_1$  - число частинних критеріїв у групі).

Групу частинних критеріїв, що описують інтереси викладачів позначимо  $f_p^{(2)}, p = \overline{1, N_2}$ , де  $N_2$  - число таких критеріїв.

Розглянемо групу частинних критеріїв по врахуванню інтересів студентів. У неї входить критерій відсутності "вікон" у розкладі студентів. Для формулювання цього часткового критерію оптимальності позначимо множину всіх оцінюваних варіантів розкладів за допомогою  $X^*$  і побудуємо допоміжну множину  $S_{ij}$ , що для заданого розкладу  $x \in X^*$  містить ті компоненти  $x$ , які відносяться до занять  $i$ -ї групи в  $j$ -й день тижня. Математично описана множина формулюється в такий спосіб

$$S_{ij} = \left\{ x_z | z \in [1, N], \exists l_{ip} = z, p \in [1, L_i], Div\left(\frac{x_z}{H}\right) = j, i = \overline{1, N_G}, j = \overline{1, N_D} \right\},$$

де  $Div$  - оператор, що визначає цілочисельну частку виразу.

Для визначення кількості "вікон" у будь-якій навчальній групі використовується множина

$$Q^S = \left\{ Q_{ijk}^S | i = \overline{1, N_G}, j = \overline{1, N_D}, k = \overline{1, H} \right\}.$$

Елементи цієї множини приймають значення

$$Q_{ijk}^S = \begin{cases} 1, \exists x_z \in S_{ij} : Div\left(\frac{x_z}{H}\right) = k \\ 0, \text{інакше} \end{cases},$$

тобто елемент множини відмінний від нуля у випадку, якщо в  $i$ -ї групі в  $j$ -й день тижня в розкладі є  $k$ -е від початку цього дня заняття.

Позначимо номери першого й останнього занять  $i$ -ї групи в  $j$ -й день тижня

$$W_{ij}^{min} = \left( \min_{x_z \in S_{ij}} \left( Div\left(\frac{x_z}{H}\right) \right) \right); \quad W_{ij}^{max} = \left( \max_{x_z \in S_{ij}} \left( Div\left(\frac{x_z}{H}\right) \right) \right).$$

Тоді з урахуванням наведених формулювань загальне число "вікон" у всіх навчальних груп може бути записане так

$$Y_1^{(1)} = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_D} \sum_{k=W_{ij}^{min}+1}^{W_{ij}^{max}-1} Q_{ijk}^S.$$

В задачі складання розкладу занять для вищів важливим є критерій балансу навчального навантаження в розкладі навчальних груп. Дисципліни, що вивчаються студентами мають різний рівень складності і бажано планувати розклад з урахуванням фізіологічних можливостей студентів щодо виконання складних задач. Щоб сформулювати критерій балансу навчального навантаження, задамо множину найменувань навчальних предметів

$$U = \{u_k | k = \overline{1, N_S}\},$$

де  $N_S$  - число найменувань навчальних предметів.

Зв'язок занять груп за навчальним планом  $L$  з назвами предметів виражається множиною

$$Q^U = \left\{ Q_z^U | Q_z^U = k, l_{ip} = z, l_{ip} \Leftrightarrow u_k, k \in [1, N_S], z = \overline{1, N}, p \in [1, L_i], i \in [1, N_G] \right\},$$

де знаком  $\Leftrightarrow$  позначається, що елементу навчального плану  $l_{ip}$  взаємнооднозначно відповідає назва дисципліни  $u_k$ .

Складність вивчення різних навчальних дисциплін задається множиною

$$V^U = \{v_k \mid k = 1, N_S\}.$$

Кожний елемент цієї множини дає оцінку складності вивчення конкретної дисципліни  $u_k$ . Множина  $V^Y$  будується за допомогою експертних оцінок з урахування складності вивчення дисципліни у балах. Далі, користуючись наведеними позначеннями, сумарна складність навчального навантаження  $i$ -ї навчальної групи в  $j$ -й день тижня записується в наступному вигляді

$$V_{ij}^G = \sum_{x_z \in S_{ij}} V_{x_z}^U.$$

Розподіл навчального навантаження по днях тижня задається диспетчером на підставі особистого досвіду й умов діяльності освітньої установи. Розподілити навчальне навантаження по днях тижня можна, увівши частку  $\mu_j$  щотижневого навчального навантаження групи, що доводиться на  $j$ -й день тижня

$$\mu_j < 1, \sum_{j=1}^{N_D} \mu_j = 1.$$

У цьому випадку функція  $Y_2^{(1)}$  для критерію по врахуванню балансу тижневого навантаження в розкладі навчальних груп має такий вигляд

$$Y_2^{(1)} = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{j=1}^{N_D} \left| V_{ij}^G - \mu_j \sum_{j=1}^{N_D} V_{ij}^G \right|.$$

Розподіляти навчальне навантаження по парам занять з урахуванням складності дисциплін можна частку  $\mu_k$  щоденного навчального навантаження групи, що доводиться на  $k$ -е заняття від початку дня

$$\mu_k < 1, \sum_{k=1}^{N_D} \mu_k = 1.$$

У цьому випадку функція  $Y_3^{(1)}$  для критерію по врахуванню балансу денного навантаження в розкладі навчальних груп має такий вигляд

$$Y_3^{(1)} = \sum_{i=1}^{N_G} \sum_{k=1}^{N_D} \left| V_{ik}^G - \mu_k \sum_{k=1}^{N_D} V_{ik}^G \right|.$$

Деякі навчальні дисципліни відповідно до вимог кафедр варто проводити блоками, що включають кілька пар однієї дисципліни, або одночасне проведення занять у різних групах у різних лабораторіях. Наприклад, необхідно проводити складні і трудомісткі лабораторні роботи, які технічно неможливо виконати за одну пару і не можна переривати. Обмеження такого типу будемо називати правилами угруповання навчальних занять, і для виконання цих правил будується частинний критерій оптимальності. Для запису математичного формулювання цього

критерію введемо наступні позначення  $W = \left\{ w_k \mid k = \overline{1, N_W} \right\}$  - множина типів занять (лекція,

практика і. т.ін.), де  $N_W$  - число таких типів. Аналогічно назвам предметів, зв'язок конкретного заняття й типу цього заняття задається наступною множиною

$$Q^W = \left\{ Q_z^W \mid Q_z^W = k, l_{ip} = z, l_{ip} w_k, k \in [1, N_W], z = \overline{1, N}, p \in [1, L_i], i \in [1, N_G] \right\}.$$

Далі вводиться множина виписок  $V^P = \left\{ V_j^P \mid j = \overline{1, N_V} \right\}$ ,

де  $N_V$  - загальне число виписок. Формально окрема виписка з навчального плану записується так

$$V_j^P = \left\{ x_z \mid l_{ip} = z, Q_z^U = k, Q_z^W = r, k \in [1, N_S], r \in [1, N_W], i: g_i \in G_s, s \in [1, F_G], p \in [1, L_i] \right\},$$

де  $G_s$  - узагальнена група, що відповідає  $j$ -й виписці. При цьому окремі виписки не перетинаються, а об'єднання елементів всіх виписок відповідає множині всіх компонентів вектора  $x$

$$V_j^p \cap V_k^p = \emptyset, k \neq j, k \in [1, N_V], j \in [1, N_V], \cup V_j^p = \{x_i\}, j = \overline{1, N_V}, i = \overline{1, N}.$$

Позначимо за допомогою  $\|V_j^p\|$  число компонентів вектору невідомих, що входять до  $j$ -ї виписки, тоді різні правила угруповання занять можна класифікувати за значенням  $\|V_j^p\|$ . Наприклад, якщо  $\|V_j^p\| = 3$ , то три пари, що входять у виписку, групуються по днях тижня декількома способами: три заняття повинні бути проведені в один день навчального тижня, що можна умовно позначити як "3"; заняття повинні проводитися у два дні навчального тижня, тобто в один день дві пари й одна пара в інший день тижня, що позначимо "2+1"; заняття проводяться по одному в три різних дні навчального тижня, і цей варіант далі позначається як "1+1+1".

Розглянемо формальний вигляд правил угруповання. Уведемо функцію  $F^p(x, V_j^p)$ , що дорівнює нулю, якщо правило  $V_j^p$  для відповідної виписки угруповання занять виконується, і одиниці в іншому випадку. Наприклад, для правила "2+1" ця функція має такий вигляд

$$F^p(x, V_j^p) = \begin{cases} 1, & \left( \left[ \frac{x^{[1]}}{H} \right] = \left[ \frac{x^{[2]}}{H} \right] = \left[ \frac{x^{[3]}}{H} \right] \right) \wedge \left( \left[ \frac{x^{[1]}}{H} \right] \neq \left[ \frac{x^{[2]}}{H} \right] \neq \left[ \frac{x^{[3]}}{H} \right] \right), \\ 0, & \left( \left[ \frac{x^{[1]}}{H} \right] = \left[ \frac{x^{[2]}}{H} \right] \right) \wedge \left( \left[ \frac{x^{[2]}}{H} \right] = \left[ \frac{x^{[3]}}{H} \right] \right) \wedge \left( \left[ \frac{x^{[1]}}{H} \right] = \left[ \frac{x^{[3]}}{H} \right] \right) \end{cases},$$

де  $x^{[1]} \in V_j^p$  означає перший у послідовності компонент вектора  $x$  у виписці  $V_j^p$  (за умови, що компоненти які входять у виписку впорядковані), знак  $\wedge$  позначає операцію диз'юнкції. Дужки що входять у визначення функції розглядаються як предикати, які мають значення істини, якщо укладені в дужки вирази виконуються. Зроблені формулювання дозволяють записати скалярну функцію  $Y_3^{(1)}$  для критерію виконання правил угруповання занять по днях навчального тижня

$$Y_4^{(1)} = \sum_{j=1}^{N_V} F^p(x, V_j^p)$$

Хоча кількість частинних критеріїв оптимальності  $N_1$ , що входять у групу критеріїв по врахуванню інтересів студентів, може бути набагато більше чотирьох, будемо розглядати наведені частинні критерії, як приклад можливих критеріїв оптимальності, і розглянемо далі групу частинних критеріїв по врахуванню інтересів викладачів.

Як і для студентів, для викладачів будується критерій, що враховує число "вікон" у розкладі викладачів. За аналогією з множиною  $S_{ij}$  будується допоміжна множина  $S'_{ij}$ , що має компоненти  $x$  які відповідають заняттям  $i$ -го викладача в  $j$ -й день тижня

$$S'_{ij} = \left\{ x_z \mid t \in T_k, T_k \Leftrightarrow V_S^p, x_z \in V_S^p, x_z \in S_{pj} \right\}, i = \overline{1, N_T}, j = 1, N_D,$$

де  $z \in [1, N]$ ,  $p \in [1, N_G]$ ,  $s \in [1, N_V]$ ,  $k \in [1, F_T]$ .

Для визначення кількості "вікон" у розкладі викладача будується множина

$$Q^y = \left\{ Q_{ijk}^y \mid i = \overline{1, N_T}, j = 1, N_D, k = \overline{1, H} \right\}$$

Елементи цієї множини приймають наступні значення  $Q_{ijk}^y = \begin{cases} 1, & \exists x_z \in S'_{ij} : Div\left(\frac{x_z}{H}\right) = k \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$ , тоб-

то елемент множини відмінний від нуля у випадку, якщо у  $i$ -го викладача в  $j$ -й день тижня в розкладі є  $k$ -е від початку цього дня заняття.

Позначимо номери першого й останнього занять  $i$ -го викладача в  $j$ -й день тижня

$$W_{ij}^{min} = \left( \min_{x_z \in S_{ij}} \left( Div\left(\frac{x_z}{H}\right) \right) \right); \quad W_{ij}^{max} = \left( \max_{x_z \in S_{ij}} \left( Div\left(\frac{x_z}{H}\right) \right) \right).$$

Тоді з урахуванням наведених формулювань загальне число "вікон" у всіх викладачів може бути записане так

$$Y_1^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_T} \sum_{j=1}^{N_D} \sum_{k=W_{ij}^{\min}+1}^{W_{ij}^{\max}-1} Q_{ijk}^Y.$$

У вищих навчальних закладах викладачі можуть бути зайнятими викладацькою роботою не кожен день на тижні, наприклад, методичний день, викладачі - сумісники, яким необхідно планувати заняття у конкретні дні тижня. Тому будується частинний критерій оптимальності, що контролює максимальне число зайнятих днів на тиждень для викладачів. Для формулювання цього критерію вводиться множина

$$T_i^D = \{k \mid S'_{ik} \neq \emptyset, k \in [1, N_D]\}, i = \overline{1, N_T}.$$

Позначимо за допомогою  $\|T_i^D\|$  число елементів у множині  $T_i^D$ .  $\|T_i^D\|$  відповідає числу днів навчального тижня, у які  $i$ -й викладач проводить заняття. Задамо максимальне число днів навчального тижня для проведення занять  $i$ -го викладача  $T_i^{\max}$ . На підставі зроблених визначень задається функція

$$F^C(i) = \begin{cases} 0, & \|T_i^D\| \leq T_i^{\max} \\ 1, & \|T_i^D\| > T_i^{\max} \end{cases} i = \overline{1, N_T}.$$

Тоді функція, що задає носій нечіткої множини для часткового критерію, що контролює максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, може бути сформульована так

$$Y_2^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_T} F^C(i).$$

Часто небажаним у розкладі викладача вважається призначення тільки одного заняття протягом дня. Тому введемо частинний критерій оптимальності, що контролює мінімальне число занять у довільний день тижня. Позначимо  $\|S'_{ik}\|$  кількість занять  $i$ -го викладача в  $j$ -й день тижня. Для кожного викладача задається  $T_i^{\min}$  мінімальне число занять, що  $i$ -у викладачеві потрібно проводити протягом одного навчального дня. Визначимо допоміжну функцію

$$F^B(i) = \begin{cases} 0, & \|S'_{ik}\| \geq T_i^{\min}, \forall k \in [1, N_D]: \|S'_{ik}\| > 0 \\ 1, & \exists k \in [1, N_D]: \|S'_{ik}\| < T_i^{\min} \end{cases} i = \overline{1, N_T}.$$

Тоді функція  $Y_3^{(2)}$  для часткового критерію оптимальності врахування мінімального числа занять у довільний день тижня для викладачів може бути сформульована в такий спосіб

$$Y_3^{(2)} = \sum_{i=1}^{N_T} F^B(i).$$

Як було відзначено [6], побажання будь-якого викладача по складанню розкладу занять виражаються у вигляді нечіткої множини. Носій цієї множини формується з періодів годинної сітки розкладу  $D$ , а функція приналежності  $\mu_p(Y_p^{(2)})$  відбиває рівень згоди викладача на проведення занять у ці періоди часу.

Якщо вважати всіх викладачів рівноправними, то варто ввести  $N_T$  частинних критеріїв оптимальності описаного виду. Слід зазначити, що освітня система є ієрархічною соціальною системою [11], тому на практиці диспетчери ділять множину викладачів на підмножини, що мають різний пріоритет.

Різні пріоритети побажань викладачів ураховуються за допомогою завдання різних ступенів важливості  $S_p$  для частинних критеріїв оптимальності. Якщо допустити, що всі заняття проводить один викладач, то носій нечіткої множини у формулюванні часткового критерію оптимальності, що враховує його особисті побажання по складанню розкладу, може бути записаний у такий спосіб

$$Y_4^{(2)} = k, k \in [0, M].$$

Використовуємо уведені частинні критерії оптимальності для побудови двох узагальнених критеріїв оптимальності. Як було відзначено раніше, з огляду на велику кількість частинних

критеріїв оптимальності, узагальнені критерії оптимальності вводяться як зважена адитивна згортка частинних критеріїв.

У цьому випадку, в узагальненій критерій врахування інтересів студентів входять чотири частки критерію оптимальності: число "вікон" у розкладі навчальних груп, баланс навантаження в розкладі навчальних груп, виконання правил угруповання занять по дням тижню, виконання правил угруповання занять по порядку занять в один день.

До складу критерію врахування інтересів викладачів входять наступні частинні критерії: число "вікон" у розкладі викладачів (як і в студентів), виконання обмеження на максимальне число зайнятих днів у тиждень для викладачів, виконання обмеження на мінімальне число занять у довільний день тижня для викладачів, переваги викладачів.

Множина всіх оцінюваних варіантів розкладів позначається за допомогою  $X^*$ . Результатом оцінки якого-небудь варіанта розкладу  $x \in X^*$  по групах частинних критеріїв  $f_{p1}^{(1)}, p1 = \overline{1, N_1},$

$f_{p2}^{(2)}, p2 = \overline{1, N_2}$  є два вектори  $f_{p1}^{(1)}$  для інтересів студентів і  $f_{p2}^{(2)}$  для інтересів викладачів

$$f^{(1)}(x) = (\mu_1(\varphi_1(x)), \mu_2(\varphi_2(x)), \dots, \mu_{N_1}(\varphi_{N_1}(x))).$$

Результатом оцінки всіх елементів множини  $X^*$  є дві множини векторів  $F_1 = \{f^{(1)}(x) | x \in X^*\}$  і  $F_2 = \{f^{(2)}(x) | x \in X^*\}$  кожне з яких відповідає одному узагальненому критерію. Тепер сформулюємо перший узагальнений критерій  $I_1$  для заданого задалегідь варіанта розкладу  $x$

$$I_1(x) = \sum_{i=1}^{N_1} s_i^* f_i^{(1)}(x),$$

де  $s_i^*$  - числовий еквівалент ступеня важливості  $s_i$   $i$ -го часткового критерію оптимальності.

Аналогічно визначається й другий узагальнений критерій  $I_2(x)$

$$I_2(x) = \sum_{i=1}^{N_2} s_i^* f_i^{(2)}(x).$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Практичне використання наведених вище обмежень, критеріїв оптимізації і інших математичних методів, в значній мірі залежить від кваліфікації людини, що безпосередньо складає розклад - тобто диспетчера.

Цей фахівець, як правило, не має достатніх знань і досвіду у математиці, але він має досить цінний практичний досвід складання придатних розкладів.

Найбільш повно і точно цей досвід відображається у самому розкладі. Маючи базу даних розкладів за попередні роки можливо, до деякої міри, автоматично сформувати побажання викладачів та критерії оптимальності.

#### 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.28-3.
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. 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.
5. Молибог А.Г. Методика составления расписания занятий на ЦВМ / Молибог А.Г., Медведский М.В., Неворов Г.С. -МВИРТУ, Минск. - 1972.
6. 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.
7. 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.
8. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. - Санкт-Петербург: "БХВ-Петербург", 2003. - 108бс.

9. Галузин К.С. Автоматизированное составление оптимального учебного расписания в МОУ "Лицей №1" с учетом предпочтений учащихся и преподавателей / Галузин К.С., Волкова Н.В., Столбов В.Ю. // Социокультурная многомерность лицейского образования: сб. науч. трудов. /МОУ "Лицей №1". -Пермь, 2004. С.97-110.

10. Robin C. Relationships in Evolutionary Multi-criterion Optimization. / Robin C. Purshouse, Peter J. Fleming // Second International Conference, EMO 2003, Faro, Portugal, April 8-11, 2003, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science 2632 Springer 2003, ISBN 3-540-01869-7.

11. Галузин К.С. Критерии качества дополнительного довузовского образования / Галузин К.С., Останина Т.В., Столбов В.Ю. // Критерии качества дополнительного образования: труды временного научно-исследовательского коллектива по проблемам образования. Перм. гос. техн. ун-т. -Пермь, 2002. С.26-34.

Рукопис подано до редакції 25.02.14

УДК 631.31: 631.331

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## **АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ НАРІЗАННЯ БОРОЗНИ СОШНИКОМ СІВАЛКИ**

У статті проаналізовано конструкторські та технологічні особливості сучасних сошників, які можуть бути використані для нарізування борозни просапних сільськогосподарських культур, виявлено їх основні недоліки. Основним недоліком сошників є їх складність у виготовленні і експлуатації. Пристрої управління сошниками мають динамічну помилку по потужності при врізанні в ґрунт до 60%.

З підвищенням коефіцієнта різання ґрунту сошником, недостатньо підвищується стійкість для потрібної якості формування посівної борозни, при цьому помилка досягає 40%. Тому для підвищення врожайності сільськогосподарських культур необхідно забезпечити більш дружні сходи, а це можливо лише при формуванні сошниками посівної машини борозенок відповідає агротехнічним вимогам глибини. Так як на схожість і розвиток рослин впливають рівномірність посіву насіння по довжині рядка і глибині закладення, то запропоновано регулювати глибину посівної борозни при зміні швидкості переміщення сівалки з урахуванням в борозні параметрів фізичних і механічних властивостей ґрунту з варіюванням величин статичної та динамічної помилок. Дана блок-схема системи для адаптивного керування процесом різання борозен. Визначено передатні функції елементів системи.

Пристрій для адаптивного управління процесом нарізування борозни сошником сівалки містить: блок завдання, суматор, привід сошника, редуктор приводу сошника, блок керування швидкістю переміщення сівалки, датчик потужності, пороговий елемент, модель процесу управління нарізування борозни, датчик швидкості переміщення сошника, фільтр і датчики параметрів фізичних і механічних властивостей ґрунту. Встановлено, що змінюючи глибину зворотного зв'язку (пропорційну частину), можна варіювати величиною статичної помилки. Регулюючи глибину зворотного зв'язку (диференціальна та інтегральна частини), можна варіювати величиною динамічної помилки (пере регулювання системи при накиданні навантаження).

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сучасному етапі розвитку сільського господарства вирощування просапних культур займає важливе місце в загальному сільськогосподарському виробництві. Відомо, що запорукою високих урожаїв цих рослин є отримання своєчасних і дружних сходів не тільки за рахунок посіву в межах терміну агрономічних вимог, а й завдяки правильному виконанню технологічного процесу робочими органами, які впливають на швидкість проростання насіння просапних культур. Основними факторами, які впливають на схожість та розвиток рослин, є рівномірність посіву насіння по довжині рядка і глибині загортання. Але якщо висівний апарат сівалки має забезпечувати рівномірність укладання по довжині рядка, то сошник і коток, що прикоткує, повинні розв'язати проблему укладання насіння в борозні та утворення необхідних умов для його проростання, а саме - точне нарізання глибини борозни та укриття насіння вологими шарами ґрунту нижнього горизонту та прикочування насіння з обох боків у зоні його знаходження. Тому чим більш рівномірна подача насіння висівним апаратом, тим важливіше значення має правильна робота сошника. Останній є складовою частиною сівалки чи посадочної машини, яка утворює в ґрунті канавку - борозну для укладання у ній насіння та забезпечує загортання насіння. Сошники, які залежно від конструкції поділяються на анкерні, полозкові, одно-дискові та дво-дискові, можуть мати різну будову, розміщуються або відособлено або жорстко прикріплюються до секції, що висіває.

Агротехнічними вимогами передбачається формування сошниками посівної машини борозенок, в які падає насіння, що мають ущільнене ложе для насіння, що сприяє більш дружнім