

УДК 004.896

**Н. А. Ангіпова, аспірант**  
 Черкаський державний технологічний університет  
 б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна  
[LesleyRoot1726@gmail.com](mailto:LesleyRoot1726@gmail.com)

## ПІДСИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

У статті проаналізовано роботу підсистеми планування фармацевтичного виробництва та завантаження виробничих ліній, котра відіграє роль одного з провідних функціональних блоків автоматизованої системи управління, досліджено спеціальні методи планування, серед яких метод, побудований на базі нечіткої логіки.

**Ключові слова:** інформаційні системи, фармацевтичне виробництво, планування виробництва, специфікація, технологічна карта виробництва, нечітка логіка.

**Постановка проблеми.** Фармацевтична ланка промисловості являє собою одну з таких, що потребує підвищеного контролю на кожному етапі виробничої діяльності, чим і зумовлюється актуальність розробки автоматизованої системи управління (АСУ) фармацевтичного підприємства, котра б надавала можливість утримувати перебіг усіх процесів виробництва у жорстких рамках для забезпечення високої якості отримуваної продукції. При цьому важливо, щоб АСУ могла забезпечувати оптимальну роботу підприємства, виходячи з наявних потужностей і ресурсів.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Після аналізу великої кількості публікацій авторів з різних країн (Bikash Chatterjee [1], Garcia Thomas [2], О. В. Сідоркін [3; 4], А. В. Ветров [3; 4]), присвячених розробці методів управління фармацевтичним виробництвом, можна зробити висновок, що більшість досліджень обмежені одним із видів діяльності підприємства: технічною стороною

питання, економічною, спеціальною (власне операції хімічного характеру), вирішенням логістичних проблем. Тому актуальною є розробка саме комплексної системи, котра не тільки може забезпечити контроль усіх ланок виробництва, але й надасть можливість аналізувати перебіг процесів.

**Метою роботи** є проектування та розробка підсистеми планування, котра є однією з найважливіших підсистем АСУ. *Завданнями роботи* є: створення та програмна реалізація методів планування виробництва фармацевтичної продукції з використанням нечіткої логіки; порівняння результатів роботи та визначення продуктивності розроблених методів для критичних ситуацій, що виникають у процесі діяльності підприємства; створення підсистеми планування виробництва засобами програмного продукту «1С:Підприємство».

**Виклад основного матеріалу.** Автоматизована система управління має дворівневу ієрархію (рис. 1).

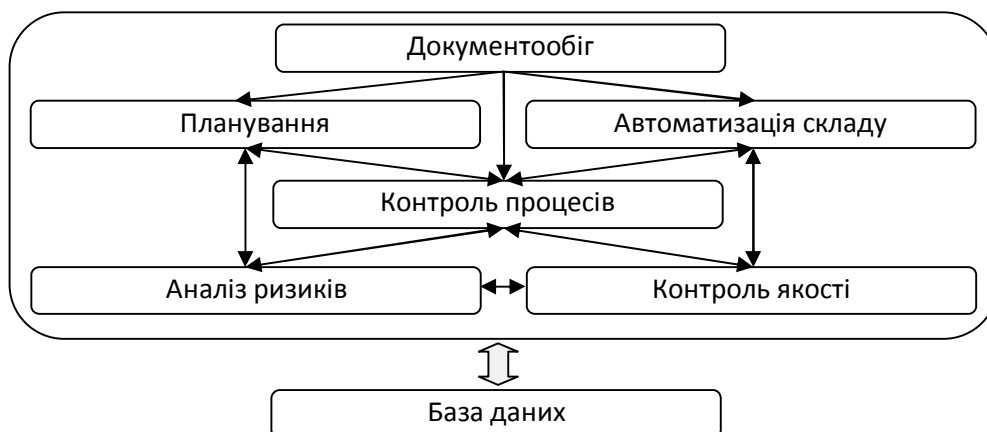


Рис. 1. Структура автоматизованої системи управління фармацевтичним виробництвом

Нижній рівень – це база даних, що відображає структуру підприємства, сукупність основних його характеристик як стало-го об'єкта (підрозділи, працівники, зони зберігання товарів, постачальники сировини, сама сировина та продукція, обладнання, залишки товарів та дані їх обігу тощо). Верхній рівень утворений сукупністю інструментів, за допомогою яких здійснюється відображення інформації про діяльність підприємства у базі даних. Механізми, у свою чергу, розподілені на базові (робота з об'єктами, до яких належать документи, процеси, задачі, довідники) та прикладні. Фіксація виконуваних операцій в АСУ відбувається за допомогою таких об'єктів: документи (забезпечення обігу товарів) та задачі (інформація про виконання завдань відповідальним персоналом). АСУ також містить схеми процесів діяльності підприємства, описані поетапно, причому здійснення виробничих операцій можливе тільки у рамках поступового виконання задач, що надходять користувачам у формі сповіщення.

Усі прикладні механізми АСУ об'єднані у такі підсистеми:

1. *Підсистема планування* – комплекс інструментів, що є одним із визначальних у проєктованій АСУ, оскільки все виробництво спирається на заплановані дані.

2. *Підсистема управління запасами* містить об'єкти, що забезпечують обіг товарів у підприємстві: надходження товарів, переміщення між зонами зберігання, передавання товарів у віртуальну зону виробництва, відображення операції випуску продукції із вказаних позицій сировини, фіксація операції реалізації продукції тощо.

3. *Підсистема управління персоналом* призначена для роботи з працівниками організації: прийом на роботу, складання графіків роботи, аналіз продуктивності праці, моніторинг активності, звільнення.

4. *Підсистема виробництва* забезпечує функціонування процесів виробництва продукції за описаними схемами, надає можливість проводити моніторинг виконання працівниками своїх завдань та аналізувати продуктивність перебігу процесів.

5. *Підсистема контролю якості та мікробіологічного контролю* об'єднує механізми проведення лабораторних аналізів проб сиро-

вини, напівпродуктів чи готового продукту, відібраних на будь-якому етапі процесу виготовлення, а також запланованих перевірок (стан обладнання тощо), з метою виявлення кількісних чи якісних відхилень.

6. *Підсистема аналізу та управління ризиками* забезпечує відповідальний персонал можливістю аналізу діяльності підприємства за певний період – продуктивності виробничих операцій, стану обладнання, відхилень від плану, а також можливістю подальшого прийняття рішень на основі отриманих результатів.

7. *Підсистема електронної документації* надає можливість створювати та заповнювати електронні документи і протоколи, проєктувати етикетки для внутрішньої ідентифікації товарів у тому вигляді, в якому затверджені їх друковані версії на підприємстві.

8. *Підсистема електронного дос'є на серію лікарського препарату* являє собою комплекс процесів та протоколів, що забезпечують перебіг процесу поетапного внесення даних у дос'є на серію відповідальними співробітниками. Підсистема є специфічною саме для фармацевтичних підприємств.

Між названими прикладними підсистемами АСУ здійснюється обмін інформацією та взаємозв'язок. Наприклад, підсистеми планування та виробництва не зможуть функціонувати без механізмів управління запасами, і процес виробництва продукції не зможе стартувати, якщо виробництво саме цього товару не було заплановане.

Система управління, що проєктується у рамках наукового дослідження, має такі переваги: деталізований контроль процесу виробництва і поетапне збереження даних на кожному етапі, можливість моніторингу, оптимізація роботи персоналу шляхом контролю термінів виконання завдань.

### **Структура та інструменти підсистеми планування**

Перший етап планування – це *об'ємно-календарне планування*, призначене для формування довгострокової стратегії виробництва (наприклад, річної) на кожен із видів продукції, що виготовляється підприємством. Користувацький інтерфейс цього інструмента, зображений на рис. 2, забезпечує користувача можливістю обрати період та періодичність, підрозділ виробництва, метод побудови плану тощо.

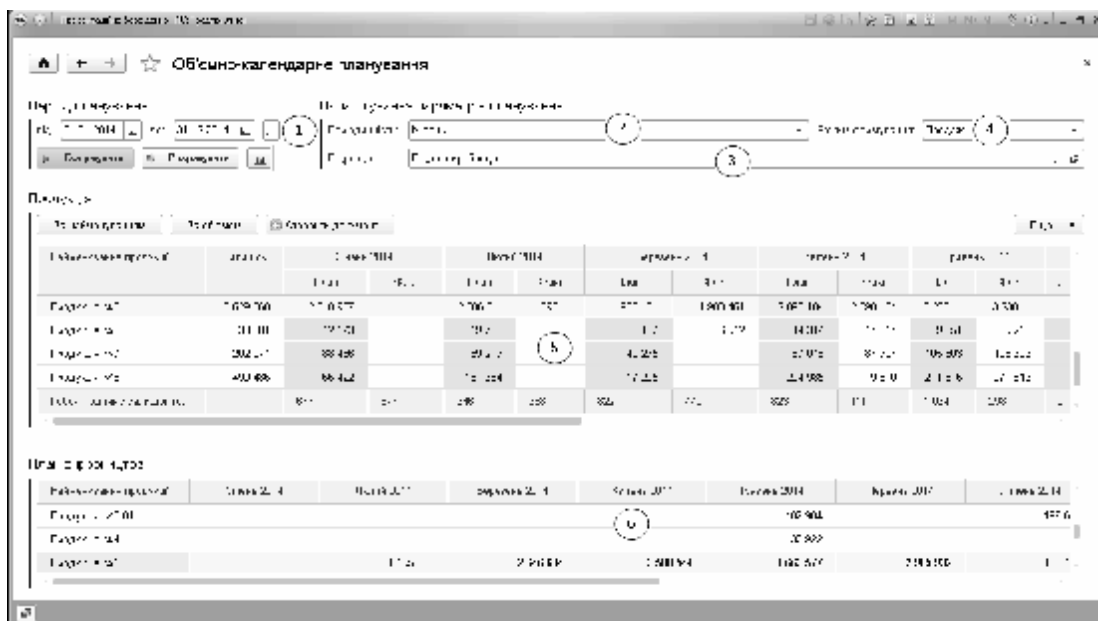


Рис. 2. Інтерфейс механізму об’ємно-календарного планування (поля для вибору параметрів: 1 – період планування, 2 – періодичність планування, 3 – відділ виробництва, 4 – режим формування; поля даних: 5 – таблиця розрахунку, 6 – таблиця результату)

Автоматизована система управління пропонує користувачу декілька методів для складання початкового довгострокового плану. В усіх методах планування відбувається на період, котрий обирається користувачем ( $T$ ) і з вказаною ним періодичністю ( $t$ ). Таким чином, планування здійснюється для  $n$  періодів ( $n = T/t$ ) на основі даних різних величин за  $k$  періодів ( $k$  – кількість періодів, що становлять цикл виробництва (наприклад, рік), причому воно відбувається послідовно для кожного  $i$ -го періоду,  $i=1, \dots, n$ ).

При використанні першого методу системою враховується обсяг виробництва продукції за період, попередній до поточного, а також приріст у виробництві для попереднього періоду, тобто:

$$V_i = V_{i-1} \frac{V_{i-1}}{V_{i-2}}, \quad (1)$$

де  $V$  – обсяг виробництва продукції ( $V_i$  – для поточного періоду,  $V_{i-1}$  – попереднього періоду,  $V_{i-2}$  – періоду, що передує попередньому). Також для аналізу у першому методі можуть бути використані обсяги замовлення ( $Or$ ) або обсяги реалізацій ( $R$ ), вибір яких також надається користувачеві.

В основі другого методу побудови плану лежить аналіз уже трьох показників:

- 1) виробництво відповідного періоду минулого циклу з урахуванням приросту за період;
- 2) виробництво відповідного періоду минулого циклу з урахуванням приросту за весь цикл;
- 3) виробництво продукції за період, попередній до поточного, із приростом для попереднього періоду.

Отже, для  $i$ -ї ітерації обсяг виробництва обраховується таким чином:

$$V_i = \omega_1 V_{i-k} \left( \frac{V_{i-k}}{V_{i-k-1}} \right) + \omega_2 V_{i-k} p + \omega_3 V_{i-1} \left( \frac{V_{i-1}}{V_{i-2}} \right), \quad (2)$$

де  $\omega_{1,2,3}$  – ваги врахування показників,  $p$  – коефіцієнт приросту за весь минулий цикл виробництва. Користувач також може обрати для аналізу обсяги замовлення чи обсяги реалізацій замість виробництва.

Третій метод надає можливість користувачеві отримати комплексний аналіз величин (обсяги виробництва, замовлення, реалізацій), які у двох попередніх випадках можна було аналізувати лише окремо.

Цей метод використовує у своєму функціоналі нечітку логіку та систему нечіткого логічного виведення, котра на виході дає значення запланованого обсягу виробництва для поточного періоду, і на вхід якої подаються чотири змінні.

Планування відбувається послідовно. Для кожного наступного періоду використовуються дані запланованих обсягів продукції минулого періоду (за винятком першого, для якого обсяг є фактичним значенням), тобто на вхід системи подаються такі змінні:

1)  $Or_{i-k-1}$  – обсяг замовлення періоду, що передуює поточному в минулому циклі виробництва. Тут  $k$  – кількість періодів, що становлять цикл виробництва, на основі якого проводиться аналіз даних (наприклад, рік),  $i$  – номер поточного періоду планування ( $i = \overline{k+1, k+n}$ , де  $n = T/t$ ,  $T$  – загальний період планування,  $t$  – періодичність (місяць, квартал, півріччя);

2)  $V_{i-k}$  – обсяги виробництва у періоді, що відповідає поточному в минулому циклі виробництва;

3)  $S_{i-k+1}$  – обсяги реалізацій у періоді, наступному за поточним у минулому циклі виробництва;

4)  $V_{i-1}$  – виробництво у попередньому періоді.

На виході система нечіткого виведення для  $i$ -го періоду дає вихід  $V_i$ , який використовується для наступного періоду як значення четвертої змінної входу.

База правил побудована таким чином, що враховується вплив комбінацій величин змінних входу, при цьому користувач має змогу вказати коефіцієнти впливу кожного із параметрів:

$$\begin{aligned} R_j : \omega_j^1 Or_{i-k-1} \in A_j^1 \wedge \omega_j^2 V_{i-k} \in A_j^2 \wedge \\ \wedge \omega_j^3 S_{i-k+1} \in A_j^3 \wedge \omega_j^4 V_{i-1} \in A_j^4 \Rightarrow \\ \Rightarrow V_i \in B_j, j = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $R_j$  – правила бази правил системи нечіткого виведення ( $j = \overline{1, n}$ ),  $A_j^m$  – функція належності  $m$ -ї змінної входу системи для  $j$ -го правила бази,  $\omega_j^m$  – ознака використання  $m$ -ї змінної входу системи у  $j$ -му правилі бази (набуває значень 0 або 1),  $B_j$  – функція належності змінної виходу для  $j$ -го правила бази правил.

Система нечіткого виведення використовує алгоритм Ларсена. Також реалізовано альтернативний метод побудови системи нечіткого виведення з тим самим набором вхід-

них та вихідних змінних, що базується на побудові початкової системи типу Такагі-Сугено-Канга та її навчання за допомогою гібридного алгоритму на вибіркових даних для отримання результуючої системи, що буде використовуватися безпосередньо у процесі планування.

Отже, плановані обсяги виробництва обчислюються, виходячи із залежності

$$V_i = f(Or_{i-k-1}, V_{i-k}, S_{i-k+1}, V_{i-1}), \quad (4)$$

де  $f$  – послідовність перетворень даних входу системи нечіткого логічного виведення, що відбуваються над ними шляхом застосування алгоритму Ларсена, котрий виконується за наступними етапами.

1. *Введення нечіткості.* Відбувається пошук ступенів істинності для передумов кожного правила:  $A_j^1(Or_{i-k-1})$ ,  $A_j^2(V_{i-k})$ ,  $A_j^3(S_{i-k+1})$ ,  $A_j^4(V_{i-1})$ , де  $j = \overline{1, n}$ .

2. *Логічне виведення.* Здійснюється обчислення рівнів «відсікання» ( $\lambda_j$ ) для передумов кожного із правил:

$$\begin{aligned} \lambda_j = (\overline{\omega_j^1} \vee A_j^1(Or_{i-k-1})) \wedge \\ \wedge (\overline{\omega_j^2} \vee A_j^2(V_{i-k})) \wedge \\ \wedge (\overline{\omega_j^3} \vee A_j^4(S_{i-k+1})) \wedge \\ \wedge (\overline{\omega_j^4} \vee A_j^4(V_{i-1})), j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (5)$$

Далі будують зрізані функції належності змінної виходу

$$B_j^1(V) = \lambda_j \cdot B_j(V), j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

3. *Композиція.* Виконується об'єднання знайдених усічених функцій, що приводить до одержання підсумкової нечіткої підмножини для змінної виходу з функцією належності

$$\begin{aligned} \beta(V) = B_1^1(V) \vee B_2^1(V) \vee \\ \dots \vee B_n^1(V) = \max_{j=1, n}(B_j^1(V)). \end{aligned} \quad (7)$$

4. *Приведення до чіткості.* Відшукування чіткого значення виходу системи  $V_i$  виконується за допомогою методу центру мас

$$V_i = \frac{\int V \cdot \beta(V) dV}{\int \beta(V) dV}, \quad (8)$$

де  $\Omega$  – множина визначення змінної виходу.

Метод планування на основі нечіткої логіки є найбільш продуктивним, тому що використовує комплексний аналіз даних. Зокрема, однією з його переваг, що досягається завдяки використанню нечіткої логіки, є згладжування графіка отриманого плану, оскільки кожне значення обчислюється як результат сукупного врахування значень показників діяльності підприємства, котрі впливають на виробництво. Користувач може оперувати з результатами планування у табличній (рис. 2) та графічній (рис. 3) формі.

У результаті використання кожного із методів вносяться дані у таблицю продукції, що запланована для виготовлення. При цьому у лівій колонці для кожного з періодів вказується результат, отриманий шляхом автоматичного планування (значення доступні для ручного редагування), а в праву колонку заносяться дані по можливих обсягах виробництва з урахуванням робочого часу у кожному із періодів (рис. 1). Таким чином, деяка кількість запланованої продукції залишається нерозподіленою. У такому випадку потрібно викликати функцію розрахунку, котра виконує розподіл запланованих обсягів на попередні періоди планування. Дані перерахунку будуть відображені у таблиці результуючого плану виробництва.

У системі передбачено два варіанти перерахунку запланованих обсягів виробництва при наявності періодів із дефіцитом робочого часу:

– розподіл надлишкових обсягів виробництва здійснюється послідовно на кожен із періодів із наявним робочим часом, котрі передують періоду із дефіцитом,

– розподіл здійснюється пропорційно наявному робочому часу періодів, що передують тому, в якому виявлено недостачу часу.

Окрім цього реалізовано можливість порівняння планів виробництва, отриманих за допомогою використання описаних вище методів. Таким чином, користувач може обрати той метод, який задовольняє його найкраще, виходячи з його експертних знань.

Отриманий план виробництва має бути задокументований для того, щоб на основі нього створювати детальні плани.

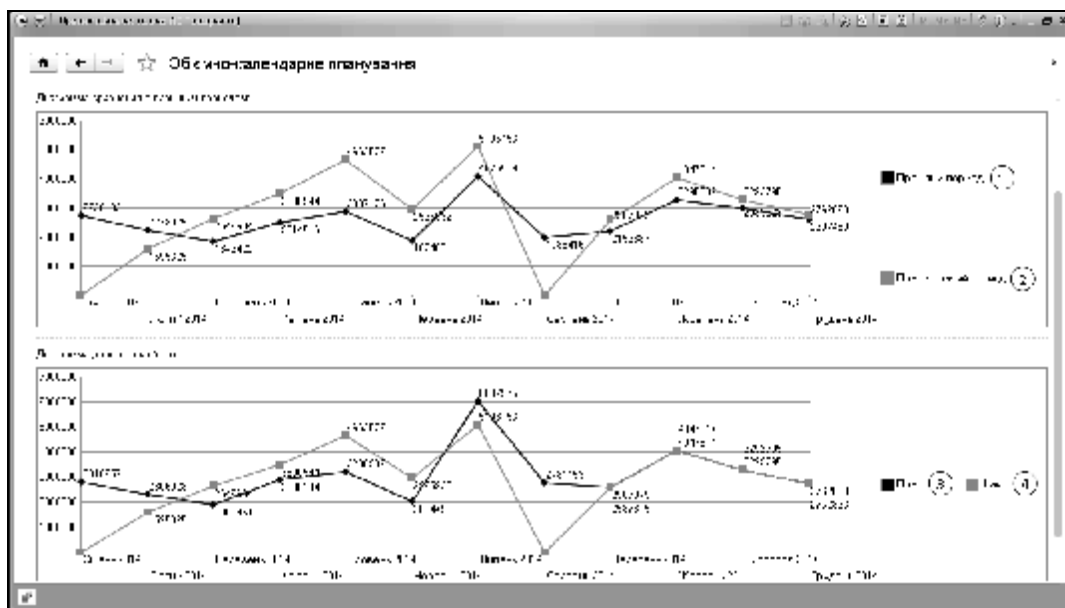
Другий етап планування – *оперативне планування виробництва*; його механізми служать для попереднього планування потреби у виробничих потужностях. Головне призначення:

- визначення дефіциту готової продукції залежно від середнього розміру її продажів і незнижувального залишку;

- формування документів, що містять інформацію, котра використовується безпосередньо у процесі виробництва;

- розрахунок матеріалів, необхідних для виробництва, формування замовлення постачальникам на сировину, по якій виявлено недостачу. Розрахунок визначається наявністю складного набору специфікацій на готову продукцію та напівпродукти, що використовуються у її виробництві.

Третій етап планування – *планування завантаження обладнання* – полягає в тому, щоб автоматично сформувати діаграму виробництва продукції (на основі даних планів виробництва продукції, сформованих на попередньому етапі планування) за вибраний період, і з можливістю отримання деталізації по обладнанню, що задіяне у процесі виробництва та технологічних операціях, котрі виконуються з використанням цього обладнання. Такий план деталізований до хвилин. Автоматичний розрахунок часу виконання операцій та завантаження обладнання виконується за допомогою технологічних карт виробництва для кожної позиції готової продукції, котрі містять усі необхідні дані. Користувач має можливість відмічати ті операції, які не потрібно буде виконувати у разі такої потреби. У результаті виконання планування користувач може затвердити план та розпорядження на виробництво продукції, або ж зняти будь-який із запланованих продуктів з виробництва. Робота з механізмами планування завантаження обладнання здійснюється за допомогою інтерфейсу користувача, котрий містить усі необхідні команди та налаштування. На основі даних (продукт, що буде виготовлений, кількість серій цього продукту та розміри цих серій), що записуються в базу внаслідок виконання оперативного планування, створюється процес виробництва, стартовим етапом якого є замовлення сировини (у перерахунку із загальної запланованої кількості продукції та даних її специфікації) із зони її зберігання у відділ виробництва продукції. Процес виробництва жорстко прив'язаний до документації, оформленої на усіх етапах планування.



**Рис. 3** Графічне відображення результатів планування

(1 – графік фактичних обсягів виробництва попереднього періоду, 2, 4 – графік запланованого виробництва, 3 – графік запланованого виробництва без урахування робочого часу)

**Висновки.** За час проведення наукового дослідження повністю реалізовано підсистему планування виробництва для автоматизованої системи управління, котра містить інструменти для виконання планування у три етапи: довгострокове, оперативне та завантаження робочих потужностей. Було спроектовано три методи об'ємно-календарного планування, котрі для отримання результату використовують статистичні дані результатів діяльності підприємства у минулому (обсяги реалізації продукції, замовлень від клієнтів тощо). Найбільш ефективним із них є комплексний метод на основі теорії нечіткої логіки та нечіткого виведення, який дає оптимальні результати (план є близьким до статистичних даних і враховує при цьому ресурспроможність підприємства), зокрема, за наявності високоамплітудних сезонних коливань виробництва минулих періодів. Ще однією перевагою методу планування на основі нечіткої логіки є можливість навчання системи нечіткого виведення шляхом урахування рішень про обсяги виробництва, прийнятих експертом, котрий затверджує об'ємно-календарний план.

Інструменти автоматизованої системи управління впроваджено на українському фармацевтичному підприємстві ТДВ «Інтерхім».

### Список літератури

1. Bikash Chatterjee. Applying a risk-based decision making framework for outsourcing [Internet] / Bikash Chatterjee. – Pharmaceutical Engineering. – Vol. 34, No 6. – Available from : [http://www.ispe.org/pharmaceutical\\_engineering/14nd-chatterjee.pdf](http://www.ispe.org/pharmaceutical_engineering/14nd-chatterjee.pdf). – P. 12–19.
2. Garcia Th. The use of process capability to ensure pharmaceutical product quality [Internet] / Th. Garcia, R. Nosal, K. Vukovinsky. – Pharmaceutical Engineering. – Vol. 34, No 5. – Available from : [http://www.pharmaceutical\\_engineering.org/pharmaceutical\\_engineering/14so-nosal.pdf](http://www.pharmaceutical_engineering.org/pharmaceutical_engineering/14so-nosal.pdf). – P. 24–27.
3. Menshutina N. Application of case-based reasoning approach in data analysis for process modeling / N. Menshutina, A. Vetrov, O. Sidorkin, H. Leuenberger // 7th World Congress of Chemical Engineering: proceedings. – Glasgow, Scotland, 2005. – P. 565.
4. Menshutina N. V. Application of case-based reasoning approach in tablet formulation support system / N. V. Menshutina, A. V. Vetrov, O. V. Sidorkin, H. Leuenberger // Glatt International Times. The Future of Process Modelling. – Binzen, Germany, 2004. – №18. – P. 112–134.
5. Антіпова Н. А. Система розрахунку сировини для виробництва фармацевтичної продукції на базі нечіткої логіки /

Н. А. Антіпова // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : праці міжнар. наук.-практ. конф., 12-15 травня 2015 р., Київ-Черкаси ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка та [ін.]; наук. ред. В. Є. Снитюк. – Черкаси : Видавець Чабаненко Ю., 2015. – С. 169–170.

### References

1. Bikash Chatterjee. Applying a risk-based decision making framework for outsourcing [Internet]. *Pharmaceutical Engineering*, 34 (6), pp. 12–19. Available from: <<http://www.ispe.org/pharmaceuticalengineering/14nd-chatterjee.pdf>>
2. Thomas, Garcia, Roger Nosal and Kim Vukovinsky The use of process capability to ensure pharmaceutical product quality [Internet]. *Pharmaceutical Engineering*, 34 (5), pp. 24–27. Available from: <[http://www.pharmaceuticalengineering.org/pharmaceutical\\_engineering/14so-nosal.pdf](http://www.pharmaceuticalengineering.org/pharmaceutical_engineering/14so-nosal.pdf)>
3. Menshutina, N., Vetrov, A., Sidorkin, O. and Leuenberger, H. (2005) Application of case-based reasoning approach in data analysis for process modeling. In: *7th World Congress of Chemical Engineering: proceedings*, Scotland, Glasgow, p. 565.
4. Menshutina, N., Vetrov, A., Sidorkin, O. and Leuenberger, H. (2004). Application of case-based reasoning approach in tablet formulation support system. *Glatt International Times. The Future of Process Modelling*. Binzen, Germany, (18), pp. 112–134.
5. Antipova, N. A. (2015) The system based on fuzzy logic of raw materials calculation for pharmaceutical production. *Obchyslyvalnyy intelekt (resultaty, problem, perspektivy)*: proceedings of internat. conf., May 12-15, Kyiv-Cherkasy, Ukraine / Ministry of Education and Science of Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv [etc]. In: Vitaliy Ye. Snytyuk (Ed.). Cherkasy: editor Ju. Chabanenko, pp. 169–170 [in Ukrainian].

**N. A. Antipova**, *postgraduate student*  
Cherkasy State Technological University  
Shevchenko Blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine  
[LesleyRoot1726@gmail.com](mailto:LesleyRoot1726@gmail.com)

### PLANNING SUBSYSTEM OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PHARMACEUTICAL MANUFACTURING

*The article is devoted to the development of the methods of pharmaceutical production planning and design of the structure of information system of production control, which the mentioned instruments should be based on. The paper describes the subsystem of production planning manufacturing and production lines loading as a functional part of automated control system. The author offers the model of planning subsystem as the process. It means that planning subsystem construction is governed not by the principles of hierarchy, but by the decomposition, dividing the object into stages separated in time-line. So the model contains the following stages: long-period planning (forms a long-term strategy of production), operative production planning (determines production volumes in shorter periods), loading equipment planning (the most detailed stage of planning, used to distribute the work of every piece of equipment up to a minute).*

*The author pays attention to the stage of long period planning and specialized methods of realization of this instrument, because it affects the whole strategy of manufacturing enterprise activity. Particularly, one of these methods (based on fuzzy logic) is designed by the author and produces the best results.*

**Keywords:** *information systems, pharmaceutical manufacturing, production planning, specification, technological card of manufacturing, fuzzy logic.*

Рецензенти: Б. П. Головня, д.т.н., професор,  
Ю. В. Триус, д.т.н., професор.