

УДК 664.002.5

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ДОЗАТОРА

Змєєва І.М., к.т.н.,

*Подільський державний агротехнічний університет*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – робота присвячена визначенню оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора для підвищення продуктивності та точності процесу розливу за умов оптимального поєднання технологічних факторів та конструктивних параметрів.

**Ключові слова** - рідкі харчові продукти, продуктивність, точність дозування, гідравлічний тракт, методика.

*Постановка проблеми.* Наслідки фінансово-економічної кризи особливо вплинули на сільськогосподарське виробництво та суміжні галузі, що призвело до дуже низького технічного рівня виробничого потенціалу в консервній, харчовій, переробній промисловості. Спостерігається інтенсивний процес старіння активної частини основних фондів та обладнання. Коефіцієнт зношування основних фондів – в межах 70%, оскільки основне обладнання знаходиться в експлуатації від 15 до 42 років і є морально застарілим. Гостро стало питання про закупівлю запасних частин до імпортного обладнання та заміну вітчизняного на більш сучасне.

Продукція вітчизняних заводів з виробництва обладнання для розливу й пакування різних харчових продуктів, за конструктивними особливостями й технічним рівнем, не поступається зарубіжним аналогам, має значно нижчу вартість, забезпечена гарантійним і післягарантійним обслуговуванням, що здійснюється на придатніших для споживача економічних умовах і в стисли строки.

Запорукою успіху є технічне переозброєння виробництва. При наявності на ринку великої кількості високотехнологічного, енергоощадного обладнання, автоматизованих ліній, а також відповідних коштів у підприємств, проблем для оновлення парку машин і механізмів, на перший погляд, не існує. Проблема полягає у виборі необхідного устаткування, доцільного для кожного конкретного виробництва.

При виборі автоматичних ліній розливу чи не найголовнішими критеріями є їх надійність, висока продуктивність і доступна ціна.

Підвищення продуктивності розливного (фасувального) обладнання простим збільшенням кількості розливних механізмів не дозво-

ляє отримати максимальну ефективність, оскільки в цьому разі збільшується маса машини та її енергоспоживання. Тому у збільшенні продуктивності інтенсивним методом, без збільшення кількості розливних механізмів, криються можливості значного підвищення ефективності виробництва.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз науково-технічної літератури показав, що процеси протікання мало в'язких харчових рідин в каналах фасувального обладнання та заповнення тари рідиною потребують подальшого дослідження.

Відомі способи збільшення продуктивності пристрою для розливу зводяться до покращення витратних характеристик за рахунок покращення чистоти обробки стінок гравітаційних трактів, змінення конструкцій вхідної та транзитної частини насадків зливних трактів, зниження гідравлічних опорів, додаванням поверхнево-активних речовин.

Важливим параметром, що визначає продуктивність пристрою для розливу, є час заповнення банки рідиною до зазначеного рівня, який суттєво залежить від абсолютної величини швидкості витікання рідини, площі живого перерізу зазору між направляючою та ущільнюючою манжетою, через який рідина потрапляє у банку; геометричних параметрів конструктивних елементів, а також від фізико-механічних властивостей харчової рідини, яка розливається (в'язкості, густини, теплопровідності, теплоємності).

У поточний період значно виросла увага до чисельних методів у гідродинаміці, які дозволяють на пряму отримувати рішення загальних рівнянь динаміки в'язкої рідини, у тому числі з урахуванням її стискуємості та турбулентного характеру течії. Реалізація таких методів граничить з проведенням чисельного експерименту. Порівняно з фізичним чисельний експеримент економічно значно дешевший, а у ряді випадків, коли фізичний експеримент важко реалізувати із-за складних режимів течії, стає єдиним інструментом дослідження.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора для підвищення продуктивності та точності процесу розливу за умов оптимального поєднання технологічних факторів та конструктивних параметрів.

*Основна частина.* Об'єктом дослідження є технологічна операція розливу освітленого яблучного соку в споживчу тару.

Предметом дослідження є технологічні, конструктивні та кінематичні параметри пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня у взаємозв'язку з показниками продуктивності та точності процесу розливу.

Автоматичні лінії розливу рідких харчових рідин, як правило, мають фіксовану продуктивність, працюють тільки з певним видом тари, енергоємні, займають велику виробничу площу. Ці тенденції потребують створення більш гнучкого у використанні, універсального у широкому сенсі фасувального обладнання. Дозатори харчових рідин повинні бути універсальними до виду рідини, що дозується, до типу та форми тари, мати можливість настроювання на різні величини дози. У зв'язку з цим потрібне детальне вивчення основних процесів, які відбуваються при порційному дозуванні рідин, та їх вплив на типи, конструкцію та методику розрахунку дозаторів [1, 2, 3, 4].

Дозування рідких харчових продуктів існує трьох видів: за об'ємом, за рівнем, за вагою. Дозатори рідини за рівнем мають перед дозаторами рідини за об'ємом та за вагою принципові переваги:

- можна розливати рідину у тару будь-якої ємності за умови, що шийка банки має однакові форму та розмір;
- рідина дозується безпосередньо у тару, що виключає період набору дози у мірну ємність – отже, підвищується продуктивність;
- конструктивно більш прості, тому що не мають складного вузла: мірної ємності та зв'язаних з нею елементів.

При проектуванні дозатора за рівнем важливу роль відіграє співвідношення каналів у розливному патроні. Рідина із баку подається у розлильний патрон, який герметично притискується до шийки банки. При заповненні тари рідина проходить по каналу між стінкою дозувального патрона та повітряною трубкою. Так як величина внутрішнього діаметра шийки банки  $D$  задана, то виникає задача визначення співвідношення площ перерізів каналів подачі рідини та каналу відведення повітря з тари. Одним із підходів до вирішення цієї задачі є створення однакових умов протікання потоків рідини та повітря в каналах дозувального патрона [5].

При проектуванні автоматів для розливу витрати рідини  $Q$  у короткій трубці визначають за формулою [2, 5]

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

де коефіцієнт витрат  $\mu$  залежить від довжини труби та фізико-хімічних характеристик рідини. Оскільки при подачі рідини у тару з витратами  $Q$  із неї одночасно витісняється повітря з такими ж витратами, то мають місце рівняння

$$Q_p = \mu_p S_p \sqrt{2gH}, \quad Q_n = \mu_n S_n \sqrt{2gH}, \quad (2)$$

де  $\mu_p$ ,  $\mu_n$  – коефіцієнти витрат для рідини та повітря;

$S_p$ ,  $S_n$  – площі перерізів каналів рідини та повітря відповідно,  $m^2$  кавітаційної бульбашки не наблизиться до початкового радіусу зародку  $R_0$ .

З формул (2) випливає співвідношення

$$S_p = \frac{\mu_n}{\mu_p} \cdot S_n. \quad (3)$$

Оскільки  $S_n = \frac{\pi}{4} d_n^2$ ,  $S_p = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_n^2)$

та  $\frac{\pi}{4} D^2 = S_p + 2S_n$ ,

то з урахуванням формули (3) отримаємо співвідношення між діаметром повітряної трубки та діаметром шийки тари

$$d_n = D \sqrt{\frac{\mu_p}{\mu_n + 2\mu_p}}. \quad (4)$$

Таким чином, за відомих значень діаметра шийки тари та характеристик рідини, що дозується, рівняння (4) дозволяє обчислити діаметр повітряної трубки.

Дослідимо як висота підйому направляючої впливає на продуктивність роботи дозатора. Для цього розглянемо залежність площі живого перерізу каналу від висоти підйому манжети відносно направляючої. Розрахункова схема показана на рис. 1.

Вихідними даними для розрахунку площі живого перерізу каналу є:

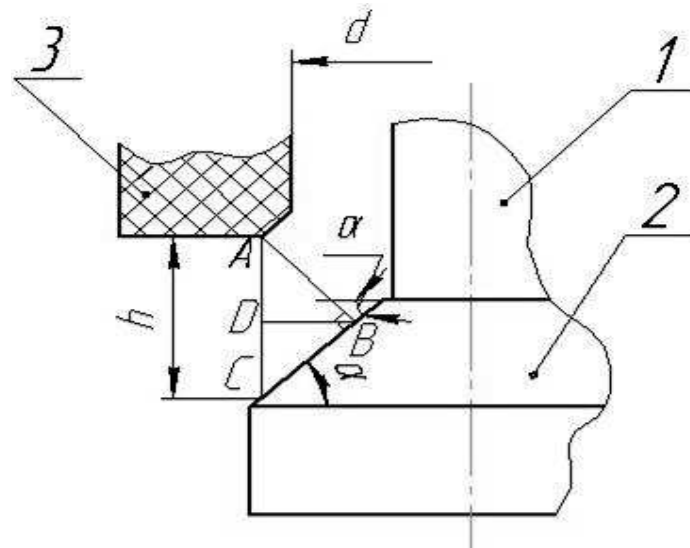
$h$  – висота підйому манжети відносно направляючої,  $h$ , м;  $\alpha$  – кут нахилу направляючої, град. В таблиці 1 наведено параметри банок різної ємності.

З рисунку 1 випливає, що площа живого перерізу каналу на виході з дозуючого пристрою, який утворено манжетою 3 та направляючою 2, залежить від переміщення манжети відносно направляючої (сторона  $AC=h$ ) та кута нахилу направляючої  $\alpha$ .

Таблиця 1– Вихідні дані для розрахунку площі живого перерізу

№ п/п	Об'єм ємності, $cm^3$	Висота підняття дозуючого пристрою*, $h$ , мм				Кут нахилу до тичної до бокової сторони, $\beta$ , град.
		$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	
1	3000	28	18	11	4	47
2	2000	24	16	12	6	45
3	1500 (Твіст – офф)	18	14	13	10	42

\* Згідно з ГОСТ 5717.2–2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”



1 – повітряна трубка; 2 – направляюча (нерухома); 3 – ущільнююча манжета (рухома)

Рис. 1. Розрахункова схема для визначення площі живого перерізу каналу, який утворено манжетною та направляючою

Площа живого перерізу каналу визначається за формулою [2, 5]

$$S_p = \pi \cdot AB \left( \frac{d}{2} + \left( \frac{d}{2} - 2DB \right) \right). \quad (5)$$

Оскільки  $AB = h \cos \alpha$ ,  $DB = AB \sin \alpha = h \cos \alpha \sin \alpha = \frac{1}{2} h \sin 2\alpha$

, то площа живого перерізу каналу на виході із дозуючого пристрою дорівнює

$$S_p = \pi h \cos \alpha (d - h \sin 2\alpha). \quad (6)$$

Підставимо (6) в формулу (1) та визначимо продуктивність дозуючого пристрою

$$Q_m = \mu \cdot \left( \pi \cdot h \cdot \sin \alpha \left( d - \frac{h}{2} \cdot \sin 2\alpha \right) \right) \sqrt{2gH}. \quad (7)$$

Промодельємо процес протікання рідини по каналу, утвореному манжетною та направляючою за допомогою *FLOTRAN CFD* (Computational Fluid Dynamics) аналізу програмного комплексу *ANSYS* [6, 7, 8]. Розрахункова схема каналу показана на рисунку 2.

В результаті проведення нестационарного аналізу отримуємо розподіл об'ємної фракції та розподіл поля швидкостей рідини у довільний момент часу проходження рідини по каналу, утвореному манжетною та направляючою.

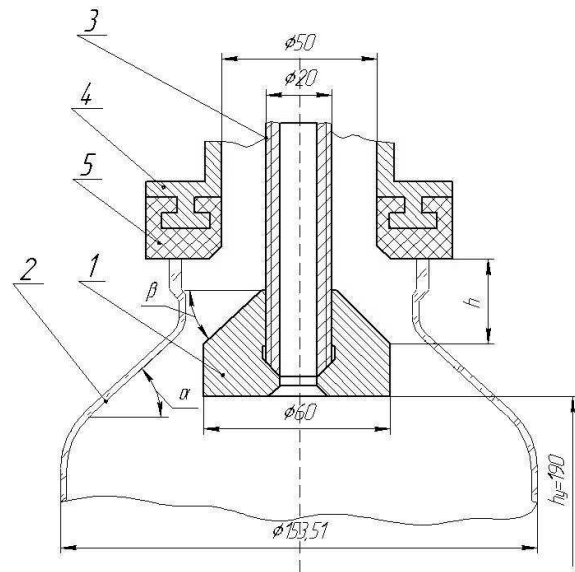


Рис. 2. Гідравлічна схема пристрою для розливу харчових рідин до зазначеного рівня

При зливанні рідини у банку утворюється піна, обсяг якої залежить від гідравлічних характеристик дозатора, форми та розмірів тари, властивостей рідини. Піноутворення призводить до відхилення від дози, втрати рідини, яка розливається, та необхідності додаткового часу для заспокоєння піни. Зменшення турбулізації рідини у каналі дозатора та зменшення піноутворення залежить від конструктивних параметрів дозатора. Проаналізуємо процес протікання рідини по каналу, утвореному манжетою та направляючою з кутом нахилу  $\alpha$  ( $\alpha = 30^\circ, 42^\circ, 45^\circ$ ), та її зливання у банку. Параметри скляних банок наведено у таблиці 1. Змінними параметрами будемо вважати висоту підйому манжети відносно направляючої  $h$  та кут нахилу дотичної до бокової сторони банки

$\beta$  ( $\beta = 30^\circ, 42^\circ, 45^\circ$ ).

Стандартний кут нахилу направляючої становить  $\alpha = 30^\circ$ , тому знайдемо оптимальний режим роботи дозатора відносно змінних  $h$  та  $\beta$ . Аналіз показав, що при висоті підйому манжети відносно направляючої  $h = 13$  мм найменша турбулентність, а отже і піноутворення, виникають при куті нахилу направляючої  $\alpha = 30^\circ$  та куті нахилу дотичної до бічної стінки банки  $\beta = 45^\circ$ . Ізолінії розподілу швидкостей рідини та векторний розподіл показані на рисунках 3 та 4.

З рисунку 3 випливає, що після проходження по каналу дозатора, а потім по каналу, утвореному направляючою та манжетою, рідина рівномірно стікає по стінці банки вниз. При цьому утворюється знач-



но менше піни, ніж при безпосередньому попаданні струменя рідини на дно банки.

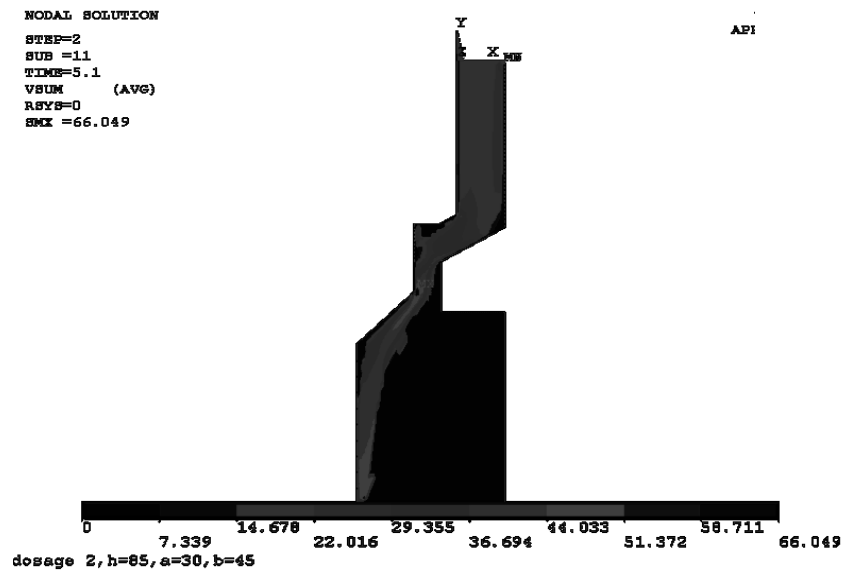


Рис. 3. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при  $h = 13$  мм,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$

Якщо висота підйому манжети відносно направляючої дорівнює  $h = 13$  мм, а кут нахилу направляючої та дотична до бокової стінки банки рівні, наприклад,  $\alpha = \beta = 42^\circ$ , то струмінь рідини попадає безпосередньо на дно банки (рис. 5). Це спричиняє процеси, описані вище, що призводять до значного і зовсім небажаного піноутворення у банці.

При висоті підйому манжети відносно направляючої  $h = 18$  мм та довільному співвідношенню між кутом нахилу направляючої та дотичної до бокової стінки банки, наприклад,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ , струмінь рідини попадає безпосередньо на дно банки (рис. 6), що призводить до збільшення піноутворення.

Таким чином, для зменшення турбулізації рідини в каналі дозатора та зменшення піноутворення оптимальними параметрами є висота підйому манжети відносно направляючої  $h = 13$  мм та кут нахилу направляючої  $\alpha = 30^\circ$ .

На рис. 3 та 5 показана типова картина збільшення гідравлічного опору при зміні напрямку руху рідини. При зміні напрямку потоку виникають центробіжні сили, які направлені від центра кривизни до зовнішньої стінки труби. Тиск у межах повороту біля зовнішньої стінки більший за тиск біля внутрішньої стінки. Відповідно швидкість рідини біля зовнішньої стінки менша за швидкість біля внутрішньої. Як результат цього вздовж бокових стінок труби, біля поверхні яких

швидкість невелика, буде виникати рух рідини від зовнішньої стінки до внутрішньої, тобто виникає поперечна циркуляція у потоці. Підвищена пульсація швидкостей та інтенсивне перемішування частинок приводить до більших втрат напору на повороті порівняно з прямолінійними ділянками руху.

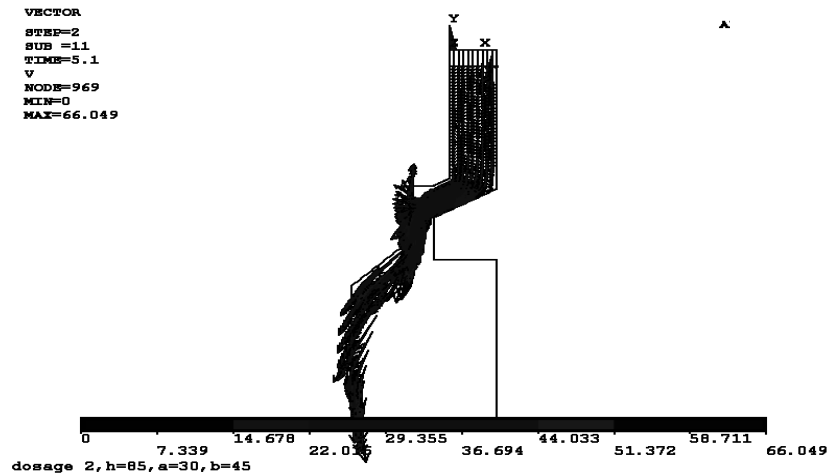


Рис. 4. Векторний розподіл швидкостей рідини при  $h = 13$  мм,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$

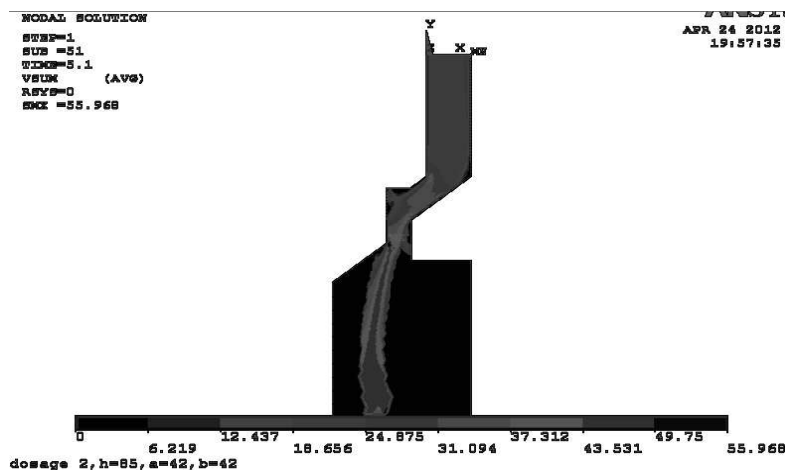


Рис. 5. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при  $h = 13$  мм,  $\alpha = 42^\circ$ ,  $\beta = 42^\circ$



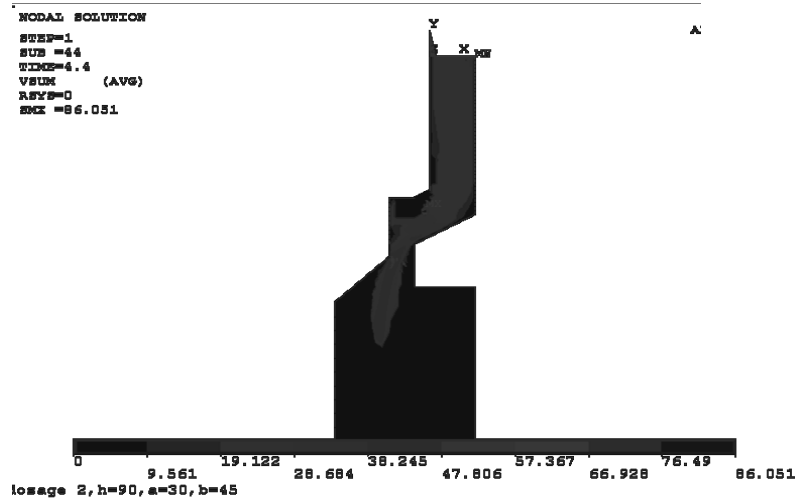


Рис. 6. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при  
 $h = 18 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$

Експерименти показали, що для гладких стінок труб при значенні числа Рейнольдса  $Re \geq 2 \cdot 10^5$  коефіцієнт опору залежить від кута повороту. Так при куті повороту  $60^\circ$  коефіцієнт опору становить 0,56, а при куті в  $45^\circ$  дорівнює 0,32.

#### Література:

1. Курочкин А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков – М.: КолосС, 2006. – 320 с.
2. Кюрчев С.В. Визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 31. – С. 212 – 220.
3. Кюрчев С.В. Чисельне моделювання процесу наповнення скляної тари харчовою рідиною / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2012. – Вип. 41. – Т.1. – С. 182 – 187.
4. Остриков А.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов; под ред. А.Н. Острикова. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с.
5. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Колос, 1992. – 399 с.
6. Басов К. А. Ansys: справочник пользователя / К. А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640с.

7. *Лавріненко Н.М.* Кінцево-елементне моделювання в інженерних розрахунках / Н.М. Лавріненко, В.О. Сукманов, А.О. Авраменко, А.І. Українець, Д.С. Афенченко, А.В. Шульга – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 668 с.

8. *Madenci E.* The finite element method and applications in engineering using ANSYS / E. Madenci, I Guven // Springer Science+Business Media, 2006. – 686 p.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ДОЗАТОРА**

Змеева И.Н.

***Аннотация*** – работа посвящена определению оптимальных параметров отдельных узлов дозатора для повышения производительности и точности процесса разлива при условии оптимального объединения технологических факторов и конструктивных параметров.

## **DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF INDIVIDUAL COMPONENTS OF THE DISPENSER**

I. Zmeyeva

### ***Summary***

**The work is devoted to determination of optimal parameters of individual components of the dispenser to improve performance and accuracy of the process bottling with the optimal combination of technological factors and structural parameters.**