

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА
УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

на правах рукопису

ЗМЄЄВА ІННА МИКОЛАЇВНА

УДК 664.002.5

**ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ТА ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
РОЗЛИВУ ОСВІТЛЕНОГО ЯБЛУЧНОГО СОКУ**

Спеціальність: 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник: доцент,
кандидат технічних наук
Кюрчев Сергій Володимирович

Мелітополь – 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Стан питання і задачі дослідження	12
1.1. Характеристики харчових рідин	12
1.2. Умови розливу харчових рідин	16
1.3. Класифікація пристроїв та методів розливу харчових рідин	18
1.4. Огляд існуючих пристроїв для розливу харчових рідин	24
1.5. Мета та задачі дослідження	40
РОЗДІЛ 2. Теоретичні основи гідродинаміки процесу розливу харчових рідин на пристроях для розливу	44
2.1. Математичне моделювання процесу наповнення скляної тари харчовою рідиною	44
2.2. Моделювання процесу заповнення банки при гравітаційному методі розливу рідини до зазначеного рівня	53
2.3. Моделювання процесу заповнення банки при гравітаційному методі розливу рідини до зазначеного рівня з урахуванням коефіцієнту витрат зливного тракту	65
2.4. Методи визначення коефіцієнту витрат зливного тракту	68
2.4.1. Визначення коефіцієнту витрат, з точки зору гідравліки, для насадок різних типів	70
2.4.2. Визначення коефіцієнту витрат методом простого додавання величин місцевих опорів	74
2.4.3. Визначення коефіцієнту витрат графоаналітичним методом	79
2.5. Падіння рідини на дно банки	81
2.6. Визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора	89
Висновки за розділом 2	97
РОЗДІЛ 3. Програма та методика експериментальних досліджень	98
3.1. Загальна методика виконання дисертаційної роботи	99
3.2. Характеристика умов проведення експериментальних досліджень	101
3.3. Технічна база для проведення експериментальних досліджень	102
3.4. Програма та методика експериментальних досліджень	105
3.5. Методика обробки експериментальних даних	113
3.6. Методика визначення продуктивності та точності дозування пристрою для розливу	114
Висновки за розділом 3	116
РОЗДІЛ 4. Результати експериментальних досліджень процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня	117
4.1. Визначення оптимальних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня	117
4.2. Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від кута нахилу направляючої	122
4.3. Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти підйому манжети	123

4.4 Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти стовпа рідини	124
Висновки за розділом 4	126
РОЗДІЛ 5. Практична реалізація результатів досліджень	127
5.1 Розробка промислового зразка пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня	127
5.2 Економічна ефективність впровадження промислового зразка для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня	132
Висновки за розділом 5	139
ВИСНОВКИ	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
ДОДАТКИ	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

h	– висота стовпа рідини, м;
P_1	– тиск газу над рідиною в витратному резервуарі, Па;
P_2	– тиск газу в тарі, Па;
ρ	– щільність рідини, кг/м ³ ;
V_x, V_y	– проекції вектора швидкості рідини, м/с;
	– задана фізична (ламінарна) в'язкість ($\mu=\text{const}$), Па·с;
	– турбулентна (вихрова) в'язкість, Па·с;
	– ефективна в'язкість, Па·с;
	– кінетична енергія турбулентності, що віднесена до одиниці маси рідини, Дж;
	– швидкість дисипації у тепло кінетичної енергії турбулентності у одиничному об'ємі рідини, м/с;
τ_H	– час наповнення банки рідиною, с;
S_H, S	– відповідно довжина кругового шляху, на якому виконується операція наповнення, та довжина кола каруселі, м;
m	– кількість розливних механізмів, шт;
H	– висоти стовпа рідини над зливним отвором насадка розливного пристрою, м;
W_p	– об'єм рідини в банці, м ³ ;
W_G	– об'єм газу, м ³ ;
Q_P	– витрата рідини, м ³ /год;
Q_G	– витрата газу, м ³ /год;
μ_p	– коефіцієнт витрати зливного насадка;
S_G	– ефективна площа поперечного перерізу каналу повітряної трубки, що відводить газ, м ² ;
S_P	– площа поперечного перерізу вихідного отвору зливного тракту, м ² ;
μ_G	– коефіцієнт витрати газового каналу, що відводить газ;
μ_c	– коефіцієнт витрати системи каналів розливного пристрою;
d_G	– діаметр газового каналу, м;
R	– гідравлічний радіус зливного каналу, м;
ν_P, ν_G	– кінематична в'язкість рідини і газу, Па·с;
Re	– число Рейнольдса;
ζ_n	– коефіцієнт місцевих опорів;
V_n	– середні швидкості руху рідини за місцевими опорами, м/с;
l	– довжина насадка, м;
δ	– товщина стінки насадка, м;
α	– кут конусності, град;
Δ	– точність дозування, %.

ВСТУП

Актуальність роботи. Динамічний розвиток харчових і консервних переробних підприємств, застосування у виробництві нових високопродуктивних ліній, розширення асортименту продукції, збільшення випуску скляної та полімерної тари потребує застосування такого фасувального обладнання, яке спроможне було б задовольняти всі вимоги виробників, що відповідають за безпеку харчових рідин, які визначають не тільки тип та вид тари, в яку фасують ці рідини, але й умови, принципи та методи фасування.

Вдосконалення фасувального обладнання повинно бути направленим на підвищення технічного рівня та якості, в тому числі на збільшення продуктивності, покращення технологічних характеристик без суттєвого збільшення затрат на виготовлення та експлуатацію.

Підвищення продуктивності за рахунок збільшення кількості розливальних механізмів не дозволяє отримати максимальну ефективність, оскільки в цьому разі збільшується маса машини та її енергоспоживання. В даний час, як в Україні так і за її межами, одним із перспективних напрямків в вдосконаленні фасувального обладнання для розливу харчових рідин, з метою збільшення продуктивності без збільшення кількості пристроїв для розливу, вбачається можливість значного підвищення ефективності виробництва.

Вагомий внесок в розвиток теорії і техніки фасувального обладнання для розливу харчових рідин зробили закордонні та вітчизняні вчені: К. Кларк, Х. Брандон, Н.Ф. Харитонов, П.Н. Галасов, С.І. Цитовський, К.П. Гетманов, І.А. Степанов, Д.А. Ярмолинський, В.Г. Студилін, Ц.Р. Зайчик, В.А. Костін, С.М. Шамшурко, О.М. Гавва та ін.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури показав, що при розробці режимів та параметрів фасувального обладнання, з метою підвищення його продуктивності, найбільш доцільно застосувати вплив технологічних та конструктивних параметрів на гідродинамічну поведінку харчової рідини в каналах даного обладнання.

Таким чином, підвищення продуктивності фасувального обладнання є актуальним і важливим, та має необхідність ґрунтовного дослідження пристроїв для фасування та дозування харчових рідин, на прикладі освітленого яблучного соку, для вдосконалення обладнання з метою збільшення продуктивності та точності процесу розливу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилась у рамках науково-дослідної роботи кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету відповідно до програми №1 науково-дослідних робіт на 2004 – 2010 роки "Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України" (підпрограма 1.6 "Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції", державний реєстраційний номер 0102U000687); на 2013 – 2014 роки "Ресурсозбереження в технологічних процесах АПК" (підпрограма 1.6 "Розробка технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції", державний реєстраційний номер 0111U002551).

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та розробка режимів і параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку.

Відповідно до цієї мети, згідно з вибраними напрямками дослідження, у процесі роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити вплив режимів роботи та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку на продуктивність процесу розливу;
- дослідити вплив режимів роботи та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку на точність процесу розливу;
- визначити оптимальні режими роботи та параметри обладнання для розливу освітленого яблучного соку, що забезпечують високу продуктивність та точність процесу розливу;

- розробити рекомендації для розрахунку і обґрунтування конструктивних рішень пристроїв для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня;
- здійснити комплекс заходів щодо впровадження результатів у виробництво і виконати оцінку техніко-економічної ефективності використання промислового зразка пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня.

Об'єктом дослідження даної роботи 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.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використані такі методи: фізичні, системного аналізу, моделювання, математично – статистичні, планування та обробки експериментальних даних із використанням комплексу ANSYS.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні та експериментальному дослідженні режимів та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку.

Уперше:

- визначено й оптимізовано вплив висоти підйому манжети відносно направляючої, висоти стовпа рідини в пристрої для розливу та кута нахилу направляючої на процес розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня;
- розроблено математичну модель процесу розливу харчової рідини для визначення продуктивності та точності процесу;
- встановлено вплив конструктивних параметрів гідравлічного тракту на продуктивність машини для розливу освітленого яблучного соку;
- встановлено закономірності змін режимів роботи та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку під впливом конструктивних параметрів та технологічних факторів;
- доведено підвищення продуктивності та точності процесу розливу за умов оптимального поєднання технологічних факторів та конструктивних параметрів гідравлічного тракту;

удосконалено:

- технологічні фактори та конструктивні параметри гідравлічного тракту обладнання для розливу освітленого яблучного соку з метою підвищення продуктивності та точності процесу розливу з врахуванням впливу висоти підйому манжети відносно направляючої, висоти стовпа рідини в пристрої для розливу та кута нахилу направляючої.

Практичне значення одержаних результатів:

- на підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначено раціональні технологічні фактори, конструктивні параметри та режими роботи за рахунок зміни висоти підйому манжети відносно направляючої, висоти стовпа рідини в пристрої для розливу та кута нахилу направляючої, з метою підвищення продуктивності обладнання для розливу;
- розроблено методику розрахунку та промисловий зразок пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня;
- проведено економічні розрахунки пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня.

Пріоритет запропонованих технічних рішень підтверджено деклараційним патентом України на винахід. Результати роботи впроваджені у ТОВ НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь Запорізької обл.) (акт від 12 грудня 2013р.), ТОВ "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області) (акт від 10 лютого 2013р.) та в навчальному процесі Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, Запорізької обл.) при викладанні дисциплін "Технологічне обладнання переробних і

харчових виробництв", "Машини, обладнання та їх використання при переробці сільськогосподарської продукції".

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, визначенні та формулюванні мети, розробці схеми досліджень, проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі та узагальненні отриманих результатів, підготовці матеріалів до публікації, впровадженні отриманих розробок у виробництво та навчальний процес.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи докладалися на: науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2001 – 2006 рр., 2008 – 2014 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції "Землеробська механіка на рубежі сторіч" (м. Мелітополь, ТДАТА, 2001р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Стан і перспективи розвитку переробної галузі АПК" (м. Мелітополь – Кирилівка, ТДАТА, 2005р.); V Міжнародному форумі молоді "Молодь та сільськогосподарська техніка в ХХІ сторіччі" (м. Харків, ХНТУСГ, 2009р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку" (м. Святогірськ, ДонНУЕТ, 2011 р.); науковій конференції викладачів і аспірантів університету за підсумками науково-дослідної роботи за 2010, 2011, 2013 рр, секція "Процеси та обладнання харчових виробництв" (м. Донецьк, ДонНУЕТ, 2011, 2012, 2014 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції "Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг" присвячена 45-річчю ХДУХТ (м. Харків, ХДУХТ, 2012р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки" (м. Кіровоград, КНТУ, 2013р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 75-річчю з дня народження ректора університету (1988 – 1991 рр.), доктора технічних наук., професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва Михайла Івановича "Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг" (м. Харків, ХДУХТ, 2013р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів "Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді" (м. Харків, ХДУХТ, 2014р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 21 наукову працю, у тому числі 13 статей у наукових фахових виданнях, 1 стаття, що входить до наукометричної бази (РИНЦ) і 6 тез доповідей та матеріалів наукових конференцій, 1 деклараційний патент України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 165 найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 165 сторінок. Обсяг основної частини роботи займає 135 сторінок друкованого тексту, де розміщено 35 рисунків та 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристики харчових рідин

Основними характеристиками харчових рідин, які підлягають розливу у тару є: в'язкість, щільність, поверхневий натяг, схильність до вспінювання та насичення газами. При виборі методу розливу та принципу дозування необхідно враховувати зазначені властивості.

Ряд дослідників присвятили свої роботи класифікації продуктів, що фасуються на фасувальному обладнанні [4, 5, 6, 35, 36, 37, 42, 48, 95, 96, 120, 127, 131, 143, 155, 156, 157]. Харчові продукти, які фасують в скляну, жерстяну, картонну, та іншу пакувальну тару, за своєю консистенцією, можна поділити на сипучі, пастоподібні, густі, в'язкі та маловязкі продукти.

До сипучих харчових продуктів відносять: какао-порошок, кава-порошок, яєчний порошок, тощо.

До пастоподібних, густих та в'язких продуктів відносять: томат-продукти; овочеві, фруктові, дитячі та дієтичні консерви; м'ясні, молочні (вязкі) продукти, а також такі продукти, як майонез, патока, тощо.

До маловязких харчових продуктів, які характеризуються питомою вагою від 0,89 до 1,035 г/см³ та коефіцієнтами вязкості $(8,2 \dots 84,0) \cdot 10^{-4}$ Па·с, відносяться [13, 20, 31, 32, 74, 83, 105, 106, 112, 132]:

1. Цільномолочні продукти – молоко, сметана, вершки, тощо.
2. Кисломолочні продукти – кефір, просто кваша, ацидофілін.
3. Безалкогольні напої та пиво – газовані і мінеральні води, квас, пиво.
4. Лікерогорілчані вироби – спирт, горілка, лікери, наливки, настоянки.
5. Виноградні та плодово-ягідні вина, що не вспінюються – столові білі та червоні марочні; вина марочні кріпленні; десертні вина марочні; столові вина ординарні; міцні вина ординарні; коньяки.
6. Шипучі вина – шампанське, сидр.
7. Сиропи та соки – фруктові та ягідні сиропи та соки; томатний сік [53].
8. Інші харчові рідини – рослинна олія, рибачий жир, оцет.

В роботах Кларка [155, 156, 157] більш точніше розглянута класифікація харчових продуктів. До малов'язких віднесені рідини з в'язкістю $(1,0 \cdot 10^{-3} \dots 1,0 \cdot 10^{-1})$ Па·с, які течуть під дією лише гравітаційних сил, тобто самопливом. Кларк зазначив, що це «тихі» рідини, які не містять газів. В'язкими, за класифікацією Кларка Кента є продукти з в'язкістю $(1,0 \cdot 10^{-1} \dots 1,0 \cdot 10^0)$ Па·с, які течуть під дією додаткових сил. Також автор зазначив, що при підвищенні температури, деякі продукти можуть переходити в клас малов'язких рідин, тобто вони лежать на границі двох класів. Це підтверджує умовність такого роду класифікації.

До класу дуже в'язких (пастоподібних) продуктів відносяться продукти з в'язкістю понад 10 Па·с, в зв'язку з цим, ці рідини потребують спеціальної розливальної техніки і технології розливу.

Шатц С.А., Шмойлова Р.А., Шобингер У. [134, 135, 136] детально зупинились на класифікації харчових рідин, оскільки фізико – механічні властивості в більшій мірі визначають вибір методів та принципів розливу харчових рідин, їх технологічні особливості. Такі фактори, як в'язкість, концентрація сухих речовин, температура рідини, схильність до вспінювання та насичення газами, поверхневий натяг впливають на процес протікання рідини в системі каналів під час розливу, тому автори відносять їх до значущих при виборі обладнання для фасування та технології. За класифікацією Кларка [155, 156, 157] щільність

не є визначаючим фактором класифікації, що, скоріше всього вірно, оскільки харчові продукти з в'язкістю, що значно відрізняється, наприклад, цільне молоко та згущене, можуть мати близькі значення щільності.

Соки часто фасують в зворотню тару. В роботах Наринияну Г.Р, Фан-Юнга А.Ф. [113, 124, 125] зазначено, що освітлені соки при протіканні практично не проявляють аномалії в'язкості і можуть бути віднесеними до ньютонівських рідин, а наявність в соках взважених часток призводить до аномалії в'язкості [74, 125, 137, 142]. Часто соки мають температурні аномалії в'язкості, а саме [125, 126] визначено, що виноградний та яблучний освітлений соки можуть мати температурні аномалії при температурі 70...75 °С. Ці аномалії можна не враховувати, оскільки розлив здійснюють при більш низьких, або більш високих температурах. Аналогічна аномалія справедлива для соку з кавуна, яка спостерігається при температурі 80 °С [125, 134, 137]. Автори пояснюють аномалії наявністю іонізованих часток, які утворюються, при вказаних температурах, силами взаємного відштовхування.

Соки характеризуються такими фізико-хімічними показниками, значення яких наведено у таблиці 1.1 [29, 108, 112, 114, 115, 118].

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні показники соків

Продукт	Температура, Т, К	Густина, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, С, Дж/(кг·К)	Теплопровідність, λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт температур, $\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	Об'ємна теплоємність, Q, кДж/(м ³ ·К)
Яблучний	254-363	1011,2-1332,9	2261-3978	0,389-0,560	11,1-16,0	—
Грушевий	293-353	—	1880-3600	0,476-0,560	—	—
Сливовий	276-353	1032,6-1062,0	—	—	—	3950
Вишневий	293-353	1011-1285	3852-4192	—	—	1947-4192
Черешневий	293-373	1052	3808-3852	0,550	13,6-13,9	—
Виноградний	273-373	1046-1290	2901-3697	0,280-0,952	11,45-18,95	—

Для прикладу приведемо данні по фізико-хімічних показників яблучного соку деяких сортів яблук в таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Фізико-хімічні показники соку яблучного, отриманого з плодів деяких сортів яблук

Вміст, %

Сорти	Розчинних сухих речовин	Загальних колоїдів	Дубильні речовини	Попіл	Лужність	Число лужності	pH	Густина, ρ , кг/м ³
Титовка	10,5	0,658	0,042	0,24	2,8	11,67	3,18	1,04
Білий зимовий кальвій	17,25	0,569	0,048	0,42	5,5	13,1	3,17	1,083
Джонатан	16,1	0,415	0,028	0,337	3,62	10,74	3,54	1,065
Золотое превосходное	20,0	0,022	0,011	0,22	2,96	13,29	3,48	1,098
Олександр	10,5	0,12	0,069	0,31	3,49	11,23	3,53	1,011
Кандиль	15,65	0,762	0,065	0,394	4,62	11,76	3,31	1,165
Обердиковий ранет	20,0	1,324	0,039	0,300	3,79	12,64	3,56	1,105
Макінтош	13,3	0,64	0,004	0,324	4,22	13,04	3,49	1,05
Жовтий бельфлер	18,82	0,937	0,013	0,503	5,44	10,82	3,20	1,09

Малов'язкі молочні продукти також можуть проявляти аномальну поведінку, але вона незначна і при інженерних розрахунках може не враховуватися, тобто їх можна вважати ньютонівськими.

З вище розглянутих систем класифікації та деяких властивостей харчових рідин можна зробити наступні висновки: більшість рідин, які розливають в тару є малов'язкими; їх можна віднести до ньютонівських.

1.2 Умови розливу харчових рідин

Розлив харчових рідин проводять двома методами: гарячим або холодним.

Гарячий розлив [85] – розлив при температурі до 85 – 90 °C, що дозволяє знищити мікроорганізми, шкідливі як для продукту, так і для здоров'я споживача. Проте, сам продукт, особливо на базі натуральних соків, може придбати "варений" присмак, що небажано для споживача.

Гарячий розлив – добре відомий і відпрацьований метод розливу сильноокислих продуктів ($pH < 4,6$), який вживається для збільшення термінів їх зберігання. В теперішній час цей метод широко використовується в харчовій індустрії для розливу в скляну, пластмасову і комбіновану тару. Цей метод застосовують після термічної обробки продуктів в трубчастих або плоских теплообмінниках в діапазоні температур 90 – 95 °C в потоці, як мінімум 15 с (зазвичай 15 – 30 с). В результаті обробки отримують "промисловий стерильний продукт", оскільки знищуються всі мікроорганізми, які здатні в ньому зростати. Продукт потім охолоджується і розливається в діапазоні температур 82 – 85 °C у ємності, які миттєво закупорюються і витримуються при цій температурі приблизно 2 – 3 хв.

При гарячому розливі стерилізується внутрішня поверхня ємності. Потім ємності охолоджуються в холодному тунелі для мінімізації термічної деградації продукту. Для деяких продуктів гарячий розлив корисний для зниження вмісту мікроорганізмів в них через відносно короткий термін зберігання в разі холодного розливу. Іншою перевагою цього процесу є зменшення в'язкості продукту при високій температурі. Проте основною метою гарячого розливу є звільнення продукту від мікроорганізмів, які зростають в ньому при зберіганні в умовах довкілля. Стерильність продуктів, отриманих при термообробці,

визначається відсутністю мікроорганізмів, що викликають хвороби, відсутністю токсичних субстанцій і мікроорганізмів, що призводять до псування продукту, здатних розмножуватися, якщо продукт не зберігати при знижених температурах. Властивості продукту в значній мірі визначатимуться чутливістю до мікробіологічного середовища. Температура і вплив води є важливими чинниками, які впливають на мікробіологічне псування продукту. Іншим чинником, що має важливе значення для зростання і виживання мікроорганізмів в продуктах, є кислотність. Низьке значення рН (висока кислотність) обмежуватиме зростання мікроорганізмів, а отже, і псування продукту. Для визначення умов процесу і можливих термінів зберігання продукту дуже важливо знати його кислотність. Продукти часто розділяють по кислотності на 2 основних групи: з високим значенням рН (4,6 або нижче) і низьким значенням рН (вище 4,6).

Існує декілька причин для класифікації за кислотністю: більшість спор бактерій, які виживають при тепловій і хімічній обробці, не зростатимуть і не розмножуватимуться при рН нижче 4,6; хвороботворна бактерія не зростатиме при рН нижче 4,6; чутливість до теплової обробки зростає при низькому значенні рН. Отже, мікробіологічні спори зазвичай не можуть бути інактивованими в сильноокислому середовищі, і ці продукти не відбиватимуться на здоров'ї людей, оскільки хвороботворні бактерії не зростатимуть і не розмножуватимуться. Проте існують деякі продукти (наприклад, томатний сік з відносно високим рН, рівним 4,1 – 4,4), які належать до групи з високим значенням рН, і в яких все-таки можливе зростання специфічних спор. Ці продукти вимагають додаткової теплової обробки і високої температури гарячого розливу, при якій вони стають стерильними. Нормальна тепла обробка відбувається при 115 – 120 °С протягом 15 – 45 с. Продукти потім охолоджуються до температури гарячого розливу 91 – 93 °С.

Зазвичай процес гарячого розливу може надійно використовуватися в рідких продуктах з рН 4,0 і нижче. Проте деякі продукти можуть бути розфасовані за допомогою стандартного процесу гарячого розливу без будь-яких модифікацій (підкислення) – це фрукти, фруктові напої, такі як різні нектари, холодний чай (за умови, що рН менше 4,0) і тоніки.

Холодний (асептичний) розлив [37] - здійснюється лише в автоматичному режимі, де повністю дотримані умови стерильності, самого процесу та матеріалів.

Холодний розлив дозволяє максимально зберегти смакові якості продукту, уникаючи теплової обробки. Тара стерилізується під час ополіскування, а під час розливу з неї виділяється повітря і нагнітається інертний газ. Перед закупорюванням в тару також подається інертний газ, щоб під пробкою не було повітря, який містить мікроорганізми. Зазвичай застосовується азот, який отримують з повітря за допомогою спеціальної установки мембранної фільтрації - генератора азоту. Азотну "подушку" створюють і в розливній ємкості блоку розливу. Це дозволяє повністю виключити контакт продукту з повітрям.

Пробки і направляючі, по яких вони подаються, а також щічки, що стискають пробку, постійно стерилізуються за допомогою електрики.

На моноблок зверху встановлюється спеціальна камера, яка оснащена повітряним фільтром. Через цей фільтр всередину постійно подається стерильне повітря, що створює в камері надлишковий тиск і перешкоджає потраплянню в зону розливу мікроорганізмів. При підготовці до розливу, моноблок стерилізується паром. Камера виконана із спеціальним скошеним верхом. Це не дає можливості конденсату пари падати в зону розливу і змушує його стікати по похилих стінках в герметичні зливні канали.

1.3 Класифікація пристроїв та методів розливу харчових рідин

Харчові рідини досить різноманітні за фізико-механічними та хімічними властивостями, тому при розливі їх в тару повинні підтримуватися зазначені умови, які гарантують збереженість специфічних властивостей того або іншого

продукту. У зв'язку з цим і обладнання для розливу, як правило, різноманітне як по технологічному принципу, так і за конструктивним рішенням.

Проаналізуємо відомі класифікації розливальних автоматів та пристроїв, розглянемо всі можливі методи розливу та виділимо найбільш прогресивні.

Класифікація проводиться по принципу дозування, методу розливу, способу формування струменя рідини, конструкції наповнювального елементу розливального пристрою, тощо.

Класифікація в якій розливальні пристрої розділені на дозуючі апарати та пристрої для розливу, наведена в роботі [120]. По конструкції дозуючі апарати поділяються на дві групи: ковшові та камерні, які в свою чергу також діляться на декілька підгруп. По змінненню об'єму дозуючі апарати діляться на дві групи: регулюючі (дозатори з приставними ємностями, з витискачами і з трубками що переміщуються, з повітряним бачком, що переміщується або корпусом дозатора); змінні. По способу перекриття потоку рідини (роз'єднання її з тарою) всі розливальні пристрої можна розділити на три групи: кранові, золотникові, клапанні. Запропонована класифікація практично не враховує особливостей гідравлічних різноманітностей розливальних пристроїв, не дає повного уявлення про характеристики методу розливу, відображаючи лише два принципи дозування: за об'ємом та до зазначеного рівня.

В роботах [102, 131] зазначено, що всі машини і автомати для розливу харчових рідин в'язкістю до 10 Па·с працюють по одному з трьох відомих методів розливу: гравітаційному, ізобарному, вакуумному. Вакуумний метод має два різновиди: перший – вакуум утворюють в пляшці та в резервуарі; другий – вакуум утворюють лише в пляшці. За першого різновиду витікання рідини відбувається самопливно, аналогічно гравітаційному та ізобаричному методам; за другого різновиду – в умовах різниці тисків, отримують більшу швидкість витікання.

Гравітаційний метод характеризується витіканням рідини з дозатора або з баку тільки в полі дії гравітаційних сил (самопливом) при нормальному атмосферному тиску. За цим методом розливають рідини, які мало піняться або не містять легколетучих компонентів.

Ізобарний метод також характеризується витіканням рідини з дозатора або розхідного баку тільки в полі дії гравітаційних сил, але при надлишковому тиску в дозаторі або розхідному баку і в тарі, яку наповнюють. За цим методом розливають рідини що піняться, або рідини, які насичені інертними газами.

Вакуумний метод характеризується витіканням рідини, як в полі дії гравітаційних сил (однакове розрідження в тарі і розхідному баку), так і при надлишковому тиску (розрідження в тарі, атмосферний тиск в наповнювачі).

Метод розливу під вакуумом має суттєві переваги порівняно з розливом при атмосферному тиску. Він дозволяє зменшити контакт продукту, що розливається, з повітрям (що особливо важливо для збереження смакових якостей молока, соків, вітамінізованих рідин, вин та інших продуктів), виключає втрати рідин через нещільності розливного пристрою та при наливанні в тару з дефектами, також забезпечує стабільний рівень рідини в тарі.

За думкою Гетманова К.П. [28], наведені назви методів не зовсім точно відображають фізичні умови розливу. Розкривши сутність методів, відмітивши схожість умов витікання при гравітаційному, ізобарному та методом витікання під вакуумом, автори [131] не пішли далі шляхом упорядкування відповідностей між витіканням рідин та назв методів. Це було зроблено пізніше [28], де на основі аналізу попередніх робіт, в тому числі і [131], була запропонована класифікація в якій умови витікання та назви методів впорядковано.

За основу класифікації [28] взято положення про те, що оскільки пристрій для розливу є визначаючим в здійсненні технологічної операції, і відноситься до категорії гідравлічних, то класифікацію необхідно проводити по методу розливу рідин в тару, а умови наповнення тари рідиною повинні визначатися, основним чином, гідравлічними факторами: гравітаційними силами, співвідношенням між атмосферним тиском та тиском в газовій порожнині тари, та в розхідному резервуарі; величинами гідравлічних опорів в рідинному та газовому трактах пристрою.

В класифікацію був введений частий випадок, коли тиск в тарі та витратному резервуарі не рівні між собою і вище атмосферного, назвавши його рівнозверхбарометричним.

Витрата рідини в тарі визначається діючим напором [28, 127]:

(1.1)

де h – висота стовпа рідини, м;

P_1 – тиск газу над рідиною в витратному резервуарі, Па;

P_2 – тиск газу в тарі, Па;

ρ – щільність рідини, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Тиск в системах розливу та атмосферний тиск пов'язані наступними залежностями:

- при гравітаційному розливі $P_1 \approx P_2 \approx P_{\text{бар}}$;
- при ізобарному розливі $P_1 \approx P_2 > P_{\text{бар}}$;
- при вакуумних методах розливу: врівноваженому $P_1 \approx P_2 < P_{\text{бар}}$ та при іншому випадку $P_2 < P_1 < P_{\text{бар}}$;

- при сифонному методі розливу $P_1 \approx P_2 < P_{\text{бар}}$.

Вираз (1.1) було прийнято [28] в якості теоретичного підґрунтя для класифікації методів розливу. Автором Костиним В.А. [61] введені нові назви методів розливу, які залежать від умов розливу.

В роботах Кларка [155, 156, 157] приводиться повна класифікація методів розливу, але в неявному вигляді, тобто наведені методи розливу, але вони не згруповані по загальних ознаках. Відмінність з відомими вітчизняними класифікаціями лише у термінології, це говорить про однакові визначаючі фактори класифікації.

Ще одна класифікація приведена в роботі [127], вона враховує методи розливу, а також конструкцію пристроїв, які перекривають потік рідини. В відмінності від класифікації [28, 120], сифонний розлив винесено в окремий метод.

В теперішній час відомі чотири принципа дозування рідин при розливі [28, 152, 156]:

- за об'ємом, коли доза продукту визначається ємністю дозуючого пристрою, наприклад, мірний стакан;

- за рівнем, коли величина дози залежить від глибини занурення в тару отвору газового каналу газовідвідної трубки;
- за часом, коли доза залежить від тривалості знаходження тари під розливальним пристроєм;
- за масою (вагою), коли зупиняється подача рідини в тару після досягнення відповідної маси.

В роботі [7, 110] на основі аналізу конструкцій та умов розливу виділені характерні особливості, які впливають на характер витікання рідини в тару. В якості цих особливостей виділені конструктивні елементи: зливний конус та наконечник, які характерні для всіх відомих конструкцій, і які, багато в чому, визначають конструкцію пристрою, метод розливу та якість наповнення тари.

Класифікація, яка наведена в [123] складена виходячи з реальних фізичних умов розливу. В ній розглянуті, як методи розливу, так і конструктивні особливості розливальних пристроїв. В класифікації розглянуті поодинокі випадки розливу: з низьким та високим вакуумом, ізобарометричний при надлишковому тиску, атмосферному тиску та при вакуумі. В даній класифікації розглянуто більше частіші випадки, ніж в [28], причому фізичні умови розливу більш конкретизовані.

На основі аналізу розглянутих класифікацій можна виділити основні ознаки, які характеризують процес та методи розливу:

- фізичні умови розливу [28, 38, 41, 58, 105, 106, 118, 123, 131, 155, 156, 157];
- принцип дозування [28, 38, 120, 123, 155, 156, 157];
- конструкція каналу, яка формує потік рідини [110,123].

Ці признаки маєть визначаючий вплив на процес розливу, інші можна розглядати як другорядні.

Для складання узагальнюючої класифікації (рис. 1.1), врахуємо основні признаки, що наведені в запропонованих класифікаціях, які характеризують процес та методи розливу.

Рис. 1.1. Класифікація наповнювачів – розливальних пристроїв.
1.4. Огляд існуючих пристроїв для розливу харчових рідин

Розглянемо та проаналізуємо пристрої для розливу, з метою виявлення основних конструктивних параметрів, які впливають на гідравлічні опори в насадках зливного та газовідвідного каналів без урахування принципу дозування та методу розливу. Особливу увагу приділимо аналізу конструктивних особливостей зливних трактів.

Як ми уже зазначили [38, 131] всі наповнювачі – розливальні пристрої можуть бути розділені на: дозуючі апарати (дозатори), які використовуються при наповненні тари за заданим об'ємом, та пристрої для розливу, які застосовують при наповненні тари до зазначеного рівня.

В дозуючому апараті відбувається відмірювання відповідного об'єму (дози) рідини перед заповненням нею тари.

Пристрій для розливу заповнює тару рідиною до зазначеного рівня, шляхом перекривання виходу повітря з тари або відсосу надлишку рідини.

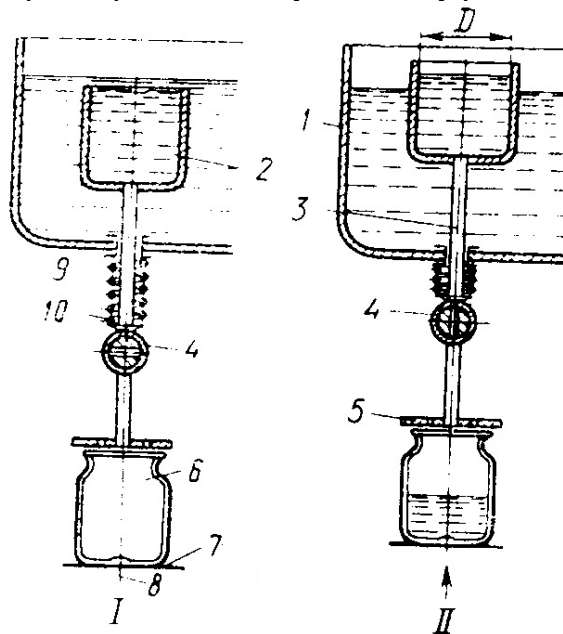


Рис. 1.2. Об'ємні дозуючі апарати (позначення у тексті).

Дозуючий апарат [7, 35, 36, 123] є об'ємним пристроєм для дозування та подачі продукту в тару (рис.1.2) представляє собою ємність 1, що заповнена рідиною, в якій встановлено декілька мірних ємностей 2, внутрішній об'єм яких дорівнює об'єму, що підлягає подачі в тару для заповнення. Пустотіла трубка 3 закінчується пробковим краном 4, під яким знаходиться верхній патрон 5. Банка 6 подається на нижній патрон 7, шток 8 якого переміщується в вертикальному напрямку. Позиція I (рис.1.2) відповідає зануренню та наповненню ємності 2 рідиною, позиція II (рис.1.2) – витіканню рідини в банку.

Сальникове ущільнення 9 запобігає протіканню рідини з ємності. При ході штоку 8 вниз мірна ємність 2 опускається пружиною 10. Поворот триходового крану з позиції "закрито" в позицію "відкрито" та в зворотньому напрямі здійснюється нерухомим упором, який відхиляє руків'я крана 4 при переміщенні його вгору або в низ.

Для нормальної роботи пристрою для розливу верхній край мірної ємності при його спустошенні повинен бути піднятий над рівнем рідини в баку на 15 – 20 мм.

Перевагами об'ємних дозуючих апаратів є [35, 36, 37, 42, 123]: простота конструкції; точність дозування в заданого об'єму рідини; простота конструкції запірного клапану у вигляді пробкового крану; можливість регулювати об'єму дозування.

Розглянуті апарати [35, 36, 37, 42, 123] мають ряд недоліків:

-знижується турбулентність потоку рідини, що впливає на швидкість витікання та збільшення піноутворення;

-рідина з резервуару не повністю зливається, необхідно використовувати зливний кран;

-для виконання нормальної роботи пристрою необхідно щоб верхній край мірної ємності, при його спустошенні, був піднятий над рівнем рідини в баку на 15...20 мм.;

-необхідна додаткова ємність, яка б виконувала роль пристрою для відмірювання заданої норми;

-через змінний рівень в дозуючій ємності – змінюється швидкість витікання рідини.

В пристрої для розливу [35, 36, 37, 42, 123], який використовують для заповнення тари до зазначеного рівня, роль ємності, яка відмірює необхідну порцію продукту, виконує сама тара.

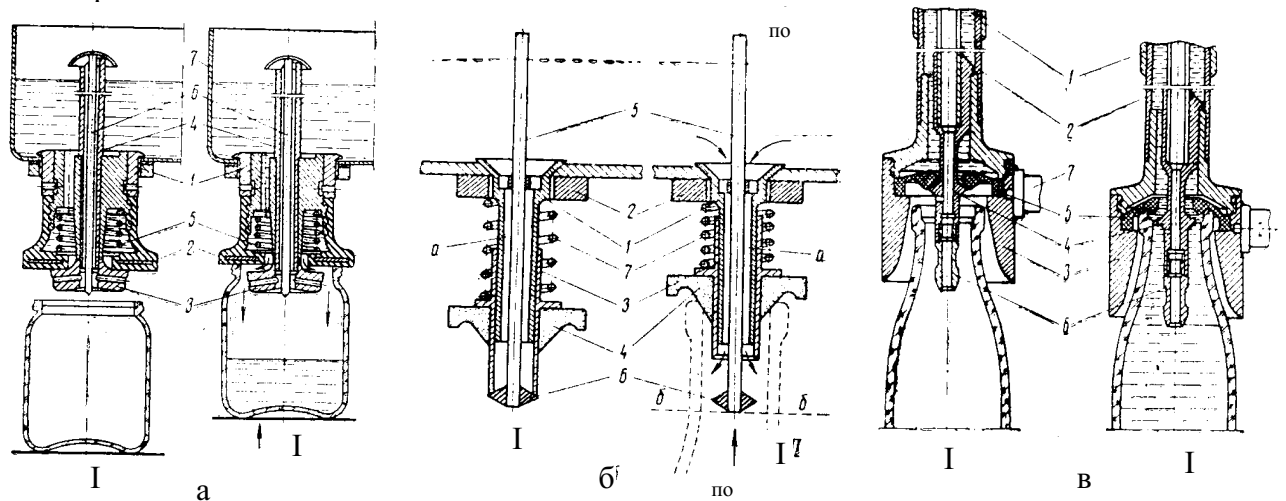


Рис. 1.3. Пристрої для дозування до зазначеного рівня (позначення у тексті).

Клапанний пристрій для розливу [35, 36, 37, 42, 123], (рис.1.3, а), представляє собою корпус 1, на який щільно насаджено гумовий патрубок 2. Нижня армована частина патрубка є клапаном, який щільно притискується пружиною 5 до нерухомого сидла – витискувача 3, нагвинченого на нижній кінець тримача 4. В деталі 3 є радіальні та аксіальні отвори для відведення повітря з тари, яку заповнюють, яке по трубці 6 потрапляє в простір над рідиною, що знаходиться в баку 7 для розливу.

Позицію I (рис. 1.3, а) банка, клапан та сідло займають перед розливом, позицію II (рис. 1.3, а) – під час розливу рідини. Кількість рідини, що потрапила в банку, а отже, і її рівень, можна регулювати зміненням об'єму нижньої частини витискача 3.

Аналогічно працює пристрій для розливу, який наповнює пляшки (рис. 1.3, б). Корпус 1 пристрою для розливу (позиція I) з'єднано з дном бачка для розливу, гайкою 2. На циліндричну частину корпуса вільно надіта втулка 3 з закріпленням на ній центратором 4 для горла пляшки. Всередині корпуса знаходиться трубка 5, що відводить повітря, на нижньому відкритому кінці якої закріплено ромбовидний клапан 6. До цього клапана пружиною 7 притискується нижній кінець втулки 3.

При підніманні пляшки нижнім патроном (позиція II) її горло впирається в центратор і піднімає його, стискаючи пружину. Клапан відходить від сідла, і по кільцевидному каналу, який утворено корпусом 1 та трубкою 5, рідина витікає з розливающего бачка в пляшку. Приблизний рівень рідини в пляшці після її наповнення показано пунктирною лінією б - б.

На (рис. 1.3, в) показано вакуумний пристрій для розливу. Якщо пляшка має щербате горло або тріщину в корпусі, то всередині пляшки не утвориться вакуум і рідина з розливающего бачка не поступить. Цим контролюють наявність дефектів пляшок.

Корпус 1 вакуумного пристрою для розливу з'єднаний з дном розливающего бачка, в якому тиск повітря над рідиною, яку розливають менший атмосферного (вакуум). Всередині корпуса знаходиться тримач 2, до нижньої частини якого прикріплено патрон для розливу. Патрон складається з конусного центратора 3 та клапана 4, до якого притискується гумове сідло 5. Трубка 6 служить для відведення повітря з тари, яку наповнюють.

Проаналізувавши пристрої для розливу [35, 36, 37, 42, 123], що заповнюють тару до зазначеного рівня, можна виділити такі переваги:

- мірна ємність розташована нижче дна резервуара, тому висота заповнення ємності завжди максимальна, як наслідок, швидкість заповнення пляшки також максимальна;
- відсутній проміжний об'єм, тому не знижується турбулентність потоку рідини, яка впливає на швидкість витікання рідини;
- можливість регулювати об'єм дозування в широких межах.

До недоліків пристроїв для розливу [35, 36, 37, 42, 87, 123], що заповнюють тару до зазначеного рівня, слід віднести:

- ускладнена конструкція запірного клапана дозатора - наповнювача;
- в місцях зношення манжет виникають підтікання, як наслідок, необхідно досить часто змінювати ущільнюючі манжети.

Згідно класифікації (рис. 1.1) дозуючі апарати поділяються на ковшеві та камерні [35, 36, 37, 42, 123], у ковшових дозаторах точність дозування залежить від діаметра циліндра дозатора. Зі збільшенням його вільна поверхня рідини збільшується, а точність дозування зменшується. Велике значення мають також швидкість і глибина занурення дозатора в рідину. При заповненні дозатора рідина, стікаючи по верхній крайці склянки, захоплює за собою повітря, насичується ним і падає на дно склянки. Надалі, при виділенні пухирців повітря з рідини, обсяг її зменшується. Щоб уникнути великого насичення рідини повітрям рекомендується відрегулювати поплавкову систему в напірному баку таким чином, щоб відстань між рівнем рідини в баку і верхнім крайом циліндра дозатора до його занурення не перевищувала 5 – 10 мм.

У камерних дозаторах [35, 36, 37, 42, 123], при заповненні дозатора, з відсіченням виходу повітря з нього, точність дозування буде залежати від діаметра циліндра дозатора, діаметра повітряної трубки і коливання рівня рідини у напірному баку. Останнє у свою чергу залежить від роботи поплавкової системи. Чуттєва робота поплавкової системи виключає різке коливання рівня рідини. Найбільш чуттєва до зміни рівня в напірному баку золотникова система.

На точність дозування впливає також тривалість заповнення дозатора. При швидкому заповненні рідиною після відсічення виходу повітря по трубці відбувається стиск повітряного простору в дозаторі, що відіб'ється також на рівні рідини в повітряній трубці.

При розливі рідини до зазначеного рівня [35, 36, 37, 42, 123], при атмосферному тиску кількість рідини, що наливають в тару визначається ємністю цієї тари та положенням отвору на газоповітряній трубці.

Крім того, так само, як і в дозаторах, воно буде залежати від коливання рівня рідини в напірному баку і тривалості заповнення тари рідиною. При розливі за рівнем під вакуумом кількість наливої в тару рідини буде також визначатися ємністю тари і положенням трубки чи отвору на ній. У цьому випадку виключається вплив коливання рівня в напірному баку, а також швидкості наповнення. У порівнянні з розливом при атмосферному тиску розлив під вакуумом забезпечує стабільний рівень рідини в тарі.

На точність і стабільність дозування при роботі автомата будуть впливати й умови експлуатації, коливання при русі чи відхилення від вертикальної осі циліндра ковшового дозатора в результаті зношування втулок направляючих; перекошення і заїдання в сальнику циліндра дозатора, у результаті чого порушується меніск рідини на крайці циліндра дозатора ; заїдання і перекоши в поплавковій системі напірного бака, що призводить до різкого коливання рівня рідини в баку, а отже й у повітряній трубці.

Недостатня герметичність повітряної трубки в камерних дозаторах також призводить до неточності дозування. При наповненні за рівнем при надлишковому тиску чи розрідженні великий вплив на зміну рівня рідини в пляшці робить недостатня герметизація разливального тракту, приладу і пляшки.

При виборі конструкції пристрою для розливу враховується ряд факторів, головними з яких є: фізико-хімічні властивості рідини, що розливається, метод розливу, точність відмірювання дози, технологічні вимоги, (схоронність продукту, виключення аерації, мінімальний контакт із частинами, що рухаються, і вузлами разливального пристрою, можливість промивання і стерилізації й ін.).

Усім цим вимогам повною мірою не відповідає жоден з описаних вище пристроїв для розливу, хоча кожен з них у визначеній мірі відбиває специфіку тієї чи іншої галузі промисловості.

Дозуючі апарати ковшового типу [14, 16, 35, 36, 37, 42, 123] конструкції П.І. Жукова, фірми "Ликвид Карбоникум", РБ для молока, НППродмаша, марки ОБР і ДА можуть бути рекомендовані для розливу грузлих рідин, та рідин що самозмашуються, (молоко, молочні продукти, рослинні масла, сиропи й ін.). У цих дозаторах ущільнення між мірною ємністю, направляючими штоками і напірним баком, досягається за допомогою сальникових лабіринтових ущільнень.

При розливі малов'язких рідин на таких дозаторах необхідно мати спеціальні сальникові ущільнення, просочені чи заправлені харчовими мастилами (в автоматі конструкції П.І. Жукова сальникове ущільнення заправляється спеціальними харчовими жирами), що викликає небажане зіткнення рідини, що розливається, як з матеріалом сальника, так і зі мастилом. Золотникова система розподілу (дозатор ОРЕ для молока) затрудняє промивання і стерилізацію дозатора.

Перевагами ковшових дозаторів є простота конструкції і, порівняно, невелика кількість деталей, що стикаються з продуктом, який розливають. Ковшові дозатори [14, 16, 35, 36, 37, 42, 123] мають велику швидкість витікання рідини при розливі, в порівнянні з камерними, оскільки, за інших рівних умов, на шляху зливного тракту зустрічається менше гідравлічних опорів.

Камерні дозатори [16, 35, 36, 37, 42–49, 123] конструкцій: Асальчука, Габриеляна, Ленінградського лікеро-горілчаного заводу, МКБспирту, "Инвеста", Фіхте-Нагема, марок АРД, РИД иВКР, ЦКБПродмаша в основному застосовуються для розливу малов'язких рідин (вино, лікеро-горілчані вироби й ін.). У цих дозаторах немає сальникових ущільнень, що дуже важливо при розливі таких рідин, як оцтова кислота, водно-спиртові розчини, різні емульсії.

У більшості дозаторів даної конструкції рідина, що зливається з дозатора, направляється в пляшку по стінці, а повітря виходить по центральній повітряній трубці. Такий розподіл потоків зменшує аерацію рідини і її піноутворення.

До недоліків камерних дозаторів [16, 35, 36, 37, 42–49, 123] відноситься, порівняно, велика кількість деталей, що стикається з продуктом який розливають. У пристроях для розливу РА, Р-6, АРВ, ВРД, "Новиссимо", "Инвеста" по зливній трубці відбувається як наповнення пляшки рідиною, так і видалення з неї газу.

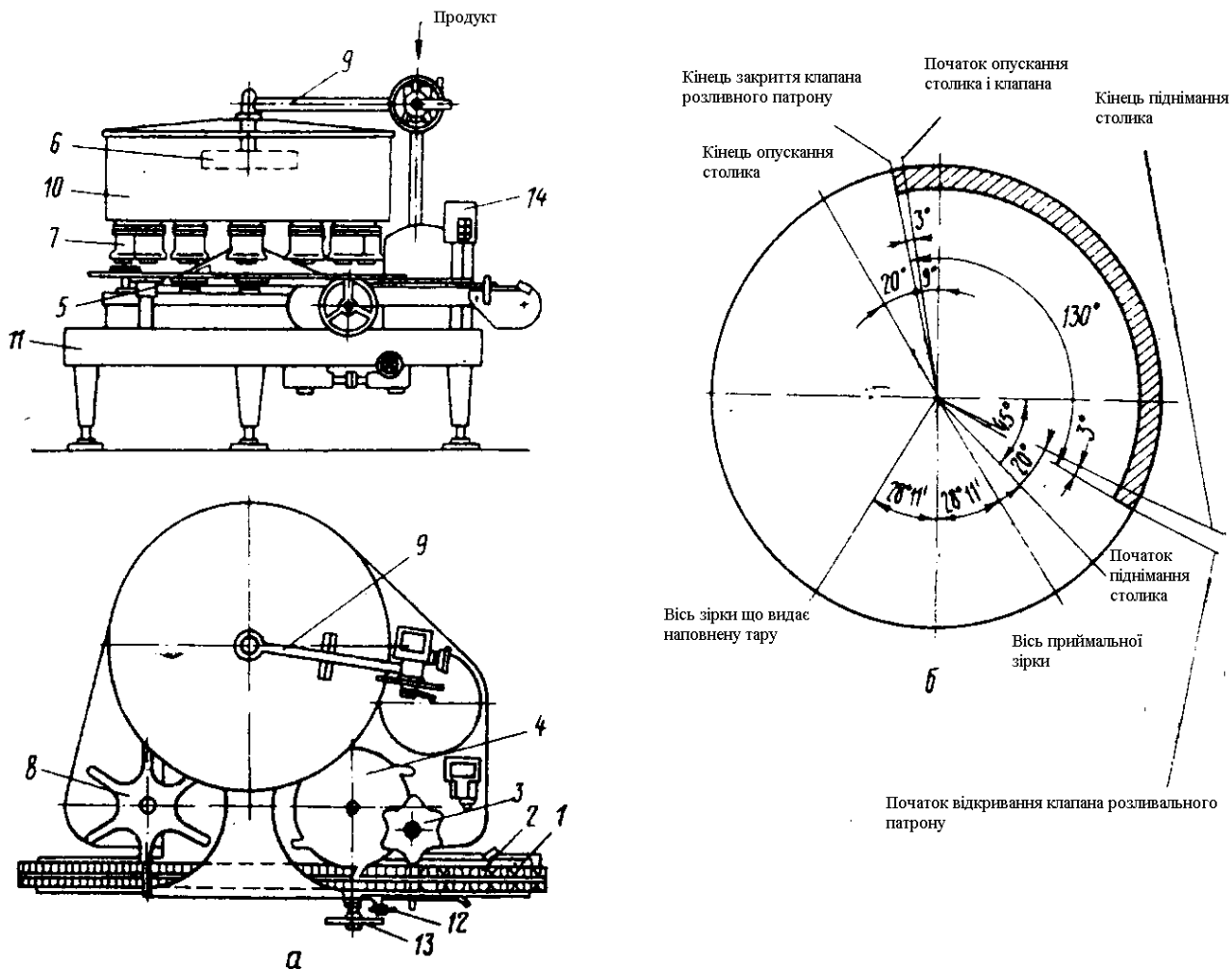
Для зменшення піноутворення рідини, трубки дозаторів для розливу, зазвичай, виготовляють подовженими, що в процесі експлуатації погіршує точність центрування пляшок, їх герметизацію, а також викликає збільшення часу на підйом і опускання пляшок.

Піноутворення продукту [28, 49, 151] при наповненні тари за допомогою пристроїв для розливу призводить, як правило, до зміни рівня наповнення пляшок. У пристроях клапанного типу фірм "Мейер – Дюмор", "Гольштейн –Капперт", "Зейтц і Шелл" рідина стікає по стінці пляшки (так названий "шатровий налив"), а газ виходить по центральній газовій трубці. Такий поділ потоків зменшує піноутворення, створює кращу герметизацію і дає більш високий ступінь надійності при експлуатації. Застосування зворотного клапана в повітряній трубці забезпечує сталість дози рідини, що зливається з неї, після наповнення пляшки.

Найкраща стабільність наповнення (мінімальні відхилення від заданого рівня) забезпечується в пристроях для розливу фірми "Ликвид Карбоникум" і в пристроях із застосуванням вакууму фірм "Юдек", "Алка", "ВРФ", тому що в цих пристроях виключається додатковий злив рідини з трубок після заповнення пляшки.

Особливе місце серед пристроїв для розливу [31, 35, 36, 37, 120, 123] мають автоматичні фасувальні машини (наповнювачі) та дозувально - наповнювальні автомати типу ДН. В сучасних автоматичних фасувальних машинах (наповнювачах) [120, 123], встановлених на консервних заводах, використовуються в основному розглянуті вище дозуючі пристрої. В консервній промисловості використовують автомати для фасування рідких, пюреподібних продуктів, а також продуктів, які складаються з двох компонентів (плоди в сиропі або зерно в заливці).

Найбільше розповсюдження в консервній промисловості знайшла автоматична багатопозиційна машина карусельного типу (рис. 1.4). Робота карусельного багатопозиційного автомату виконується в такій послідовності: тара поступає на нижній патрон каруселі, який піднімається; рідина надходить в тару; нижній патрон опускається; наповнена тара пересувається до вивідної зірки та видаляється із автомата.



а – загальний вигляд; б – циклограма

1 – пластинчатий транспортер; 2 – банка; 3 – дистанційна зірка; 4 – приймальна зірка; 5 – нижні патрони; 6 – регулятор рівня; 7 – пристрої для розливу; 8 – вивідна зірка; 9 – трубопровід; 10 – бак; 11 – станина; 12 – штурвал варіатора; 13 – штурвал для повертання машини вручну; 14 – щиток електроуправління.

Рис. 1.4. Карусельний багатопозиційний автомат

Наповнювальні та дозувально – наповнювальні автомати типу ДН [31, 35, 36, 37, 120, 123] застосовують для фасування гомогенних продуктів. Номенклатура продуктів, які можуть фасуватися в банки на наповнювальних та дозувально – наповнювальних автоматах, наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Номенклатура продуктів для наповнювальних автоматів типу ДН

Тип автомату	Продукти	
	Основні	Додаткові
ДН 1	Сиропи для компотів. Маринадні заливки. Томатні заливки (до 12 % сухих речовин). Фруктові, ягідні, овочеві соки.	Соки з м'якоттю – фруктові, ягідні та овочеві. Рослинні масла.
ДН 2	Фруктові та овочеві пюре (зверх 12 % сухих речовин). Рослинні масла.	Фруктові соуси (до 23 % сухих речовин). Томатні соуси (до 23 % сухих речовин). Згущені молочні продукти (молоко, кава, какао).

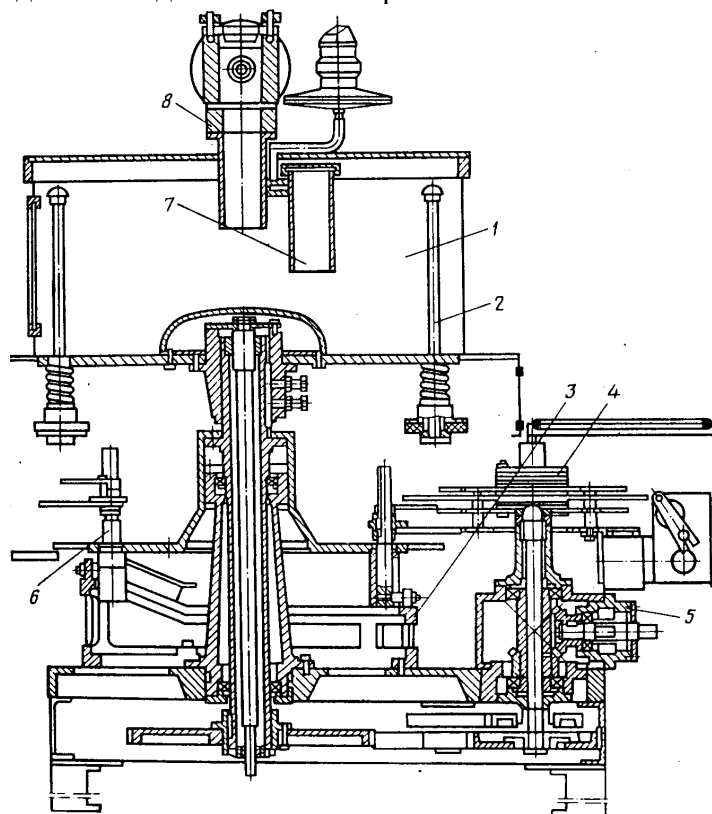
		Майонез. М'ясний паштет.
ДН 3	Фруктові соуси (до 23 % сухих речовин). Томатні соуси (до 23 % сухих речовин). Згущені молочні продукти (молоко, кава, какао). Майонез. Томатна паста та концентрований томатний сік (до 40 % сухих речовин). Томатне пюре. Овочева ікра.	Повидло та джем в гарячому стані, які можуть текти. М'ясний паштет.

Автомат наповнювальний ДН 1 (рис. 1.5) призначений для заповнення вільного об'єму циліндричних консервних банок рідкими харчовими продуктами в'язкістю до 0,4 Нс/м². Згідно з ГОСТом автомати випускаються у наступних конструктивних виконаннях:

0 – для автономної експлуатації, має власний привід, транспортери подачі та видачі банок;

1 – для агрегування з закатувальними машинами і не має власного приводу та транспортера видачі банок;

2 – для автономної експлуатації і має власний привід, транспортери подачі та видачі банок та змінне передаточне відношення шестерень.



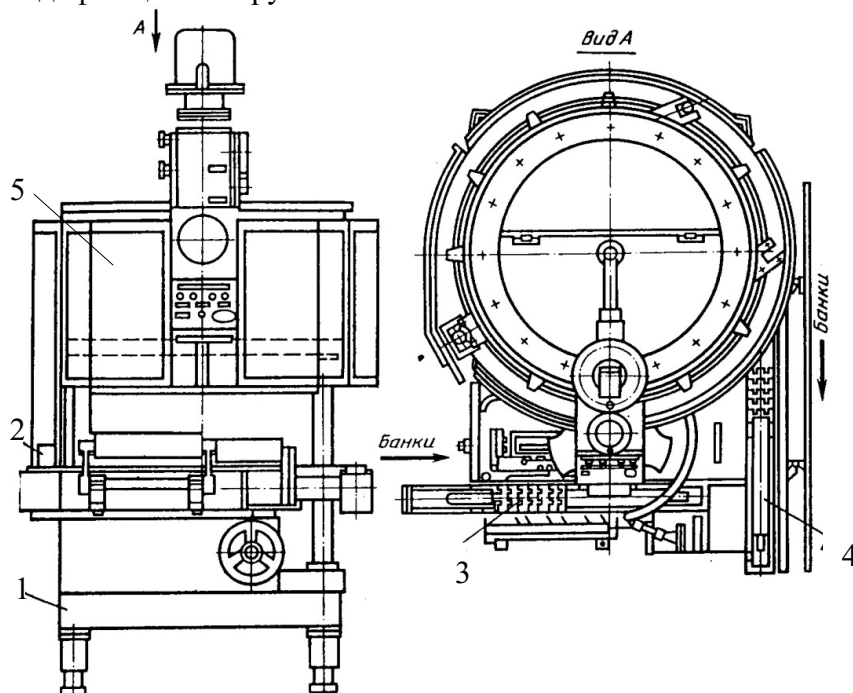
- 1 – продуктивний бак; 2 – дозуючий пристрій; 3 – копір; 4 – механізм приймання; 5 – привід; 6 – столик; 7 – регулятор подачі продукту;
8 – продуктопровід.

Рис. 1.5. Наповнювальний автомат ДН 1.

Пусті банки надходять на конвеєр приймального пристрою і подаються до шнека, який ділить їх по кроку, та передає на приймальну зірку, з якої банки поступають на столики каруселі. При обертанні каруселі столики разом з банкою піднімаються по копіру і банка, впираючись в корпус патрона дозуючого пристрою, піднімає його. При спусканні банки

припиняється подача продукту. Наповнена банка передається на конвеєр видачі банок.

Автомат наповнювальний ДН 2 (рис. 1.6) призначений для об'ємного дозування та наповнення циліндричних консервних банок харчовими продуктами в'язкістю від 0,4 до 3,0 Нс/м². Модифікації конструктивного виконання аналогічні автоматом типу ДН 1.



1 – станина; 2 – карусель з дозаторами; 3 – механізм приймання банок;
4 – механізм видачі банок; 5 – продуктивний бак

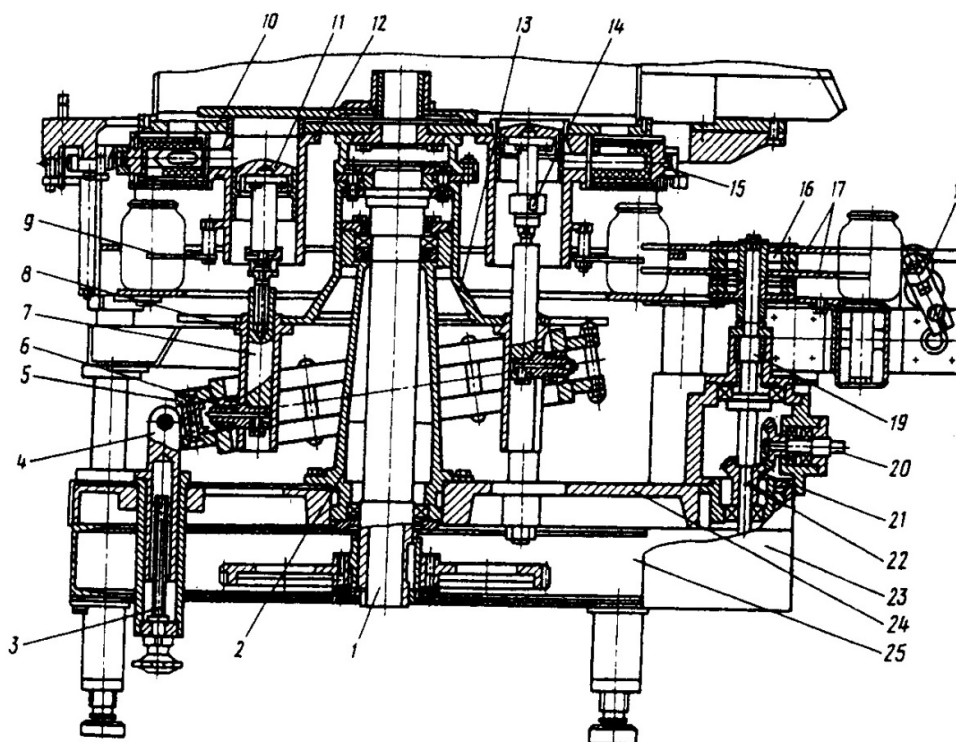
Рис. 1.6. Автомат наповнювальний ДН 2

Основною відмінністю, що відрізняє автомати ДН 2 від автоматів ДН 1 є примусова подача продукту в банку при допомозі поршнів, рух яких керується копиром.

Пусті банки поступають на конвеєр приймального пристрою і подаються до шнека, який ділить їх потік по кроку та передає на приймальну зірку. Зіркою банки встановлюються під дозатори і, зберігаючи своє положення під ними, переміщуються при обертанні каруселі. При русі поршня копиром вгору відбувається подача продукту з бака в дозатор, при переміщенні вниз доза продукту поступає в банку. При відсутності банки поршнем повертається в бак. Керування подачею продукту в банку здійснюється клапаном, важіль якого повертається наповненою банкою.

Наповнена банка вивідною зіркою передається на конвеєр, що відводить.

Автомат наповнювальний ДН 3 (рис. 1.7) призначений для об'ємного дозування та наповнення скляних та металевих банок пастоподібними харчовими продуктами в'язкістю від 3,0 до 8,0 Нс/м². Модифікації конструктивних виконань автоматів ДН 3 аналогічні автоматом як ДН 1 і ДН 2.



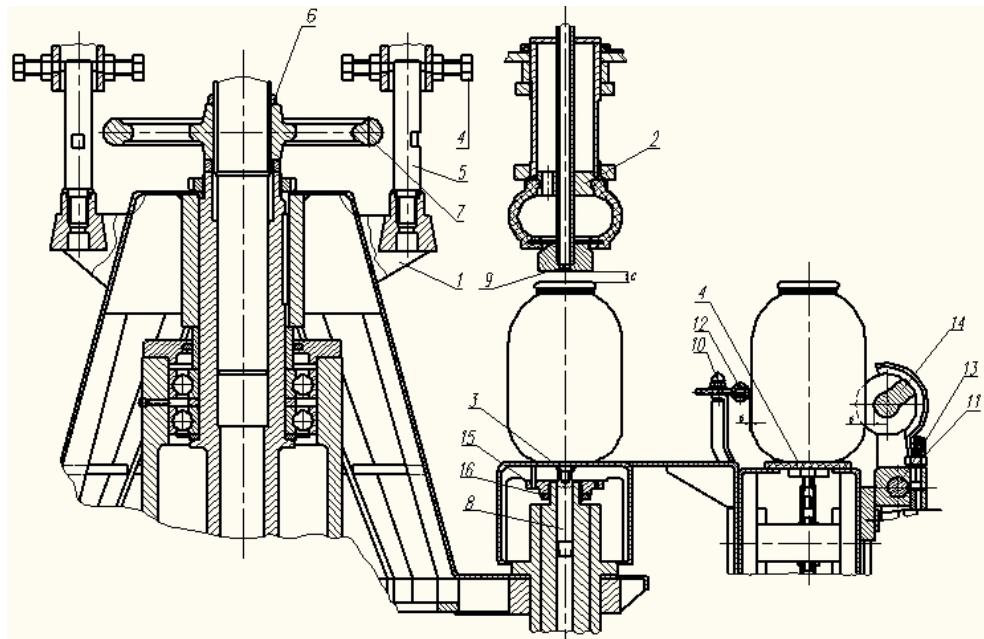
1 – вал; 2 – карусель; 3 – регулювальний гвинт; 4 – шток; 5 – копір;
 6 – шток; 7 – привід; 8 – корпус; 9 – вилка; 10 – фланець; 11 – поршень;
 12 – дозатор; 13 – стіл; 14 – заціпка; 15 – пробка; 16 – дистанційні кільця; 17 –
 транспортуючі зірки; 18 – привід механізму приймання; 19 – вал; 20 – вал відбирання
 потужності; 21 – конічний редуктор; 22 – пустотілий шліцевий вал; 23 – станина; 24 – плита;
 25 – зварна рама

Рис. 1.7. Наповнювальний автомат ДН 3

Основним відрізняючим вузлом даного типу наповнювачів є дозатор. Він призначений для дозування по об'єму та видачі зформованої дози в банку. Доза продукту формується при ході поршня вниз. При цьому отвір в дні бака відкрито і продукт вільно потрапляє в надпоршневий простір. Поршень переміщується при допомозі привода, який має шток з роликом, він, обкачуючись по копіру, переміщує шток вгору або вниз. Видача дози в банку відбувається при русі поршня вгору. При цьому клапан повертається блокуючим пристроєм. При відсутності банки блокуючий пристрій не повертає клапан і продукт при рухові поршня вгору повертається назад у бак. Принцип роботи автомата ДН 3 такий самий, як у автомата ДН 2.

Не останнє місце в цій групі машин займає наповнювальний автомат Ш18 – КНБ призначений для заповнення консервних банок ємністю 2000 та 3000 см³ томатним, фруктовим та ягідним соками з м'якоттю та без м'якоті і маринадною заливкою.

Складається із слідуєчих вузлів (рис. 1.8): каруселі; транспортера; бака з дозаторами; зірочок що подають та відводять; механізму регулювання рівня продукту; електрообладнання. Всі вузли закріплені на чавунній литій станині.



- 1 – карусель; 2 – дозуючий пристрій; 3 – стіл для піднімання; 4 – транспортер;
 5 – стопорні шпильки; 6 – гайка; 7 – штурвал; 8 – вертикальна вісь;
 9, 12 – напрямна; 10 – ковпачкова гайка; 11 – болт; 13 – вісь; 14 – шнек;
 15 – втулка; 16 – гайка

Рис. 1.8 Наповнювальний автомат Ш-18 КНБ

Транспортер 4 для подачі та відводу банок, пластили якого виконані з поліетилену, приводяться в дію через ланцюгову передачу від вала зірки що відводить.

Карусель 1 представляє собою литу чавунну деталь, яка жорстко закріплена на валу колони. На каруселі є вісім отворів, в які посаджені напрямні гільзи. В них рухаються штоки піднімальних столиків. Піднімання та опускання столиків здійснюється від копіра через два центрально встановлених ролика. Положення столиків по висоті регулюють за допомогою різьбового з'єднання.

Бак з дозатором є циліндричним резервуаром з нержавіючої сталі, в дні якого є вісім отворів для встановлення дозуючих пристроїв 2. В верхній частині бака передбачені чотири переливних вікна з патрубками для зливу продукту в жолоб, призначений для підтримання рівня соку при гарячому розливі і який представляє собою кільцеподібний короб з перепускними отворами, який кріпиться до баку.

Об'ємний дозатор – циліндрична замкнута ємність, в нижній частині якої є отвори, що з'єднують дозатор з пустотілистю вала. З низу до дозатора прикріплена напрямна гільза, в якій переміщується пустотілий золотник з перегородкою. До останньої прикріплена центральна повітревідвідна трубка. В верхній частині дозатора встановлена трубка, яка має можливість переміщатися вертикально при регулюванні об'єму. Дозатор заповнюється соком до тих пір, поки нижній обріз верхньої трубки не перекриється соком і не препиниться вихід повітря з камери.

Банки з технологічного транспортера 4 подаються до транспортера автомата, на якому розділяються за кроком і подаються в гніздо зірки, що подає. Остання переводить банки на піднімальні столики 3 каруселі, що обертається. При обертанні каруселі ролик штока піднімального столика 3 набігає на похилу частину копіра і банка піднімається, впираючись торцем горловини в гумову манжету насадки дозатора. Одночасно з цим починається підняття золотника, який спочатку перекриває отвори, що з'єднують дозатор з баком, а потім відкриває отвори, що з'єднують дозатор з банкою - починається наповнення. При подальшому обертанні каруселі після наповнення банки соком нижній ролик штока набігає на похилу поверхню копіра. При цьому починають опускатися банки і золотник, який перекриває отвори, що з'єднують дозатор з банкою, відкриває отвори, що з'єднують бак з

дозатором - відбувається наповнення дозатора. Після того як столик, що піднімає банки опуститься в вихідну позицію, зірка, що відводить підхоплює заповнену банку і встановлює на транспортер, який передає її далі на технологічний транспортер до закатувальної машини.

Таблиця 1.4

Технічна характеристика наповнювальних автоматів ДН1

Показники	ДН1-1-250-1	ДН1-1-250-2	ДН1-3-63-1	ДН1-3-63	ДН1-3-63-2
Продуктивність при безступінчастому регулюванні, банок/хв.	160...320	80... 160	40...80	40...80	20...40
Встановлена потужність, кВт	1, 0	1, 1	1, 1	1,1	1,1
Типорозмір оброблюваних банок :					
- скляних	1-58-200, 1-68-350	1-82-650, 1-82-500, 1-82-800, 1-82-1000	1-82-800, 1-82-3000,	1-82-1000, 1-82-3000,	1-82-2000
- металевих	№ 3; 5; 6;8;	9; 12; 13;22	№ 13;14	№ 13;14	№ 13;14
Різниця рівня продукту у банках при наповненні, мм	3	3	3	3	3
Число дозаторів	16	16	10	10	10
Габаритні розміри, мм					
довжина	1250	1350	250	1350	1350
ширина	1700	1700	1700	1700	1700
висота	1800	1800	1900	1890	1890
Маса, кг	1130	1210	1230	1210	1210

1.5. Мета та задачі дослідження

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 стислі 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 ненайголовнішими критеріями є їх надійність, висока продуктивність і доступна ціна. Серед провідних фірм, що мають багаторічний досвід у випуску обладнання для розливу харчових продуктів і входять до сфери діяльності Міністерства промислової політики України, слід виокремити ТОВ НПО "Укрхімпроммаш", м. Мелітополь, Запорізької області, – обладнання для розливу та пакування різноманітних харчових рідин (лікєро-горілочаних, шампанського, винопродукції, пиво-безалкогольних, молочних, соків, сиропів, оцту). За надійністю і продуктивністю ці вітчизняні лінії не поступаються закордонним аналогам і водночас значно дешевші [49, 123].

В останні десять років до розв'язання проблем харчової промисловості підключилися підприємства ВПК по лінії конверсії, які, маючи потужну технічну та виробничу базу, у стислий термін налагодили виробництво обладнання для харчової та переробної промисловості, яке раніше в Україні не виробляли і завозили як імпорт. Серед флагманів вітчизняної індустрії, які випускають окремі види обладнання цього напрямку, слід виокремити такі: ВАТ "НВО Етал", м. Олександрія, Кіровоградської обл., – автомати фасування харчових продуктів та багато інших підприємств [21, 22].

Поряд з перерахованими підприємствами слід звернути особливу увагу на велику кількість малих підприємств з недержавною формою власності. Це різноманітні малі колективні, приватні і спільні підприємства, товариства з обмеженою відповідальністю, фірми тощо, які здійснюють свою діяльність на основі приватного, колективного чи закордонного капіталу. Такі підприємства у стислий термін адаптувалися у ринковому середовищі України, оперативно реагують на зміни вимог ринку і здебільшого випускають продукцію на потрібному рівні. Серед таких малих підприємств слід відзначити: ВП "Консервмашсистема", м. Сімферополь, – фасувально-пакувальне обладнання; ВК "Надія", м. Черкаси, – фасувально-пакувальне обладнання, етикетувальні машини, лінії виробництва морозива; МП "Ковчег", м. Київ, – термопакувальне обладнання; ЗАТ "Ранок-92", м. Київ, – міні-пивзаводи; НВП "Інтермаш", м. Київ, – фасувально-пакувальне обладнання; ТОВ "Ело Пак", м. Київ, – фасувально-пакувальне обладнання, обладнання для вакуумної та газової упаковки тощо.

Випуском нового обладнання для харчової, переробної промисловості займається ряд підприємств, серед них: ТОВ НПО "Укрхімпроммаш", фірма "Украгропак", "ВНДІхімпроект", тощо.

Підвищення продуктивності розливного (фасувального) обладнання простим збільшенням кількості розливних механізмів не дозволяє 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.

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).

Як встановлено в розділі 1.1. малов'язкі харчові рідини відносяться до ньютонівських, у яких не ньютонівські властивості, практично не проявляються. Тому будемо розглядати харчові рідини (соки) як ньютонівські.

Соки розливають застосовуючи гравітаційний метод з принципами дозування, як по об'єму так і до зазначеного рівня. Обмежимося розглядом лише одного, з вище вказаних

принципів дозування – дозування до зазначеного рівня. Згідно аналізу конструкцій гідравлічних трактів: зливного та газовідвідного, а також способів утворення струменя під час витікання з дозатора, зупинимось на найвживанішому фасувальному пристрої клапанного типу з формуванням струменя витікання рідини – шатром.

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.

Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та розробка режимів та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку.

Відповідно до цієї мети, згідно з вибраними напрямками дослідження, у процесі роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити вплив режимів роботи та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку на продуктивність процесу розливу;
- дослідити вплив режимів роботи та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку на точність процесу розливу;
- визначити оптимальні режими роботи та параметри обладнання для розливу освітленого яблучного соку, що забезпечують високу продуктивність та точність процесу розливу;
- розробити рекомендації для розрахунку і обґрунтування конструктивних рішень пристроїв для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня;
- здійснити комплекс заходів щодо впровадження результатів у виробництво і виконати оцінку техніко-економічної ефективності використання промислового зразка пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ РОЗЛИВУ ХАРЧОВИХ РІДИН НА ПРИСТРОЯХ ДЛЯ РОЗЛИВУ

2.1 Математичне моделювання процесу наповнення скляної тари харчовою рідиною

Для створення високопродуктивного розливного устаткування необхідне подальше як теоретичне, так і експериментальне дослідження гідравлічних характеристик розливного обладнання та процесу розливу в цілому [15, 17, 23, 24, 25, 28, 43, 44, 55, 62, 63, 65, 76, 77, 110, 120, 127, 128, 131, 133]. В основу сучасних методів розрахунку процесу фасування та фасувальних машин лягли результати досліджень, що проводилися Н.Ф. Харитоновим, П.Н. Галасовим, С.І. Цитовським, К.П. Гетмановим, І.А. Степановим, Д.А. Ярмолинським, В.Г. Студиліним, Ц.Р. Зайчиком, Х. Брандоном, К. Кларком. Частіше всього досліджувалися процеси фасування вин, як найбільш складні, що пов'язано з фізико-механічними властивостями продукту та вимогами, що висуваються до його фасування [28, 42-49, 110, 120, 127, 128, 131, 149-157]. Менше уваги приділялося дослідженням процесу фасування соків.

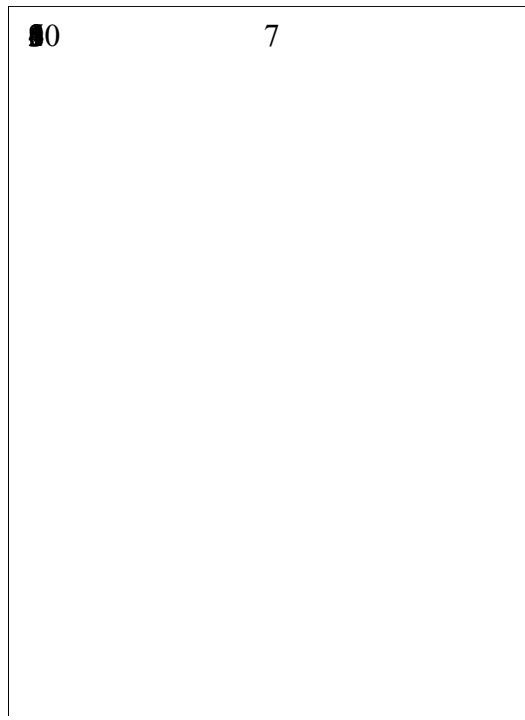
Важливим параметром, що визначає основні розрахункові характеристики фасувальних машин є продуктивність, яка залежить від кінематики механізмів, гідравлічних параметрів системи, конструктивних елементів. Гідродинамічні особливості протікання рідких харчових продуктів через насадки вивчалися у роботах А.Д. Альтшуля, Е.З. Геллера, Ю.А. Скобельцина та інш.

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

У поточний період значно виросла увага до чисельних методів у гідродинаміці, які дозволяють напряду 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.

Становлення обчислювальної гідродинаміки проходило на основі невеликої групи методів, які базувались на кінцево-різницевій апроксимації. Ці методи застосовувались для розв'язування так званих укорочених рівнянь динаміки рідини. В подальшому розвиток відбувався у напрямку розширення та поглиблення гідродинамічного опису явищ із використанням більш повних рівнянь та застосуванням для їх рішення не тільки кінцево-різницевих, а й інтегральних методів нев'язок. У 80-ті роки розробляється тактика та стратегія чисельного розв'язування нелінійних систем транспортних рівнянь: використання псевдо стаціонарних підходів до розв'язування стаціонарних задач; практичне застосування та удосконалення методів розщеплення як по залежним фізичним змінним (проекційні методи), так і по просторовим незалежним (методи ADI): розробка та застосування схем "проти потоку" з метою забезпечення стійкості чисельного розрахунку; застосування рознесених сіток для зменшення просторових флуктуацій тиску; оптимізація етапів глобальної ітерації на основі окремого рішення системи рівнянь для кожної залежної змінної (використання паралельних обчислень на багатопроекторних системах).

Розробка та удосконалення прикладної методології, а також прогрес у обчислювальній техніці привели до підвищення ефективності алгоритмів та до створення прикладних газодинамічних пакетів, що базуються на прямому розв'язуванні рівнянь динаміки в'язкої рідини. Можливості найбільш потужних гідродинамічних пакетів (ANSYS FLOTTRAN, ANSYS CFX, STAR CD) [12] дозволяють розв'язувати задачі, пов'язані з ламінарними та турбулентними течіями рідин, що стискаються та не стискаються, у тому числі враховуючи теплообмін; з течіями середовищ з поверхнями розподілу; течіями



гетерогенних та неньтоновських рідин і т.д.

Метою цього розділу є аналіз гідродинамічної поведінки харчової рідини на основі чисельного моделювання процесу розливання харчової рідини в тару. Будемо розглядати тільки малов'язкі харчові рідини, які з достатньою точністю можна вважати ньютонівськими. У якості базового для дослідження вибрано гравітаційний метод розливу, спосіб формування струменя - “шатром” [70].

Розглянемо роботу дозувального вузла фасувального пристрою для розливу харчових рідин на прикладі фасування соку у скляні банки.

Принцип роботи фасувального пристрою з дозатором [34] (показано на рис. 2.1), що дозує рідину за заданим рівнем, полягає у наступному:

- сік при температурі гарячого розливу подається у бак 1, у дні якого встановлено розливальний патрон 2 для розливу рідини за рівнем (дозатор);
- одиниця тари за допомогою піднімального стола 5 піднімається до патрону для розливу 2, торець банки впирається в гумову манжету, стискає її та відкриває циліндричну щілину, через яку рідина із резервуару заповнює вільний простір тари;
- банка заповнюється рідиною до визначеного рівня; при розливі у розливному патроні утворюється плоске кільце між бічною поверхнею ущільнюючої манжети і конічною поверхнею направляючої, що спричиняє плоске шатрове витікання рідини; повітря, що знаходиться у банці, та піна рідини, яка утворюється при заповненні банки, через повітряну трубку надходять у бак;
- після заповнення тари стіл опускається до крайнього нижнього положення, при цьому стиснута манжета повертається до попереднього стану та перекриває подачу рідини.

Температура рідини в баку фіксується за допомогою потенціометра КСП1-ПЗ, а у місці її витікання з дозатора у банку та у самій банці – за допомогою цифрового приладу 2TPM1.

Процес заповнення банки харчовою рідиною є настільки складним, що детально описати його можна або за допомогою феноменологічної теорії або використовуючи чисельне моделювання. Промодельємо цей процес за допомогою FLOTRAN CFD (Computational Fluid Dynamics) аналізу програмного комплексу ANSYS [43, 103].

1 - бак, 2 - розливальний патрон, 3 - опори, 4 - підтримуюча пластина, 5 - механізм піднімання та опускання тари, 6 - потенціометр марки КСП1-ПЗ, 7 - секундомір СП-15, 8 - нагрівальний пристрій, 9 - двоканальний цифровий прилад 2TPM1, 10- станина

Рис. 2.1. Фасувальний пристрій з дозатором

Будемо вважати, що рідина при течії не стискається, має вагу, а режим течії – турбулентний, нестационарний. Для замикання рівнянь турбулентності течії рідини використаємо RNG – модель турбулентності.

При використанні - моделі турбулентності математична модель течії рідини має вид:

$$(2.1)$$

$$,(2.2)$$

$$,(2.3)$$

$$,(2.4)$$

$$(2.5)$$

.3

$$(2.6)$$

$$(2.7)$$

де ρ – густина рідини ($\rho = \text{const}$), кг/м³;

V_x, V_y – проекції вектора швидкості рідини,

– прискорення вільного падіння, м/с²;

– тиск у рідині, Па;

– задана фізична (ламінарна) в'язкість ($\mu = \text{const}$), Па·с;

– турбулентна (вихрова) в'язкість, Па·с, ;

– ефективна в'язкість, Па·с, ;

– кінетична енергія турбулентності, що віднесена до одиниці маси рідини,

– швидкість дисипації у тепло кінетичної енергії турбулентності у одиничному об'ємі рідини,

$C_\mu, C_{1\varepsilon}, C_2, \sigma_\varepsilon$ – емпіричні константи моделі, $C_\mu = 0,085$,

.3

$$C_2 = 1,68, \sigma_\varepsilon = 0,72.$$

Специфіка задач гідродинаміки течії з вільною границею полягає у завданні граничних умов на невідомій до знаходження рішення задачі границі розподілу середовищ з різною густиною: кінематичних та динамічних

граничних умов. Якщо – рівняння вільної поверхні, то кінематична гранична умова має вид

(2.8)

Рівняння (2.8) означає, що частинка рідини, що потрапила на вільну поверхню, залишиться на ній при своєму подальшому русі. Динамічна гранична умова має вид

на (2.9)

та відповідає неперервності тиску при переході через вільну поверхню.

На нерухомих твердих стінках банки та направляючої в кожен момент часу повинна виконуватись умова прилипання

(2.10)

Течія рідини нестационарна, тому окрім граничних умов необхідно задати початкові умови: початкові умови для приймемо тривіальними.

Використаємо кінцевий елемент FLUID141 для моделювання нестационарного процесу, що описує динаміку об'єму текучого середовища. Цей елемент має 4 вузли та характеризується такими ступенями свободи у кожному вузлі – VX, VY, VZ (компоненти швидкості у X, Y, Z – напрямках), PRES (відносний тиск), TEMP (температура), ENKE (кінетична енергія турбулентності), ENDS (коефіцієнт дисипації кінетичної енергії турбулентності). Якщо матеріальний номер кінцевого елемента FLUID141 дорівнює одиниці, то цей елемент відповідає елементу, заповненому рідиною, якщо більше одиниці – незаповненому рідиною елементу.

Для виконання аналізу об'єму текучого середовища (VOF) використовується алгоритм адвекції для об'ємної фракції (VFRC). Значення VFRC для кожного кінцевого елемента змінюється від нуля до одиниці, де нуль означає, що елемент пустий (не зайнятий рідиною), а одиниця означає повний (зайнятий рідиною) елемент. Значення між нулем і одиницею означає, що відповідні кінцеві елементи частково заповнені. Таким чином, вільна поверхня рідини визначається розподілом VFRC поля та описується диференціальним рівнянням у частинних похідних (2.8).

Метод VOF дозволяє відслідковувати зміну площі вільної поверхні рідини в часі, тому необхідно активізувати нестационарний аналіз. При виконанні VOF аналізу густина рідини

вважається постійною, тому закон збереження маси еквівалентний до закону збереження загального об'єму (загальної площі – у двовимірному випадку) рідини. Для розрахунку використаємо стандартну – турбулентну модель, оскільки форма вільної поверхні не є чутливою до виду турбулентної моделі, яка застосовується.

Оскільки вихідна задача вісесиметрична, то можна розглядати як вісесиметричну, так і двовимірну модель наповнення скляної тари. На рис. 2.2 показана двовимірна кінцево-елементна модель скляної банки [71].

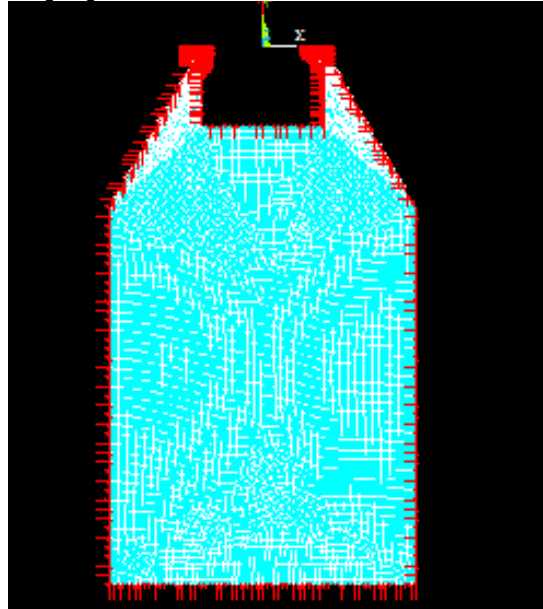


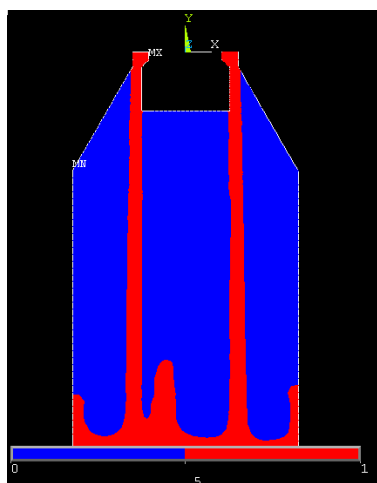
Рис. 2.2. Кінцево-елементна модель скляної банки.

Для однозначного розв'язання нестационарної задачі необхідно задати початкові та граничні умови. При розливі у розливальному патроні утворюється плоске кільце між бічною поверхнею ущільнюючої манжети і конічною поверхнею направляючої. На цьому

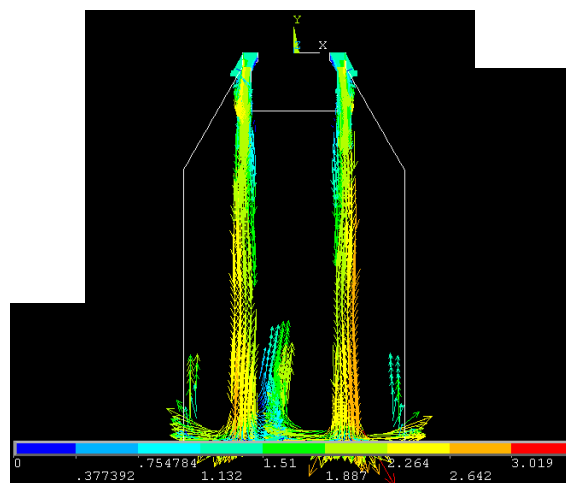
кільці швидкість соку, що розливається, становить V_{FRC} , а також $V_{FRC}=1$, $Wetting\ status=1$. На внутрішній поверхні скляної банки та направляючої швидкість рідини дорівнює нулю,

В результаті проведення нестационарного аналізу отримуємо розподіл об'ємної фракції та розподіл поля швидкостей рідини у довільний момент часу наповнення банки. Час заповнення банки становить $t\ 1,35c..$

З рисунків 2.3 – 2.6 випливає, що рідина, стікаючи по верхній крайці скляної банки, захоплює за собою повітря, насичується ним і падає на дно банки. Надалі, при виділенні бульбашок повітря з рідини, обсяг її зменшується.

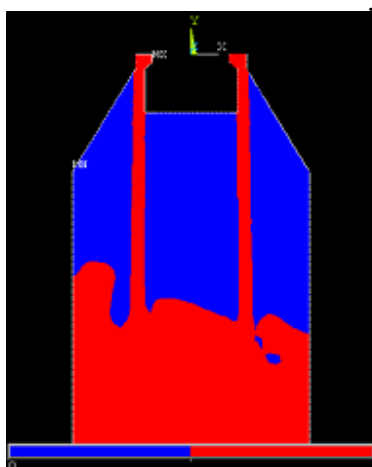


а

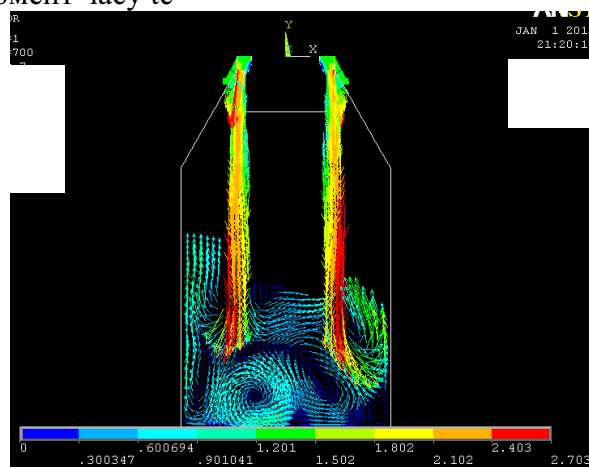


б

Рис. 2.3. Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу t_c

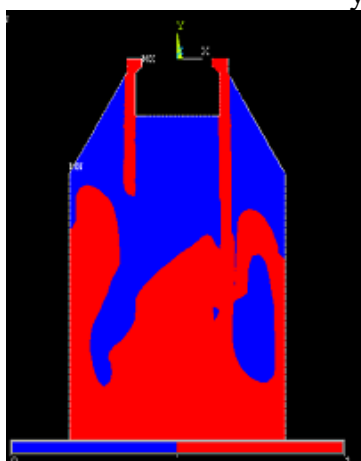


а

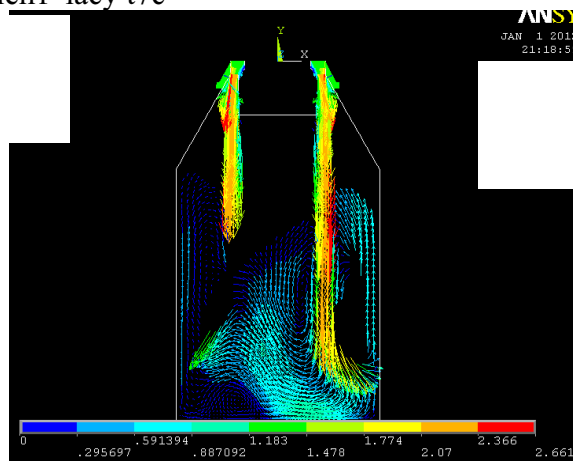


б

Рис. 2.4 Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу t_7c



а



б

Рис. 2.5. Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу t_8c

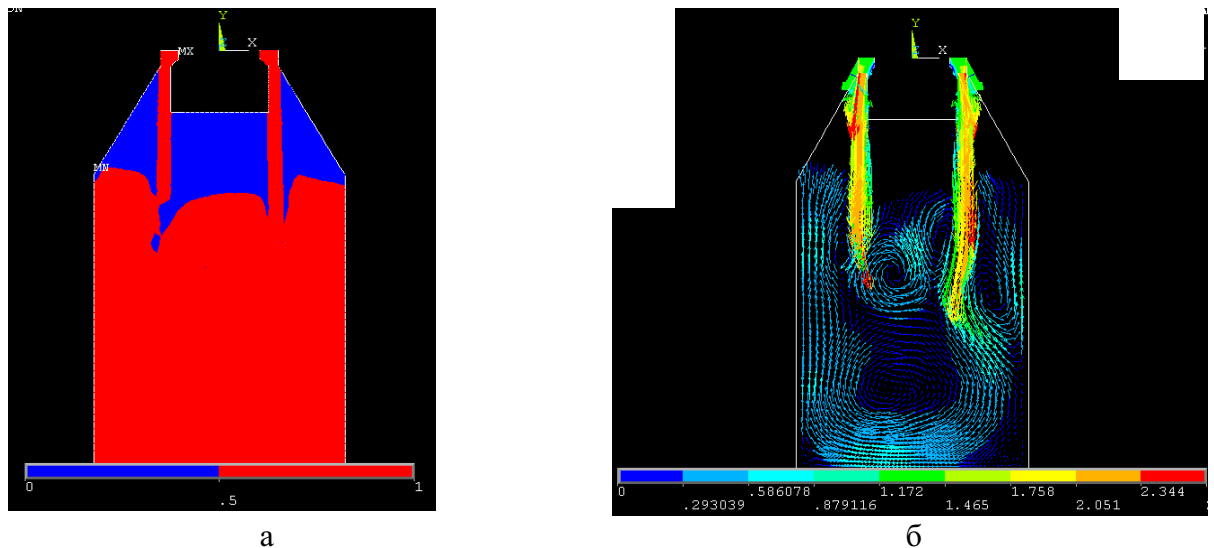


Рис. 2.6. Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу t_c

2.2 Моделювання процесу заповнення банки при гравітаційному методі розливу до зазначеного рівня

Автомат для розливу є складною машиною, як правило, роторного типу, який включає в себе ряд операцій, які визначають робочий цикл автомата. Повний цикл включає в себе подачу та знімання одиниці тари з каруселі автомата, її піднімання та опускання, відкриття та закриття клапанів, в деяких випадках евакуацію повітря, що знаходиться в банці, і створення протитиску, а також вистоявання наповнених одиниць та перед цим їх заповнення. Продуктивність машини для розливу можна виразити в залежності від часу, який витрачається для наповнення банки [42–49, 60, 120, 127, 128, 141, 144]:

$$T = t_n + \frac{S_n}{m} \quad (2.11)$$

де t_n – час наповнення банки рідиною, с;

S_n, S – відповідно довжина кругового шляху, на якому виконується операція наповнення, та довжина кола каруселі, м;

m – кількість розливних механізмів, шт.

Підвищення продуктивності машини для розливу харчових рідин простим збільшенням кількості розливних механізмів m не дозволяє отримати максимальну ефективність, оскільки в цьому разі збільшуються маса машини, габаритні розміри та її енергоспоживання. Тому у збільшенні продуктивності інтенсивним методом, без збільшення кількості механізмів для розливу, криються можливості значного підвищення ефективності виробництва. Нами пропонується інший шлях – зменшення часу, який витрачається на наповнення одиниці тари t_n .

Для визначення основних теоретичних передумов і опису теорії процесу розливу на пристрої для розливу, звернемося до опису сутності процесу, а для кращого розуміння проілюструємо його. На рис. 2. 7 представлена розрахункова схема пристрою для розливу харчової рідини до зазначеного рівня.

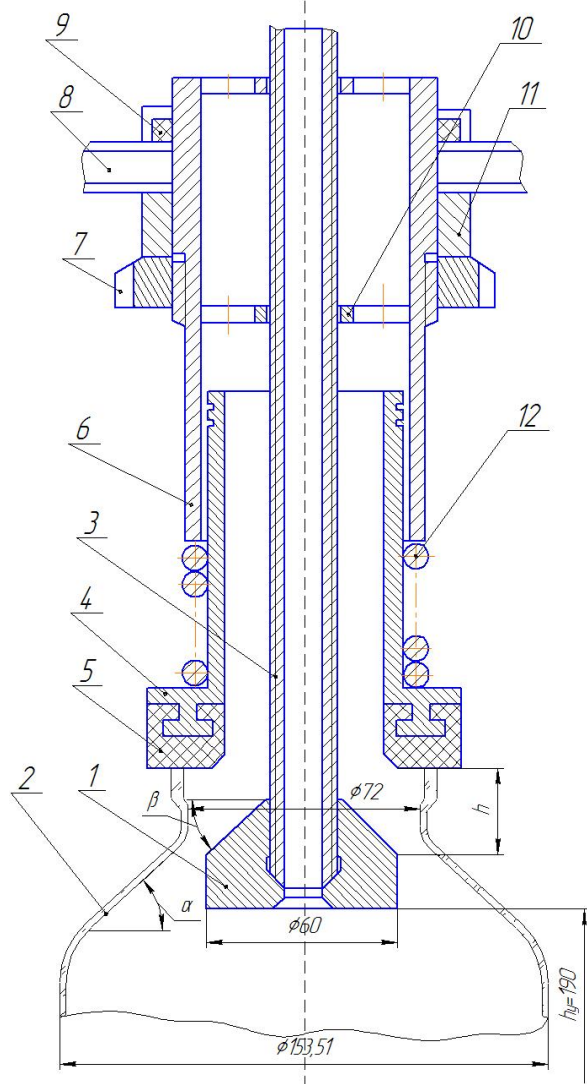
Пристрій для розливу рідини містить встановлену в дно витратного резервуара 8 гільзу 6 з підпружиненим патроном 4 і ущільнюючою манжетою 5, в патроні 4 встановлено повітряну трубку 3 з направляючою 1. Пристрій для розливу рідини працює таким чином: горловина банки щільно притискається до ущільнюючої манжети 5, при подальшому натисканні ущільнююча манжета 5 разом з підпружиненим патроном 4 піднімається до

утворення між направляючою 1 і ущільнюючою манжетою 5 зазору, через який рідина попадає в банку.

Повітря, що знаходиться в банці, і піна рідини, що утворюється, через повітряну трубку 3 надходить у розливальний резервуар 8.

Банка наповнюється рідиною до визначеного рівня. Столик з банкою повертається в граничне положення, а ущільнююча манжета 5 разом з підпружиненим патроном 4 опускає банку, і зазор перекривається.

При розливі до зазначеного рівня рідина, після відкриття зливного клапана, надходить у банку і витискає з неї газ до того часу, поки рівень рідини в останній не досягне вхідного отвору повітряної трубки; рідина закріє отвір і газ перестане виходити з банки.



1 – направляюча, 2 – банка, 3 – повітряна трубка, 4 – патрон, 5 – ущільнююча манжета, 6 – гільза, 7 – гайка, 8 – дно резервуару, 9 – ущільнення, 10 – втулка, 11 – вставка, 12 – пружина

Рис. 2.7. Розрахункова схема пристрою для розливу харчової рідини до зазначеного рівня

Доза рідини, залитої в банку, визначається глибиною занурення вхідного отвору повітряної трубки, що відводить газ із банки, одночасно повітряна трубка грає роль, по суті, дозуючого пристрою.

При розливі до зазначеного рівня спостерігається режим витікання, що встановився, оскільки в межах практично усього часу розливу тиск над рідиною в резервуарі і натиск

підтримуються постійними.

Також постійним є і тиск в банці. За даними Брандона Х. [154], за вказаних умов розливе впродовж 95 – 97% часу в банці підтримується постійний тиск і тільки впродовж початкової і завершальною фаз наповнення (3 – 5% часу) воно несуттєво відрізняється від номінального.

Найбільш поширеними є гравітаційні методи розливу при рівності тисків у витратному резервуарі і банці. Визначимо рушійні сили при розливі рідин гравітаційним методом.

Практично при будь-якому методі розливу, рідина тече в тару під дією двох основних рушійних сил:

- висоти стовпа рідини над зливним отвором насадка розливного пристрою Н;
- різниці тисків у витратному резервуарі і банці $\Delta p_1 - p_2$.

У початковий момент часу банка з внутрішнім об'ємом W заповнена газом повністю. Пристрій для розливу має роздільні канали для рідини і газу. Після відкриття зливного каналу, рідина тече через зливний насадок в кільцевому проміжку між внутрішньою поверхнею зливного насадка і зовнішньою поверхнею трубки, що відводить газ, а потім потік, що направляється на стінки банки у вигляді шатра, стікає по них тонкою плівкою, внаслідок чого об'єм рідини в банці збільшується від нуля до W_p . Рідина, що надходить в банку, витісняє з неї газ по газовідвідній трубці і об'єм газу змінюється від W до W_G .

З урахуванням незмінності об'єму банки можна записати:

$$(2.12)$$

де – витрата рідини, що поступає на дозування Q_R ;

– витрата газу Q_G , що витісняється.

У загальному вигляді витрату рідини можна визначити з рівняння:

$$(2.13)$$

де Δp_1 - перепад тиску між вільною поверхнею рідини в пристрої для розливу і вихідним перерізом зливного насадка

Тоді, з урахуванням рушійних чинників, в загальному вигляді рівняння витрати рідини можна записати [103, 104, 110]:

або

$$(2.14)$$

де μ_r – коефіцієнт витрати зливного насадка;

S_r – ефективна площа поперечного перетину вихідного отвору насадка, м²;

H – висота стовпа рідини в пристрої для розливу, м;

p_1 – тиск на вільній поверхні рідини у резервуарі, Па;

p_2 – тиск у банці, в яку відбувається витікання, Па.

Якби газ, що витісняється з банки, мав вільний вихід, то одного б рівняння було досить для опису процесу і визначення витрати рідини при розливі, але при течії по повітряній трубці газу, що відводиться, газ зустрічає в ній певні гідравлічні опори. Газ тече у атмосферу або в простір над рідиною витратного резервуару під дією різниці тисків ($p_2 - p_1$). Таким чином для рідини різниця тисків гратиме роль гальмівного чинника, що знижує витрату, а для газу – рушійного.

Витікання газу, що витісняється, розглядаючи його як ідеальний, можна описати за допомогою рівняння Сен-Венана-Ванцеля [3]:

(2.15)

де p_2 – тиск в резервуарі, з якого виходить витікання, Па;

p_1 – тиск в середовищі, куди відбувається витікання, Па;

ρ_0 – щільність газу в резервуарі, кг/м³;

k – показник адіабати.

Але за певних умов швидкість витікання газу можна розраховувати, як швидкість витікання краплинної рідини

(2.16)

Такий вид запису справедливий при малих перепадах тисків [3], а також, коли відношення $V/2C_1$ значно менше одиниці або швидкість течії газу не перевищує 0,2 м [75, 76]. Швидкість поширення звуку в повітрі $C_1=340$ м/с, у вуглекислому газі C_1 близько 260 м/с [127]. В випадку, що розглядається швидкість течії газу не перевищує $V=30$ м/с, що менше за допустиму, а відношення $V/2C_1$ не перевищує 0,076. Таким чином, запис у вигляді (2.16) справедливий, а щільність газу можна вважати постійною.

Витрата газу, що витісняється з банки по трубці, що відводить газ можна визначити по залежності:

(2.17)

де S_Γ – ефективна площа поперечного перерізу каналу повітряної трубки, що відводить газ, м²;

μ_Γ – коефіцієнт витрати газового каналу, що відводить газ;

ρ_Γ – щільність газу, кг/м³.

Виходячи з умови нестискання газу можна припустити, з достатньою мірою точності, що об'ємні витрати рідини і газу рівні.

Критерієм оцінки інтенсивності процесу розливу можна вважати такий комплекс гідравлічних і геометричних параметрів розливних пристроїв, при якому забезпечується максимальна витрата рідини. Відповідно, можна зробити висновок, що найбільша ефективність методу розливу, з точки зору забезпечення максимальної швидкості заповнення пляшки, може бути досягнута при певних співвідношеннях перерахованих параметрів.

Зв'язавши процес протікання рідини і газу граничними умовами, отримаємо систему рівнянь, що описують процес в цілому і з неї визначимо загальне рівняння процесу. При цьому необхідно врахувати коефіцієнти витрати рідинного і газового каналів, їх конструктивні розміри, рушійні сили процесу, а також фізичні властивості рідин і газу.

Опис загальної моделі процесу розливу можна представити у вигляді наступної системи рівнянь :

(2.18)

Вихідний отвір зливного насадка розташовується на сполученні з отвором шийки банки, діаметр якої регламентований з ГОСТ 5717.2–2003 "Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры" [10] залежно від типу банки. Отже, діаметр зливного насадка також можна вважати регламентованим, оскільки у разі істотного відхилення його від діаметру шийки банки неминуче виникнуть додаткові місцеві гідравлічні опори в результаті звуження або розширення струменя рідини. При пошуку умов заповнення, що забезпечать максимальну витрату, можна варіювати діаметрами повітряної трубки, зовнішнім діаметром та внутрішнім каналом. В цьому випадку змінюватимуться умови течії газу і рідини, які взаємозв'язані.

Виходячи з цього, можна зробити припущення про існування визначеного співвідношення площ перерізів каналів для рідини і газу, при якому витрата рідини буде максимальною. Таке співвідношення назовемо гідравлічно найвигідним.

Першим кроком визначення гідравлічно найвигідного співвідношення було знаходження рівняння, що описує процес розливу в цілому. Зовнішній контур вихідного отвору зливного тракту обмежений внутрішнім діаметром шийки банки, а внутрішній – зовнішнім діаметром повітряної трубки для відведення газу (рис. 2.7). Збільшення площі перерізу зливного тракту можливо лише за рахунок зменшення загальної і ефективної площі перерізу трубки, що відводить газ. Проте, при збільшенні площі перерізу зливного тракту $S_{ж}$, збільшення витрати може не статися через підвищення тиску у порожнині пляшки p_2 , внаслідок зменшення ефективної площі каналу повітряної трубки для відведення газу $S_{Г}$, оскільки загальна площа, що зайнята зливним і газовим трактами постійна. При зменшенні площі відвідного газового каналу вихід газу буде ускладнений. Підвищення тиску газу в пляшці p_2 (при постійних p_1 і H), призводить до зниження ефективного тиску

який визначає величину витрати рідини.

Збільшення площі перерізу газового відвідного каналу $S_{Г}$, відповідно приведе до зменшення ефективної площі перерізу зливного тракту $S_{Р}$, що також веде до зниження витрати рідини. Отже, потрібно шукати таке співвідношення площ перерізу трактів, при якому і газ буде витіснятися без особливих перешкод і рідина поступатиме в банку вільно. Це співвідношення буде цілком визначеним для розливного обладнання при розливі групи рідин з близькими фізичними властивостями (щільність, в'язкість).

Введемо деякі допущення:

- рідини, для яких розглядається процес, можна з достатньою мірою точності віднести до ньютонівських, що справедливо для соків, ликеро-горілчаних виробів, коньяків, тихих вин, пива, тощо;

- процес вважатимемо ізотермічним, оскільки процес розливу короткочасний, а перед розливом рідини витримуються при температурах гарячого розливу;

- газ, що виходить з пляшки, вважатимемо однофазною системою, без часток рідини.

Позначимо співвідношення площ перерізу трактів через

$$\beta = \frac{S_P}{S_I} \quad (2.19)$$

де S_P – площа поперечного перерізу вихідного отвору зливного тракту, яка є площею кільця із зовнішнім діаметром, рівним діаметру шийки банки, і внутрішнім діаметром, рівним зовнішньому діаметру трубки, що відводить газ, м^2 ;

S_I – площа перерізу відповідного каналу трубки, що відводить газ, м^2 .

Постійність сумарної ефективної площі

підтверджується

розрахунком при товщині стінки трубки 1 мм. Виходячи з співвідношення між ефективною площею S і площами S_P і S_I .

отримаємо

.3

.3

$$(2.20)$$

Розглянемо рівняння (2.14) і (2.17) у взаємному зв'язку і вирішимо їх спільно, вивівши рівняння, що описує процес розливу в цілому. Вказані рівняння можна розглядати як спрощену модель течії в каналах пристрою для розливу.

Визначимо витрату, як функцію від α і максималізуємо цю функцію.

Розділивши вираз (2.14) на (2.17) і звівши отриманий вираз в квадрат, отримаємо з урахуванням рівності об'ємних витрат:

$$(2.21)$$

Для спрощення перетворень введемо додатково позначення α і β і перетворимо (2.20) до виду, що виражає різницю тисків

(2.22)

Підставивши (2.22) в рівняння витрати рідини (2.14), отримаємо [62, 63]

(2.23)

Це рівняння описує процес розливу, враховуючи взаємозв'язок умов течії газу і рідини і їх фізичні властивості. Таким чином, його можна розглядати як загальне рівняння процесу гравітаційного розливу.

Для знаходження умов отримання максимальної витрати, заданого функцією (2.23),

обчислимо частні похідні $\frac{\partial Q}{\partial \alpha}$ і $\frac{\partial Q}{\partial \varphi}$. В загальному випадку проте оцінка цього зв'язку на основі формул, приведених у [110] показала, що при зміні α в діапазоні, що цікавить нас, φ міняє своє значення незначне (близько 0,02%), і залежністю між α і φ можемо нехтувати, і вважати витрату функцією двох незалежних змінних α і φ .

Відношення щільності β не залежить від α , оскільки визначається тільки властивостями рідини і газу. Діапазон β для харчових рідин невеликий: від 788 до 901 для повітря (при розливі лікєро-горілочаний виробів, тихих вин) і від 480 до 549 для вуглекислоти (при розливі пива, мінеральних вод).

З огляду на те, що α і φ не можуть мати негативних і рівних нулю значень, частна

похідна $\frac{\partial Q}{\partial \alpha}$ не дорівнює нулю в усьому фізично здійсненному діапазоні змінних. Тобто

функція (2.23) не має екстремуму по φ . Похідна $\frac{\partial Q}{\partial \alpha}$ матиме вигляд:

(2.24)

де

EMBED Equation.3

Таким чином, витрата Q є добутком двох функцій від α на незалежний від α співмножник φ .
Тоді

Знайдемо α_n з умови вигляду:

яке з урахуванням очевидного

набере

Але в останньому рівнянні нулю може бути рівний тільки останній співмножник, оскільки перші не мають значень рівних нулю, внаслідок позитивності усіх складових. Звідси отримаємо

і перетворюючи далі, визначимо вираз для гідравлічно найвигідних співвідношень площ перерізів зливного і газового відвідного трактів:

Виразив α з останнього рівняння, отримаємо:

(2.25)

Формула (2.25) дає можливість визначити найвигідне α_n і розрахувати необхідний діаметр трубки, що відводить газ для отримання максимальної витрати [61]. Аналізуючи формулу (2.25) відмітимо, що збільшення α_n можна досягти, в першу чергу, зменшенням ϕ , оскільки β характеризує не розливний пристрій, а рідину і газ, використовувані в процесі. Визначальним буде коефіцієнт витрати газового тракту μ_g , оскільки його ріст гратиме істотну роль у збільшенні α_n . Зниження коефіцієнту витрати зливного тракту μ_r для

збільшення α не раціонально, так як веде до зниження загальної витрати.

Формулу (2.25) доцільно застосовувати для розрахунку характеристик розливного пристрою, призначеного для розливу малов'язких рідин.

Аналіз виразу (2.24) показує, що витрата визначатиметься (при постійному тиску) комплексом $\mu_r \cdot S_p$, а в більш широкому сенсі $\mu_c \cdot S_p$,

де μ_c – коефіцієнт витрати системи каналів розливного пристрою.

Звідси витікає, що для підвищення витрати необхідно удосконалювати конструкції і геометрію каналів, підвищуючи загальний коефіцієнт витрати системи.

Порівнявши (2.24) з відомим рівнянням витрати через насадок [3, 15, 75] відмітимо, що коефіцієнт витрати системи можна вираховувати по формулі:

(2.26)

Внаслідок введення припущень, спрощення моделі процесу і формули для розрахунку, значення діаметрів, вирахованих по вказаних залежностях можуть дещо відрізнятись від дійсних. Істотним моментом, який не враховувався, є дійсна неідеальність газу, що витісняється. Крім того газ насправді може бути газокраплинною сумішшю, що виникає через відрив крапель від стікаючого струменя і віднесення їх висхідним потоком газу в газовий канал, що відводить.

2.3 Моделювання процесу заповнення банки при гравітаційному методі розливу рідини до зазначеного рівня з урахуванням коефіцієнту витрат зливного тракту

У розділі 2.2 виведено рівняння для визначення гідравлічно найвигіднішого співвідношення площ перерізів трактів по декілька спрощеному варіанту, де вважається, що коефіцієнти витрати не залежать від витрат рідини і газу. Це припущення необхідно перевірити, оскільки у реальних умовах можлива залежність

і, відповідно, . Тоді рівняння процесу можуть бути записані у наступному виді:

(2.27)

(2.28)

(2.29)

Тому, пошук максимуму витрати шукатимемо для функції, заданої в неявному виді. В цьому випадку загальне рівняння процесу буде також в неявному виді:

(2.30)

Вирішимо рівняння витрат (2.27) і (2.28) спільно чисельними методами. Задаючись об'ємною витратою рідини і газу, обчислимо гідравлічні характеристики зливного і газового трактів. Числа Рейнольдса для зливного і газового трактів визначимо по відомих формулах [3, 103]:

(2.31)

де Q_P , Q_G – витрати рідини і газу, м³/год;

d_G – діаметр газового каналу, м;

R – гідравлічний радіус зливного каналу, м;

S_P , S_G – площі перерізів зливного і газового каналів (трактів), м²;

ν_P , ν_G – кінематична в'язкість рідини і газу, м²/с.

Коефіцієнт витрати газового тракту μ_G при малих перепадах тиску газу можна розраховувати по формулі [110]:

(2.32)

а коефіцієнт витрати зливного тракту μ_P по формулі, отриманий для зливного тракту кільцевого поперечного перерізу:

(2.33)

де L_P – довжина зливного тракту, м;

L_G – довжина робочої ділянки газового тракту, м.

Оскільки коефіцієнти витрати μ_P і μ_G є функціями витрати, то далі розраховуємо різницю тисків ($p_2 - p_1$) і визначаємо по формулі (2.28) істинне значення витрати газу в першому наближенні. Якщо розбіжність між прийнятим і дійсним значеннями не перевищує 0,5 - 1,0%, аналіз можна закінчити. Якщо ж відхилення більше, то задається ще одно або декілька значень витрати газу і визначається істинне значення витрати. Тобто використовується метод послідовних наближень з його реалізацією на ЕОМ.

Отримавши значення витрати газу, перевіряємо відповідність витрат газу Q_G і рідини Q_P по формулах (2.28) і (2.27). Якщо їх значення відрізняються не більше ніж на 0,5 - 1,0%, то розрахунок вважаємо закінченим.

Але витрата, як встановлено, залежить також і від співвідношень площ перерізів зливного і газового трактів α , тому необхідно встановити цю залежність і визначити найвигідне α_n . Для цього потрібно розрахувати витрати газу і рідини для різних значень α . Доцільно перевірити наявність α_n для розливу малов'язких рідин з різною в'язкістю і визначити відхилення розрахункових значень, отриманих двома способами.

2.4 Методи визначення коефіцієнту витрат зливного тракту

Одним з основних вузлів автоматичної лінії з розливу рідких харчових продуктів є автомат для розливальний, який включає в себе зливний тракт, тобто пристрій для розливу, завдяки якому відбувається основна технологічна операція – наповнення ємності рідиною.

Під терміном зливний тракт ми розуміємо систему, яка складається з: резервуару, дозатора - наповнювача та ємності.

Зливний тракт є одним з відповідальних вузлів пристрою для розливу, пропускна здібність якого визначається не тільки продуктивністю автомату, але й продуктивністю всієї лінії розливу в цілому. Окрім того, результатом взаємодії потоку рідини з конструкцією зливного тракту і, головним чином, з конструкцією дозатора - наповнювача ємностей, в значній мірі визначається технологічність розливу.

Важливим параметром, що визначає продуктивність пристрою для розливу є коефіцієнт витрат μ , який в свою чергу залежить від в'язкості рідини; розміру, форми і розміщення зливного тракту; напору; температури; щільності рідини; прискорення сили тяжіння; поверхневого натягу, тощо [3, 50, 52, 54, 56, 77, 99].

Враховуючи всі вище перераховані перемінні величини маємо наступну залежність [8, 30, 54, 90, 99]

$$(2.34)$$

яку можна розглядати, як величину пропорційну числу

$$(2.35)$$

де Eu , Re , We , Fr – відповідно числа Ейлера, Рейнольдса, Вебера та Фруда.

В літературі можна знайти деякі експериментальні данні, що встановлюють вплив розмірів, форми та розміщення отворів, а також напору, в'язкості та температури на величину коефіцієнта витрат.

Досить важливе значення мають дослідження витікання з насадок, оскільки їм в дозуючих пристроях надають різні форми. В залежності від конструкції насадки бувають циліндричними зовнішніми та внутрішніми; конусними, які сходяться або розходяться; коноїдальними (по формі струменя).

Рідина, при спрямуванні її в насадку з резервуара, вже в самому початку утворює стиснутий струмінь, який в подальшому, завдяки достатній довжині насадки, розширюється та заповнює весь переріз насадки.

В залежності від форми та розмірів насадок змінюються гідравлічні опори та, відповідно, витрати рідини. За даними М.І. Маковозова, коефіцієнт витрат має наступні границі: для циліндричних насадок $\mu=0,45...0,8$; для конічних, що сходяться та коноїдальних $\mu=0,96...0,97$. У таблиці 2.1 наведемо залежність коефіцієнту витрат від форми отворів та насадок [3, 55].

Таблиця 2.1

Залежність коефіцієнту витрат від форми отворів та насадок

Форми отворів та насадок	Коефіцієнт витрат μ
Круглий отвір в тонкій стінці	0,62
Зовнішня циліндрична насадка	0,82
Внутрішня циліндрична насадка	0,71
Конічна насадка, що сходиться з кутом конусності 140°	0,95
Конічна насадка, що розходиться з кутом конусності 50°	0,48

Наведені вище значення коефіцієнтів витікання для отворів та насадок різної форми справедливі для умов, коли в'язкість на витікання не проявляється в будь - якому помітному ступені. Для цього повинна, за даними А.Д. Альтшуля [15, 55, 77], виконуватися умова Re

100000.

(2.36)

де H – висота рівня рідини в дозаторі, м;
 d – діаметр отвору або насадки, м;
 v – кінематична в'язкість рідини, м²/с.

При витіканні з отворів або насадок рідин підвищеної в'язкості приведена умова не виконується і всі коефіцієнти витікання можуть значно змінюватися в залежності від числа Рейнольдса.

2.4.1 Визначення коефіцієнту витрат, з точки зору гідравліки, для насадок різних типів

Значення коефіцієнту витрат μ при витіканні з насадок різних типів, за звичай тих, що наводяться в літературі, відносяться, виключно до витікання води та дійсні лише при більших числах Рейнольдса, тобто коли вплив сил в'язкості незначний.

Досліди, проведені І.А. Чарним, Н.З. Френкелем, С.А. Абдурашитовим, Ю.І.Мамедзаде та іншими авторами над витіканням з насадків рідин підвищеної в'язкості, показали, що збільшення в'язкості рідини призводить до зменшення коефіцієнту витрат, який в деяких випадках стає досить малим.

При витіканні рідини через зовнішній циліндричний насадок – коротка трубка довжиною $l = (3 \dots 4)d$, без заокруглення вхідної кромки або через отвір, що виконаний в стінці, будь-якого, корпусу відповідної товщини, витрати рідини получаются більшими, ніж при витіканні через отвір в тонкій стінці. Це обумовлено тим, що стискання струменя на виході з насадка відсутнє.

З.І. Геллером та Ю.А. Скобельциним [110] були проведені широкі експериментальні дослідження з урахуванням залежності

(2.37)

де l – довжина насадка, м;
 d – діаметр насадка, м.

Дослідження проводилися з насадками діаметром від 4 до 12 мм при $l/d = 1 \dots 50$ в діапазоні чисел Рейнольдса від 1 до 200000. В якості рідин використовувалися: вода, керосин, солярове, веретенне, машинне масла та їх суміші.

Коефіцієнт витрат μ нбезперервно зростає зі збільшенням Re , через те, що темп його росту уповільнюється в зв'язку зі зменшенням сил в'язкості, та при $Re > 10000 \dots 1 \cdot 10^5$ (в залежності від l/d). При цьому, різко вираженої границі, що характеризує перехід від ламінарного до турбулентного руху, не спостерігається.

На основі вказаних дослідів для визначення коефіцієнту витрат експериментатори рекомендують емпіричну формулу (в інтервалі $Re = 1 \cdot 10^2 \dots 1,5 \cdot 10^5$ та $l/d = 2 \dots 5$)

(2.38)

За цією формулою максимальне значення коефіцієнту витрат при витіканні з зовнішнього циліндричного насадка (при $Re \rightarrow \infty$) $\mu = 0,813$.

Критеріальне рівняння для коефіцієнту витрат при витіканні з внутрішнього циліндричного насадка можна подати у вигляді

(2.39)

де δ – товщина стінки насадка, м.

Досліди, проведені для визначення виду функції при $l/d = 3$ на насадках діаметрами 10, 15 та 30 мм та при δ/d від 0,0032 до 0,2, показали, що при $104 < Re < 1,5 \cdot 10^5$ та $l/d = 1$, як і при $Re > 2 \cdot 10^4$ та $l/d < 1$, коефіцієнт витрат не залежить від Re , а визначається лише відносною товщиною стінки насадка (за даними З.І.Геллера та Ю.А. Скобельцина). Коефіцієнт витрат зростає лінійно при збільшенні δ/d від 0,0032 до 0,038, після чого темп росту його уповільнюється. При $\delta/d > 0,1$ та $l/d = 1$ коефіцієнт μ не залежить від δ/d та рівний 0,8, тобто отримуємо теж значення, що й для зовнішніх циліндричних насадок.

Для витікання з конічних сходящися насадок (конфузор) має місце залежність

(2.40)

де α – кут конусності, град;

d – діаметр насадка в вузькому перерізі, м.

Для визначення цієї залежності А.Ш. Асатуряном, В.П. Свиридовим та Н.Г.Болдовим в БашНДІ НП були проведені дослідження насадків діаметрами 4,17; 4,83 та 6,16 мм при $\alpha = 14, 24$ та 26° $l/d = 0,154; 0,2$ та $0,173$. В якості робочої рідини використовували воду, мастила та суміші нафтопродуктів в'язкістю від 0,02 до 50 см²/с. Досліди охопили діапазон чисел Рейнольдса від 10 до 100000.

Вплив кута конусності α виявляється лише при $Re > 3000$, причому максимальне значення коефіцієнта витрат відповідає $\alpha = 14^\circ$.

Досліди В.Л. Апринцева, Ю.А. Скобельцина [110] та З.І. Геллера підтверджують вище наведені дані, а саме те, що максимальне значення коефіцієнту витрат спостерігається при куті конусності $\alpha = 12 - 14^\circ$, з ростом l/d коефіцієнт μ також зростає, що можна пояснити тим, що рух рідини в насадці більш сталий.

Яролинський Д.А. [152] для визначення коефіцієнту витрат в дозуючих пристроях для розливу харчових рідин (для конфузору), пропонує наступну емпіричну формулу

(2.41)

де α – кут конусності, град;

n – ступінь стискання;

μ – коефіцієнт місцевого опору при поступовому звужуванні каналу.

(2.42)

де $K_{п.с}$ – коефіцієнт поступового звуження (коефіцієнт пом'якшення).

Для каналу з поступово розширюючимся перерізом (дифузором)

(2.43)

де $K_{п.р}$ – коефіцієнт поступового розширення.

В цих виразах значення коефіцієнта гідравлічного опору для гладких труб можна вирахувати за формулою Блазіуса [3]

(2.44)

а для зовсім шорстких труб – за формулою Б.Л. Шифринсона [3, 15]

(2.45)

де K_z – висота еквівалентної рівно зернистої шорсткості.

(2.46)

де σ - абсолютна висота шорсткості, визначається за номограмою Г.С. Хованського [3, 15].

При цьому зовсім шорсткими трубами називають ті, у яких коефіцієнт гідравлічного тертя не залежить від в'язкості (числа Рейнольдса), а тільки від відносної шорсткості. Більш універсальною формулою для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя є формула, запропонована А.Д. Альтшулем [3]

(2.47)

Формула особливо зручна для розрахунків, оскільки обчислення за нею зводяться до елементарних алгебраїчних дій. Ця формула переходить в відомі залежності для коефіцієнта

гідравлічного тертя. Дійсна при умові

формула (2.47) практично співпадає з

формулою (2.45) Блазіуса для гідравлічних гладких труб, а при умові

3

формулою (2.46) Б.Л. Шифринсона для зовсім шорстких труб.

Таким чином, коефіцієнт витрат для різних за формою зливних трактів може бути обчислений аналітично по наведеним вище емпіричним формулам при відсутності взаємного впливу місцевих опорів, які утворюють місцевий канал.

В гідравліці при визначенні коефіцієнта витрат зливного тракту, який має змінну площу по висоті, можна також використати графоаналітичний метод для дозуючих пристроїв

2.4.2 Визначення коефіцієнту витрат методом простого додавання величин місцевих опорів

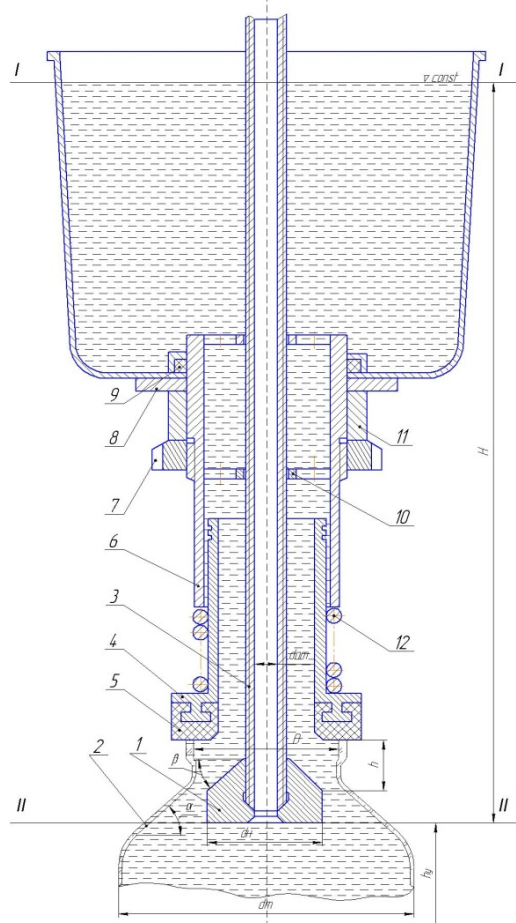
Оскільки кожен пристрій для розливу можна уявити як сполучення різних за формою і розмірами насадок, можна припустити, що дійсний час роботи дозатора в циклі автомата залежить від величини коефіцієнта витрат системи зливного тракту, який характеризує пропускну здібність газових каналів та каналів для рідин; від числа Рейнольдса; від коефіцієнта кінематичної в'язкості.

Коефіцієнт витрат зливного тракту залежить від форми каналу і в загальному випадку рівний [3, 55]

$$(2.48)$$

де $\Sigma \xi$ - сумарний коефіцієнт опору.

В практиці місцеві опори розміщуються іноді настільки близько одне до одного, що потік між ними не встигає вирівнюватися, оскільки вихроутворення, що виникають при проході через місцеві опори, впливають у подальшому на процес розливу.



- 1 – направляющая, 2 – банка, 3 – воздушная трубка, 4 – патрон, 5 – уплотняющая манжета, 6 – гильза, 7 – гайка, 8 – дно резервуара, 9 – уплотнения, 10 – втулка, 11 – вставка, 12 – пружина

Рис. 2.8. Загальний вигляд пристрою для розливу

Якщо припустити, що в пристроях для розливу різних конструкцій коефіцієнт витрат залежить тільки від геометрії зливного тракту, то сукупну втрат напору в каналі можна вирахувати простим додаванням втрат в окремих місцевих опорах, так ніби кожен опір існував би самостійно та незалежно від інших місцевих опорів. Цей метод простого додавання величини місцевих опорів отримав в гідравліці назву принципу накладання втрат або суперпозиція.

При проектуванні дозуючого пристрою, який заповнює одиницю тари до вказаного рівня основне значення має співвідношення каналів в дозуючій головці.

Продуктивність є важливим параметром, що визначає основні розрахункові характеристики фасувальних машин, яка залежить від кінематики механізмів, гідравлічних параметрів системи, конструктивних елементів.

Визначимо максимальну (теоретичну) продуктивність нев'язкої рідини.
Скористаємося рівнянням Бернуллі:

(2.49)

Перетворимо для двох перетинів схеми (I – I, II – II рис. 2.8): дзеркала продукту в розподільчому резервуарі і перетині у відсікаючому клапані:

(2.50)

де H - висота стовпа рідини, м;

H_p - висота стовпа рідини в розподільчому резервуарі, м, H_p ;

H_k - висота стовпа рідини в клапані, м, H_k

u_p - швидкість витікання в розподільчому резервуарі, м/с;

$P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск, кПа;

$P_{\text{кат}} + \rho \cdot g \cdot H$.

Тоді:

(2.51)

Після перетворення отримаємо:

(2.52)

де $\Sigma \zeta$ – відповідно сумарний коефіцієнт місцевих опорів для розрахункової схеми дозатора (рис.2.8).

Коефіцієнти місцевих опорів: раптового звуження, дифузору, конфузору визначаються за формулами [3, 50, 51, 52, 55]:

Раптове звуження

(2.53)

Раптове розширення

(2.54)

Дифузор

(2.55)

де $S_{n1}, S_{n2}, \dots, S_{ni}$ – відповідно площі перерізів зливного тракту, m^2 .

Для більш точного визначення місцевих опорів розливальної системи необхідно вирахувати площу повітряної трубки (рис. 2.8) яка визначається за формулою

(2.56)

де d_{tr} – діаметр повітряної трубки, м.

З урахуванням місцевих опорів формула (2.41) матиме вигляд

(2.57)

Використовуючи рівняння Бернуллі – продуктивність після зведень та допущень можна визначити таким чином

(2.58)

де S_n – площа живого перерізу зливного каналу, m^2 ;

H – висота рівня рідини в дозаторі, м;

g – прискорення вільного падіння, m/s^2 .

μ – коефіцієнт витрат, що характеризує опір зливного тракту, визначений за формулами А.Д. Альтшуля [3].

При витіканні з отворів або насадок рідин підвищеної в'язкості приведена умова не виконується і всі коефіцієнти витікання можуть значно змінюватися в залежності від числа Рейнольдса [148]:

(2.59)

де v_k – швидкість витікання, m/s ;

d_e – еквівалентний діаметр (внутрішній) насадка, м;

ν – кінематична в'язкість продукту, m^2/s , для малов'язких продуктів (молоко, соки) в'язкість $\nu \approx (1,2 - 3,1) \cdot 10^{-6} m^2/s$.

(2.60)

де D – діаметр зливного каналу в даному перерізі, діаметр горла банки, $D = 0,072 m$;

d – діаметр направляючої, d

Для продукту в'язкістю $1,2 \cdot 10^{-6} m^2/s$ число Рейнольдса становить .

Для продукту в'язкістю $3,1 \cdot 10^{-6} m^2/s$ число Рейнольдса .

Враховуючи число Рейнольдса – при витіканні рідини з пристрою для розливу при в'язкості $1,2 \cdot 10^{-6} m^2/s$ спостерігається турбулентний режим, а при в'язкості $3,1 \cdot 10^{-6} m^2/s$ – ламінарний режим.

Визначимо коефіцієнт витікання μ із залежностей, запропонованих А.Д. Альтшулем [3] з урахуванням числа Рейнольдса [148].

Графоаналітичним методом можна визначити теоретичний коефіцієнт витрат μ_t зливного тракту в пристрої для розливу. Рис. 2.9. Схема для визначення коефіцієнту витрат графоаналітичним методом

Графічна побудова (рис. 2.9) кривих функціональної залежності вказаних параметрів (формула 2.64) будується в загальному вигляді наступним чином.

Для побудови кривих дозуючого прибору. Креслення мірної частини подаємо креслення мірної частини дозуючого прибору в межах об'єму рідини, рівного її дози в тарі, розбиваємо в горизонтальній площині на ряд перерізів, потім вираховуємо площі цих перерізів ($F_1 - F_n$). Знаючи розмір елементарних площин і відстань їх від основи мірника ($h_1 - h_n$), будуємо криву $F = f(h_c)$.

Для побудови кривої спорожнювання мірника $V = f(h_c)$ необхідно знати елементарні об'єми рідини dV_i , що знаходяться між перерізами. Цю криву будуємо в координатах, початок яких співпадає з рівнем рідини в заповненому мірнику. Вісь h_c направляємо вниз, а вісь V – вліво.

Крива спорожнення $V = f(h_c)$ у відмінність від кривої $F = f(h_c)$ – є інтегральною, тобто такою кривою, у якій будь-яка абсциса V_i виражає сумарний об'єм рідини, що вилилась із мірника до даного моменту часу.

Криву $V = f(h_c)$ будуємо по точках з координатами: h_1 та V_1 ; $h_1 + h_2$ та $V_1 + V_2$;

та

Таким чином знаючи елементарні об'єми, середні напори рідини, площі вихідного отвору для рідини (за кресленням), час наповнення тари рідиною (визначеного дослідним шляхом) визначимо дійсний коефіцієнт витрат μ машини для розливу за формулою (2.63), виристовуючи графоаналітичний метод, який становить $\mu = 0,35$ [52].

2.5 Падіння рідини на дно банки

В режимі стійкої симетричної течії можна виділити три етапи заповнення скляної банки. На першому етапі відбувається формування струменя, який досягає дна ємності. На другому етапі відбувається розтікання рідини по горизонтальній площині дна ємності з формуванням відносно тонкого прошарку на ній. Після натікання рідини на бокові стінки банки фронт вільної поверхні переміщується вертикально вверх. Реалізований алгоритм розрахунку дозволяє моделювати неперервний процес заповнення ємності [68, 70, 71, 145].

Як виходить із рисунку 2.10, на першому етапі при падінні струменя рідини на дно банки спостерігається дуже складна картина [70, 71, 78, 104, 138].

Дослідимо, на які струмені розпадеться струмінь товщиною δ при падінні зі швидкістю v під кутом α на площину. Позначимо через δ_1 та δ_2 товщини струменів (рис. 2.11), які отримали в результаті розпаду вихідного струменя, а через v_1 та v_2 – їх швидкості. Оскільки через поперечний переріз вихідного падаючого струменя за одну секунду проходить така сама маса рідини, що і через поперечні перерізи обох утворених струменів, та рідина є тією, що не підлягає стисканню, то

$$\rho v \delta = \rho v_1 \delta_1 + \rho v_2 \delta_2, \quad (2.65)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³.

Визначимо, як змінюється швидкість частинок рідини. Для цього прослідкуємо за невеликою масою рідини, яка переміщується із основного вихідного струменя у лівий рукав.

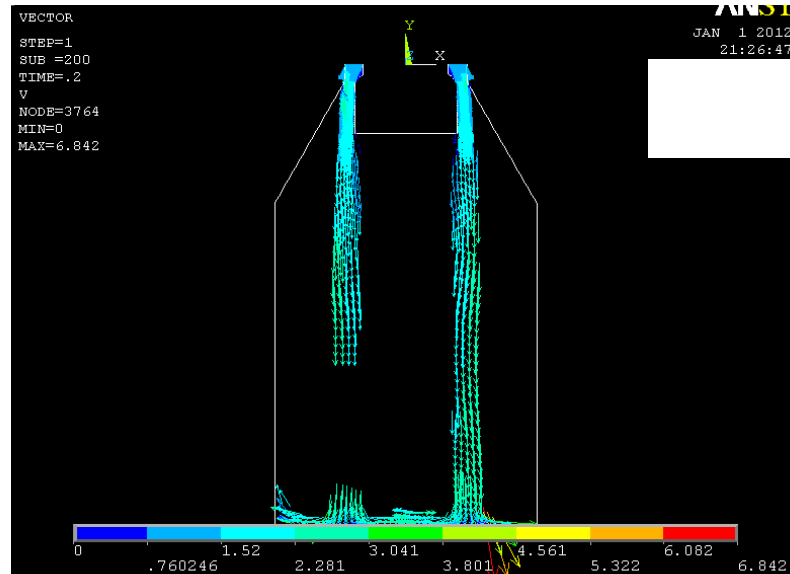


Рис. 2.10. Падіння рідини на дно банки

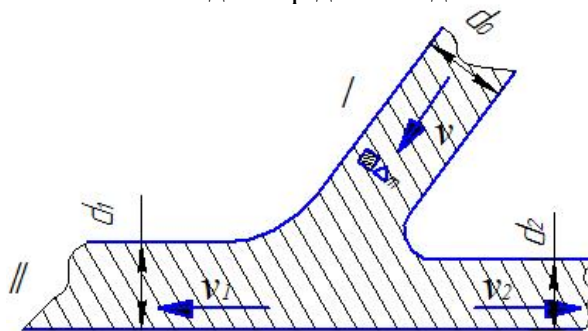


Рис. 2.11. Розподіл струменя

Таке переміщення є рівносильним просто переносу цієї рідини із області I в область II. Але з області I ми "вилучаємо" об'єм рідини , при цьому сили тиску виконують роботу . У області II робота сил тиску від'ємна і дорівнює . Таким чином, сумарна робота зовнішніх сил дорівнює . Оскільки рідина нестискується, то маємо . Крім того, величина тиску у всіх струменях також однакова і дорівнює атмосферному тиску, оскільки границі у струменів плоскі. Тому . За теоремою про кінетичну енергію зміна кінетичної енергії маси рідини дорівнює роботі зовнішніх сил . В результаті маємо, що кінетична енергія частинок рідини та їх швидкості залишаються сталими .

Тому з рівності (2.65) одержимо

$$(2.66)$$

Оскільки на рідину не діють ніякі зовнішні горизонтальні сили, то горизонтальна проекція імпульса текучої рідини повинна залишатись постійною

де m – маси рідини, яка пройшла через перерізи струменів за один і той же час.

Так як $v \sim r^2$, $\rho \sim r^2$, $\Delta p \sim r^2$, то

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.67)$$

З рівностей (2.66) та (2.67) отримаємо

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.68)$$

При доведенні формули (2.68) вважали, що тиск у всіх випадках дорівнює атмосферному. Але це твердження справедливе тільки на відстані від місця падіння струменя на площину, де струмінь плоский. В тій точці, де струмінь падає на площину, він викривлюється і тиск тут інший. Його нескладно знайти.

Оскільки сила F , що діє на струмінь зі сторони площини, дорівнює швидкості зміни проекції імпульса p струменя на вісь Y , перпендикулярну до площини, то

.

За час Δt на площину попадає об'єм рідини V , що має масу $m = \rho V$ та імпульс $p = m v$, де S – площа перерізу струменя. В результаті отримаємо

.

Площа S зони підвищеного тиску приблизно дорівнює площі перерізу струменя. Тому

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.69)$$

Легко впевнитись, що тиск, розрахований за формулою (2.60), має величину порядку атмосферного. Наприклад, при нормальному падінні на площину (рис. 2.11) струменя води, швидкість якого, як виходить із рисунка 2.11, дорівнює 6 м/с, величина тиску складає

$\Delta p \approx 1,8 \cdot 10^3$ Па. Тому формули (2.68) залишаються справедливими.

Бічні струмені у подальшому ударяються у бокові стінки банки, та завертаючись, утворюють повітряні порожнини всередині рідини, як показано на рисунку 2.12

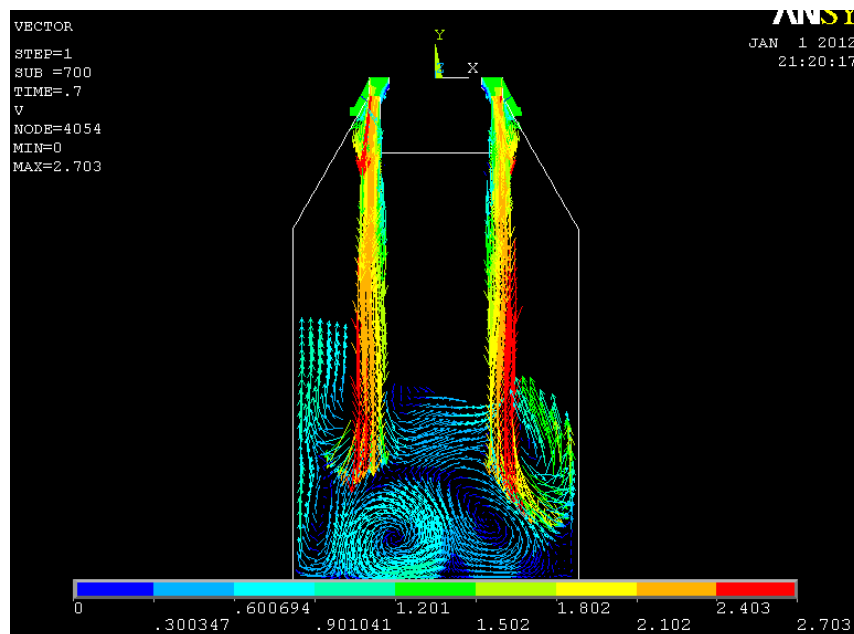


Рис. 2.12. Утворення повітряних порожнин всередині рідини.

Припустимо для простоти, що утворена порожнина має сферичну форму радіуса R та визначимо час, за який ця порожнина заповниться рідиною [70].

Рух рідини після утворення повітряної порожнини буде центрально-симетричним зі швидкостями, що направлені у кожній точці уздовж радіусу до центру. Для радіальної швидкості

маємо рівняння Ейлера (у сферичних координатах)

$$\rho \left(\frac{dv_r}{dt} + v_r \frac{dv_r}{dr} \right) = - \frac{dp}{dr} \quad (2.70)$$

З рівняння неперервності

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 v_r) = 0 \quad (2.71)$$

де $f(t)$ – довільна функція часу; ця рівність відображає собою той факт, що в силу нестискаємості рідини об'єм, що протікає через сферу довільного радіусу, не залежить від останнього.

Підставимо швидкість v_r з (2.71) у (2.70) та отримаємо

$$\rho \frac{dv_r}{dt} = - \frac{dp}{dr}$$

Проінтегруємо це диференціальне рівняння по змінній r від ∞ до величини радіуса порожнини, що заповнюється рідиною, та одержимо

$$\rho \int_{\infty}^R v_r dr = - \int_{\infty}^R dp \quad (2.72)$$

де U – швидкість зміни радіуса порожнини, p_∞ - тиск на нескінченності; швидкість рідини на нескінченності, а також тиск на поверхні бульбашки дорівнюють нулю. Співвідношення (2.71) для точок на поверхні бульбашки дає

Підставимо цей вираз для U у рівняння (2.72). В результаті отримаємо наступне рівняння

$$\dots (2.73)$$

У цьому диференціальному рівнянні (2.73) змінні розділяються. Проінтегрувавши (2.73) при початковій умові: $t=0$ при $r=r_0$ (у початковий момент рідини знаходиться у стані спокою), знаходимо

Звідси маємо для шуканого повного часу заповнення порожнини рідиною

$$\dots (2.74)$$

Цей інтеграл приводиться до виду В-інтеграла Ейлера, обчислення якого дає

$$\dots (2.75)$$

Таким чином, час заповнення утвореної порожнини рідиною прямо пропорційний її радіусу.

Велику роль у струменевій течії відіграє гідродинамічна нестійкість, яка притаманна течії поблизу вільної лінії тока. Відомо, що коливання з довільною довжиною хвилі та нескінченно малою амплітудою, які накладаються на вільну лінію тока біля її початку, збільшуються вниз по потоку за експоненціальним законом. Показник степеня експоненти,

що характеризує швидкість зростання амплітуди збурення, пропорційний величині $\dots$.

Тут ρ_0 – густина оточуючого рідкого середовища, ρ – густина рідини у струмені. Якщо

$\gg 1$ (наприклад, струмінь рідини у газовому середовищі) – коливання розвиваються порівняно повільно і помітні лише на великій відстані від джерела струменя. При цьому на



~1 (

ерела
опленому
тних
ирюється
вання)
ни, які
овий
агменти.
озтікатись
риба зі
ься зі
оє - . У
ва. Їх

тиски повинні співпадати.

Тиск, згідно з (2.5), пропорційний , то

Звідси , тобто швидкість проникнення струменя дорівнює половині швидкості струменя [68].

Рис. 2.13. Форма струменя

Струмінь буде проникати у рідину доти, доки вся вона не пройде в точку О, тобто на протязі часу

За цей час струмінь проб'є шар рідини товщиною

тобто струмінь проб'є шар рідини, товщина якого дорівнює довжині струменя. Після пробивання шару рідини, товщина якого менше довжини струменя, швидкість струменя буде дорівнювати початковій. З цією швидкістю струмінь падає на дно банки, при цьому буде справедливим розглянутий вище процес.

2.6 Визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора

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 [66, 67, 71, 91, 92, 97, 98, 139, 140].

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, таму що не мають складного вузла: мірної ємності та зв'язаних з нею елементів.

При проектуванні дозатора за рівнем важливу роль відіграє співвідношення каналів у розливальному патроні. Як показано на рис. 2.7 рідина із баку подається у розливальний 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 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 [116, 117, 119].

При проектуванні автоматів для розливу витрати рідини у короткій трубці визначають за формулою [27, 67, 119]

(2.76)

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

(2.77)

де , – коефіцієнти витрат для рідини та повітря;

, – площі перерізів каналів рідини та повітря відповідно, м².

З формул (2.77) впливає співвідношення

(2.78)

Оскільки , ,

та

то з урахуванням формули (2.78) отримаємо співвідношення між діаметром повітряної трубки та діаметром шийки тари

(2.79)

Таким чином, за відомих значень діаметра шийки тари та характеристик рідини, що дозується, рівняння (2.79) 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. 2.14.

Вихідними даними для розрахунку площі живого перерізу каналу є:

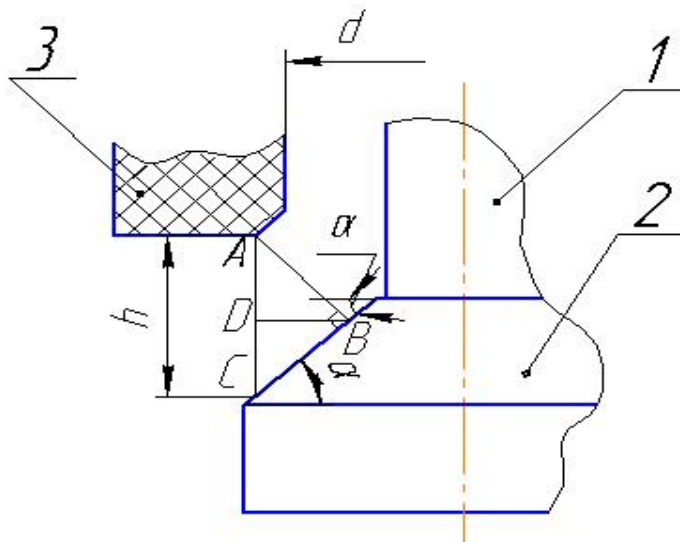
h – висота підйому манжети відносно направляючої, h , м; ϵ – кут нахилу направляючої, град. В таблиці 2.2 наведено параметри банок різної ємності.

З рисунку 2.14 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 ϵ .

Таблиця 2.2

№ п/п	Об'єм ємності, см ³	Висота підняття дозуючого пристрою*, h , мм				Кут нахилу дотичної до бокової сторони, град.
		H1	H2	H3	H4	
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. 2.14. Розрахункова схема для визначення площі живого перерізу каналу, який утворено манжетою та направляючою.

Площа живого перерізу каналу визначається за формулою [27, 67, 116]

(2.80)

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

$$(2.81)$$

Підставимо (2.81) в формулу (2.76) та визначимо продуктивність дозуючого пристрою

$$(2.82)$$

Промодельюємо процес протікання рідини по каналу, утвореному манжетою та направляючою за допомогою FLOTTRAN CFD (Computational Fluid Dynamics) аналізу програмного комплексу ANSYS [12, 72, 163]. Розрахункова схема каналу показана на рисунку 2.15.

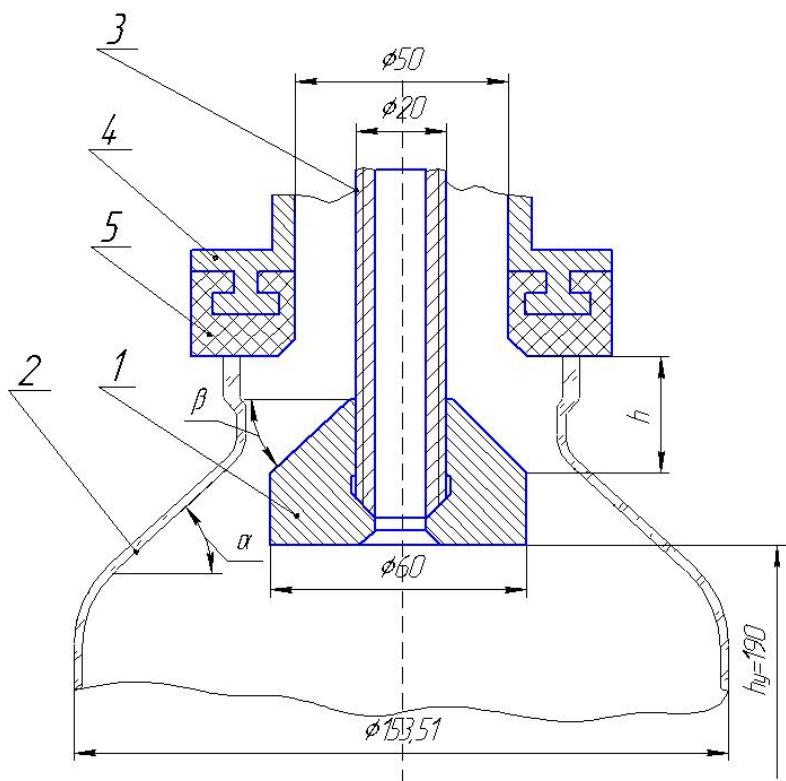


Рис. 2.15. Гідравлічна схема пристрою для розливу харчових рідин до зазначеного рівня

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

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 (

), та її зливання у банку. Параметри скляних банок наведено у таблиці 2.3. Змінними параметрами будемо вважати висоту підйому манжети відносно направляючої h та

кут нахилу дотичної до бокової сторони банки ().

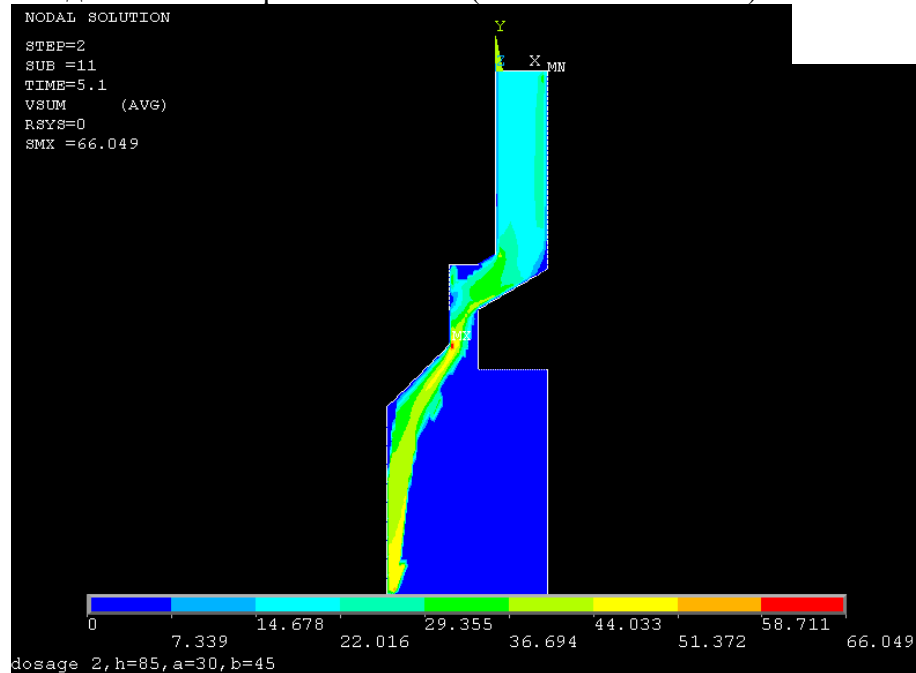


Рис. 2.16. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при мм, ,

Стандартний кут нахилу направляючої становить , тому знайдемо оптимальний режим роботи дозатора відносно змінних h та . Аналіз показав, що при висоті підйому манжети відносно направляючої мм найменша турбулентність, а отже і піноутворення, виникають при куті нахилу направляючої та куті нахилу дотичної до бічної стінки банки . Ізолінії розподілу швидкостей рідини та векторний розподіл показані на рисунках 2.16 та 2.17.

З рисунку 2. 16 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 значно менше піни, ніж при безпосередньому попаданні струменя рідини на дно банки.

Якщо висота підйому манжети відносно направляючої дорівнює мм, а кут нахилу направляючої та дотична до бокової стінки банки рівні, наприклад, , то струмінь рідини попадає безпосередньо на дно банки (рис.2.18). Це спричиняє процеси, описані вище, що призводять до значного і зовсім небажаного піноутворення в банці.

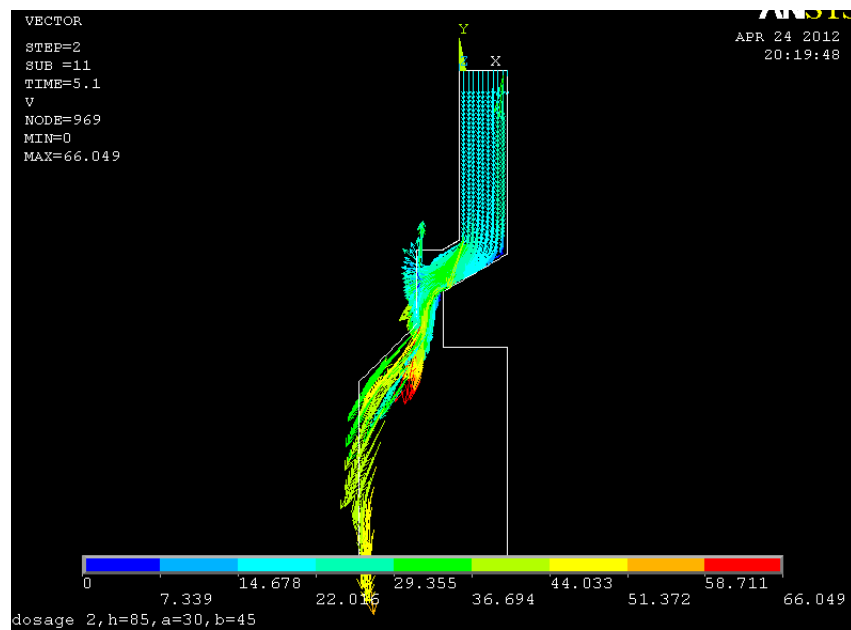


Рис. 2.17. Векторний розподіл швидкостей рідини при

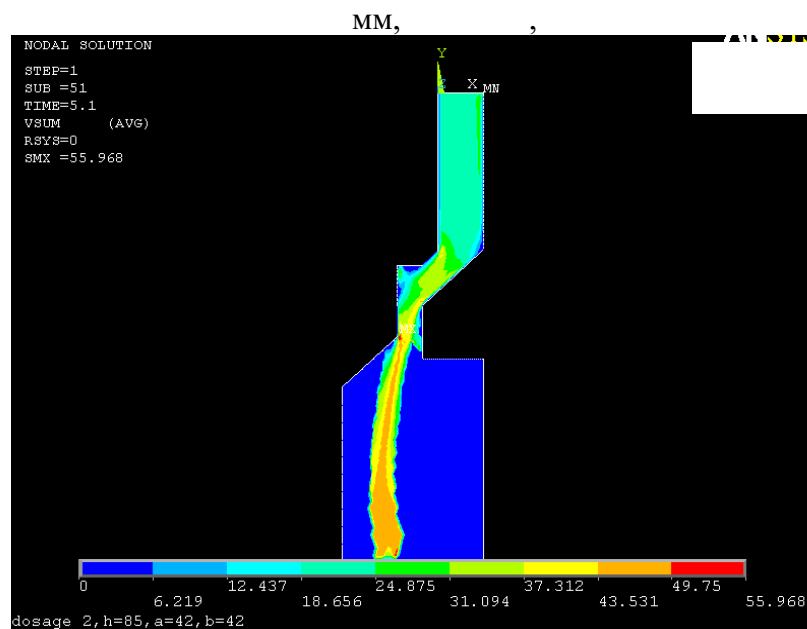


Рис. 2.18. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при

При висоті підйому манжети відносно направляючої мм та довільному співвідношенню між кутом нахилу направляючої та дотичної до бокової стінки банки, наприклад, , , струмінь рідини попадає безпосередньо на дно банки (рис. 2. 19), що призводить до збільшення піноутворення.

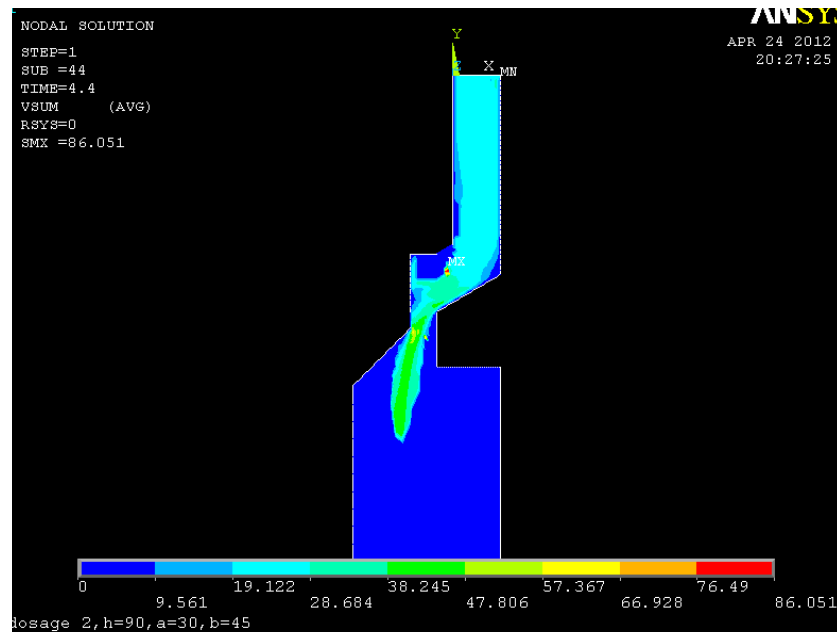


Рис. 2.19. Ізолінії розподілу швидкостей рідини при _____ мм, _____ , _____

Таким чином, для зменшення турбулізації рідини в каналі дозатора та зменшення піноутворення оптимальними параметрами є висота підйому манжети відносно

направляючої _____ мм та кут нахилу направляючої _____ .

На рис. 2.16 та 2.18 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. Експерименти показали, що для гладких стінок труб при значенні числа Рейнольдса _____ коефіцієнт опору залежить від кута повороту. Так при куті повороту _____ коефіцієнт опору становить 0,56, а при куті в _____ дорівнює 0,32.

Висновки за розділом 2

1. У дозаторі рідини за рівнем у якості визначального вузла розглянуто співвідношення величин перерізів каналів подачі рідини та відведення повітря. Запропоновано спосіб розрахунку співвідношення каналів в залежності від розмірів тари та характеристик рідини, що дозується.

2. Проведено чисельне моделювання процесу протікання рідини по каналу, утвореному манжетою та направляючою за допомогою FLOTTRAN CFD аналізу програмного комплексу ANSYS.

3. Визначено, що оптимальними параметрами для зменшення турбулізації рідини в каналі дозатора та зменшення піноутворення є висота підйому манжети відносно

направляючої _____ мм та кут нахилу направляючої _____ .

4. Побудована математична модель процесу розливання харчової рідини в скляну тару та проведено аналіз її гідродинамічної поведінки на основі чисельного моделювання на

основі програмного комплексу ANSYS.

5. Досліджено вплив коефіцієнту витрат μ на процес заповнення банки при гравітаційному методі розливу рідини до зазначеного рівня. Визначено, що доцільно визначати коефіцієнт витрат за запропонованими залежностями А.Д. Альтшуля, з урахуванням числа Рейнольдса.

6. Проаналізовано етапи заповнення скляної банки: формування струменя, який досягає дна ємності; розтікання рідини по горизонтальній площині дна ємності з формуванням відносно тонкого прошарку на ній; утворення та зхлопування у рідині повітряних порожнин; натікання рідини на бокові стінки банки та переміщення вертикально вгору фронту вільної поверхні. Реалізований алгоритм розрахунку дозволяє моделювати неперервний процес заповнення ємності.

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Технологічна ефективність процесу розливу у значній мірі визначає показники роботи всієї лінії розливу. Вона залежить від багатьох факторів, які можуть бути розбиті на дві групи: фактори, що обумовлені технологічними властивостями харчової рідини, а також фактори, що залежать від режиму роботи та параметрів розливального пристрою та умов його експлуатації.

Фактори, що обумовлені технологічними властивостями харчової рідини мають значний вплив, оскільки розлив різних харчових рідин, що відрізняються властивостями, на одній й тій самій установці при однаковому режимі роботи можуть дати різні результати [35, 36, 37, 51, 69, 123, 127, 147, 161].

Для досягнення високої технологічної ефективності процесу розливу, необхідно встановити режим процесу розливу з урахуванням властивостей харчової рідини. Основними кінематичними показниками процесу розливу, що впливають на продуктивність та точність дозування є час наповнення одиниці тари, швидкість витікання харчової рідини з дозуючого пристрою. Суттєвий вплив на вихідний продукт мають й конструктивні параметри технологічного процесу, а саме висота стовпа рідини в розливному пристрої, геометрія направляючої (кут нахилу), висота підйому манжети відносно направляючої.

У відповідності до поставлених задач у якості об'єкту дослідження прийнято технологічний процес розливу освітленого яблучного соку.

Метою експериментальних досліджень є наукове обґрунтування та розробка режимів та параметрів обладнання для розливу освітленого яблучного соку. Ефективність процесу розливу – критерій значення і характер зміни якого можна визначити лише експериментальним шляхом.

Програма експериментів складена у відповідності до раніше поставлених задач та містить наступні етапи досліджень впливу:

- технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку на його технологічну продуктивність;
- технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку на точність дозування;
- обґрунтування оптимальних технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку.

Метою представлених вище досліджень є:

- встановлення залежності між технологічною продуктивністю процесу розливу освітленого яблучного соку та його технологічними параметрами;
- встановлення залежності між точністю дозування процесу розливу освітленого яблучного соку та його технологічними параметрами;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів.

3.1 Загальна методика виконання дисертаційної роботи

При проведенні аналітичних досліджень науково-технічної літератури за темою дисертаційної роботи було визначено, що на сьогоднішній день створення нових пристроїв для розливу харчових рідин до зазначеного рівня, які дають можливість збільшення продуктивності пристрою для розливу та точності дозування, має підвищену актуальність. Цей факт і був визначальним при визначенні мети дисертаційної роботи [146, 160].

Поставлена мета і задачі вирішуються з використанням теоретичних і експериментальних методів досліджень із застосуванням сучасних вимірювальних приладів, обладнання та програмного забезпечення [158, 159].

Для одержання теоретичних залежностей параметрів пристрою для розливу харчових рідин до зазначеного рівня, на прикладі освітленого яблучного соку, використовували класичні закони гідродинаміки та комп'ютерне моделювання з застосуванням програмної

системи кінцево-елементного аналізу ANSYS. Експериментальні дані оброблювали за допомогою методів математичної статистики та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel.

Структурно-логічна схема етапів досліджень для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи приведена на рис. 3.1.

Рис. 3.1. Структурно-логічна схема етапів дослідження дисертаційної роботи

3.2 Характеристика умов проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження було проведено з метою оцінки якості процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня, визначення технологічних параметрів процесу розливу соку і процесу подачі потоку соку в зону розливу та оцінки універсальності розробленої технології для розливу освітленого яблучного соку, а також з метою перевірки виконаних нами теоретичних досліджень. Дослідження проводилися в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійської державного агротехнічного університету на базі розробленого пристрою для розливу харчових рідин до зазначеного рівня.

Для виконання експерименту використовувалися натуральні соки згідно з ГОСТ 656 – 79 "Соки плодовые и ягодные натуральные. Технические условия" [114] та ГОСТ 29135 – 91 "Соки фруктовые. Общие технические условия" [115]. А також тара ГОСТ 5717.2-2003 "Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры" [10], основні параметри та розміри банок зазначені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Основні параметри та розміри банок

№ п/п	Вміст ємності, см ³		Загальна висота банки H , мм	Діаметр циліндричної частини D , мм
	Номінальний	Повний		
1	1000	1060±20	161,0±1,3	104,0±1,8
2	1500	1550±20	194,0±1,4	114,0±1,9
3	2000	2080±30	206,0±1,4	132,0±2,1
4	3000	3200±50	235,0±1,5	153,0±2,3

3.3 Технічна база для проведення експериментальних досліджень

Для дослідження ефективності розливу освітленого яблучного соку було виготовлено експериментальний пристрій (додаток Б) для розливу харчової рідини до зазначеного рівня [27, 34]. На рис. 3.2 показано зовнішній вигляд

експериментального пристрою. Він складається з наступних основних функціональних блоків: бака 1, пристрою для розливу 2, механізму піднімання та опускання тари 3.

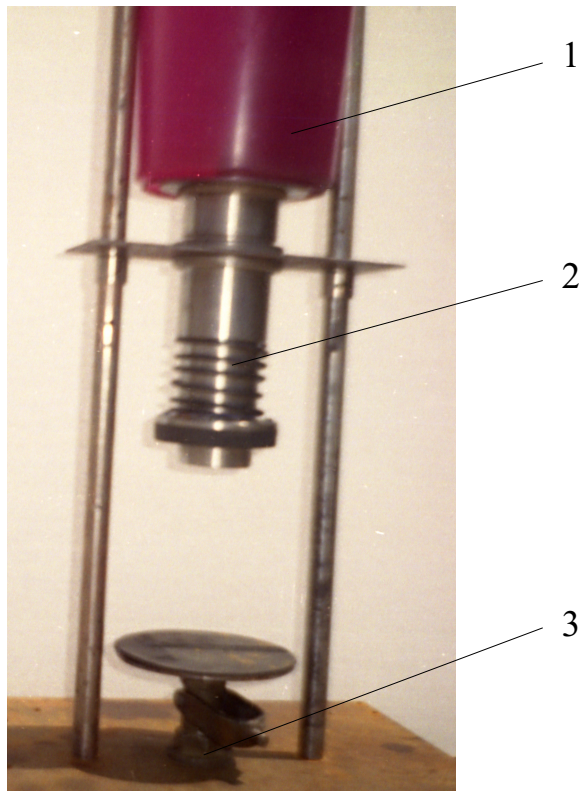
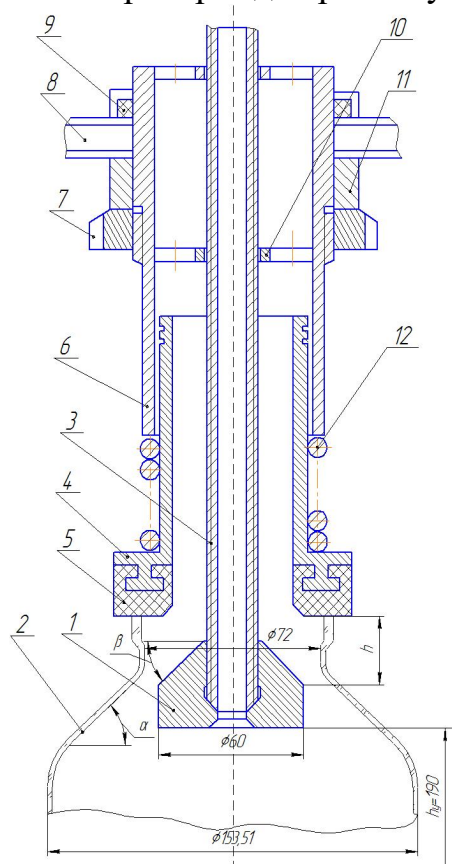


Рис. 3.2. Експериментальний пристрій для розливу харчових рідин до зазначеного рівня.

Пристрій для розливу харчових рідин до зазначеного рівня, який складається з бака 1 – циліндричний резервуар у дні якого є отвір, в якому встановлено патрон 2 (рис. 3.3) для розливу рідини за рівнем.

Пристрій для розливу містить встановлену в дно резервуара 8 гільзу 6 з підпружиненим патроном 4 і ущільнюючою манжетою 5, в патроні 4 встановлено повітряну трубку 3 з направляючою 1.



1 – направляющая; 2 – банка; 3 – пневматическая трубка; 4 – патрон; 5 – уплотняющая манжета; 6 – гильза; 7 – гайка; 8 – дно резервуара; 9 – уплотнения; 10 – втулка; 11 – вставка; 12 – пружина;

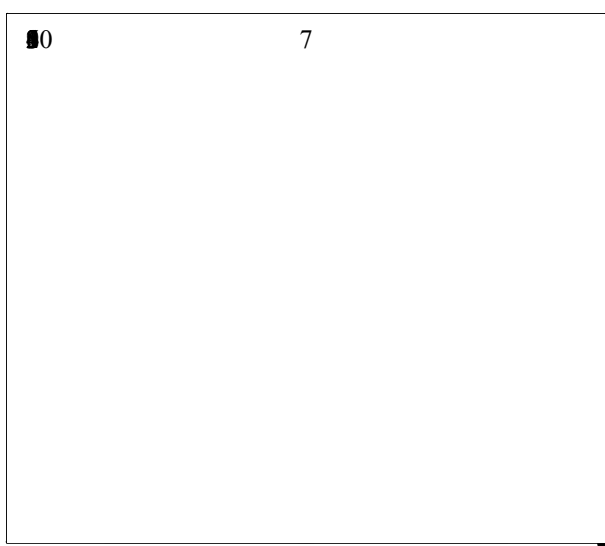
Рис. 3.3 Пристрій для розливу

Патрон для розливу працює таким чином: горловина банки щільно притискається до ущільнюючої манжети 5, при подальшому натисканні ущільнююча манжета 5 разом з підпружиненим патроном 4 піднімається до утворення між направляючою 1 і ущільнюючою манжетою 5 зазору, через який рідина попадає в банку.

Повітря, що знаходиться в банці, і піна рідини, що утворюється, через повітряну трубку 3 надходить у резервуар 8. Банка наповнюється рідиною до зазначеного рівня. Столик з банкою повертається в крайнє нижнє положення, а ущільнююча манжета 5 разом з підпружиненим патроном 4 опускає банку, і зазор перекривається.

При розливі в патроні для розливу утворюється плоске кільце між бічною поверхнею ущільнюючої манжети і конічною поверхнею направляючої 1, таким чином створюється плоске шатрове витікання рідини, що входить по дотичній до поверхні стінки банки, що виключає завихрення струменя, зменшує піноутворення, а відповідно підвищує продуктивність пристрою для розливу рідини.

Пристрій для розливу харчових рідин до зазначеного рівня входить до складу лабораторної установки (рис 3.4), яка складається з: дозатора; потенціометра КСП1 - ПЗ, ГОСТ 9245-79 "Потенциометры постоянного тока измерительные. Общие технические условия" [101]; віскозиметра ВЗ - 246, ГОСТ 9070 - 75, "Вискозиметры для определения условий вязкости лакокрасочных материалов. Технические условия" [19]; тахометра цифрового ТЦ – 5; секундоміра СП – 15,0 – 30 хв., ціна поділки 0,2 с.; пристрою для нагріву; приладу 2ТРМ1, ГОСТ Р 52931–2008 "Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия" [102



]; мікропроцесорний вимірювач – регулятор, що програмується, який дозволяє виміряти температуру в двох різних точках за допомогою датчика ТХК(L).

1 – бак; 2 – розливальний патрон; 3 – опори; 4 – підтримуюча пластина; 5 – механізм піднімання та опускання тари; 6- – потенціометр марки КСП1-ПЗ;

7 – секундомір СП-15; 8 – нагрівальний пристрій; 9 – двоканалний цифровий прилад 2ТРМ1; 10 – станина

Рис. 3.4 Загальний вигляд лабораторної установки

Принцип роботи установки полягає в тому, що:

- сік при температурі гарячого розливу подається у бак, у дні якого вмонтовано дозатор;
- одиниця тари за допомогою піднімального стола, піднімається до патрону для розливу, торець банки впирається в гумову манжету, стискає її, та відкриває циліндричну щілину, через яку рідкий продукт із резервуара заповнює вільний простір тари;
- опускаючи стіл, ми опускаємо наповнену тару, в цей же час стиснута манжета повертається до попереднього стану, та перекриває подачу рідини;
- цикл наповнення тари завершено;
- температуру соку в баку фіксуємо за допомогою потенціометра КСП1 - ПЗ, який записує температуру на діаграму;
- температуру харчової рідини у місці витікання її з дозатора у банку - цифровим приладом 2ТРМ1, цим же приладом фіксуємо температуру і у банці.

Привід пристрою для розливу здійснюється механізмом піднімання та опускання тари 5 (рис. 3.4), що дозволило регулювати частоту обертання піднімального стола та забезпечити зусилля притискання тари до ущільнюючої манжети ГОСТ 21253-75 "Автоматы наполнительные и дозирочно-наполнительные для жидких пищевых продуктов. Технические условия" [1].

Точність дозування визначали непрямим методом, а саме шляхом зважування на електричних вагах наповнених одиниць тари, число відібраних банок було рівним потроєному числу пристрою для розливу ГОСТ 21253-75.

3.4 Програма та методика експериментальних досліджень

Теоретичні дослідження щодо обґрунтування технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку проводилися з певними припущеннями [18]. Через це, з метою уточнення цих параметрів та визначення тих що бракує, програмою експерименту передбачалося:

- визначення впливу технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку на показники його роботи;
- визначення функціонального взаємозв'язку між продуктивністю і точністю дозування, основними технологічними параметрами процесу розливу освітленого яблучного соку;
- визначення оптимальних технологічних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку через аналіз рівняння регресії та експериментальну перевірку [40];
- перевірити продуктивність та точність дозування процесу розливу освітленого яблучного соку у лабораторних та виробничих умовах.

У відповідності до обраної програми досліджень було розроблено методику проведення експериментів та підготовки сировини, яку розливаемо.

1. Методика підготування сировини до розливу:

Сировину для розливу обирають відповідно до ГОСТ 656 – 79 та ГОСТ 29135 – 91 [114, 115].

Тару обираємо відповідно до ГОСТ ГОСТ 5717.2-2003 [10].

2. Методика визначення в'язкості.

Для визначення умовної в'язкості (часу витікання) лакофарбних матеріалів та продуктів, що відносяться до ньютонівських або наближених до них рідин, використовували віскозиметр ВЗ – 246 ГОСТ 9070-75 [86].

При визначенні під сопло віскозиметра підставляли мензурку місткістю 100 см³ ГОСТ 1770 – 74 "Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия" [100] з ціною поділки 1 мл, ззовні закривали отвір сопла, та заливали в резервуар віскозиметра, до країв, сік (при $t=20 - 100$ °C), надлишок соку видаляли за допомогою скляної пластинки, пересуваючи її по верхньому краю резервуару в горизонтальному напрямку. Відкривали отвір сопла, з появою рідини з сопла, включали секундомір ГОСТ 8.423-81 "Секундомеры механические. Методы и средства поверки" [109].

В момент першого переривання потоку рідини секундомір зупиняли та знімали показання часу витікання.

Кінематичну в'язкість (мм²/с) рідини визначили по ГОСТ 33-2000 "Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости" за формулою [86]

(3.1)

де c – постійна віскозиметра, мм²/с²; для сопла віскозиметра діаметром 6 мм постійна дорівнює $c = 0,0419287$ мм²/с²;

τ – середнє арифметичне часу витікання рідини, с.

Динамічна в'язкість (мП·с) по ГОСТ 33-2000 [86] за формулою

(3.2)

де ν – кінематична в'язкість, мм²/с;

ρ – щільність при температурі за якої визначали в'язкість, г/см³.

3. Методика визначення точності дозування.

Точність дозування характеризує величину відхилень фактичної витрати рідини від номінальних значень, тобто величини, яка задається об'ємом тари ГОСТ 5717.2-2003 "Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры" [10].

Точність дозування [94] (Δ , %) визначаємо шляхом визначення об'єму рідини в наповненій одиниці після розливу за формулою

(3.3)

де V_f – фактичний об'єм рідини в тарі, см³;
 V_n – номінальний об'єм рідини в тарі, см³.

При визначенні точності дозування відбираємо наповнені банки, визначаємо об'єм рідини, який знаходиться у тарі, використовуючи мірну ємність місткістю 1000 см³ ГОСТ 1770-74 "Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия" з ціною поділки 10 мл [100].

Точність дозування повинна в межах $\pm 2,0$ % для доз зверх 1000 до 10000 см³ ГОСТ 21253-75 "Автоматы наполнительные и дозировочно-наполнительные для жидких пищевых продуктов. Технические условия" [1].

4. Методика визначення піноутворення.

Інтенсивне піноутворення в більшості технологічних процесів має негативні наслідки, які виражаються в зниженні використання корисного об'єму технологічного обладнання, в збільшенні втрат продукту та зниження продуктивності обладнання.

Піна – дисперсна система, що складається з бульбашок газу, розділених рідкою (або твердою) фазою, її можна отримати, наступними методами [64, 93, 122]:

- метод струшування – за цим методом піну можна отримати, як вручну, так і з використанням вібраційних апаратів, при цьому піна утворюється за рахунок інтенсивного перемішування рідини та повітря, яке знаходиться над нею;
- метод взбивання – піна утворюється при багаторазових ударах по поверхні рідини пластини з отворами, яка прикріплена до штоку;
- метод продування повітря – за цим методом через рідину продувають повітря, за рахунок чого утворюється піна;
- метод перемішування – піна утворюється за рахунок перемішування рідини робочим органом, в результаті чого рідина захвачує повітря;
- метод виливання – піна утворюється в результаті виливання рідини з визначеної висоти на поверхню рідини, яка знаходиться в ємності;
- метод тертя – за цим методом, рушійною силою, що призводить до утворення піни є спеціальний пристрій, який сприяє тертю рідини об рідину, та сприяє захопленню повітря.

З усіх перерахованих методів при розливі харчових рідин розглянемо метод виливання, як метод, за якого на поверхні рідини, що розливається, утвориться піна, яка характеризується такими показниками піни: кратністю; стабільністю; дисперсністю.

Кратність піни визначається як відношення об'єму піни V_p до об'єму рідини V_r , яка пішла на її утворення.

(3.4)

де V_g – об'єм газу в піні, см³.

Стабільність (стійкість) піни – це час існування елементу піни (окремої бульбашки, плівки) або окремого її об'єму.

Дисперсність піни – може бути задана середнім розміром бульбашки, розподіленням бульбашок за розмірами або поверхнею розділення розчин – газ в одиниці об'єму піни.

В харчовій промисловості утворення піни при наповненні тари харчовою рідиною, має негативні наслідки. Тому ряд робіт [9, 17, 64, 122] спрямовані на боротьбу з нею, використовують такі методи: хімічний та механічний. Оскільки харчова промисловість

працює з продуктами харчування, то доцільним до застосування є механічний метод, який є одним з традиційних та широко розповсюджених прийомів розділення та руйнування піни, яке відбувається за рахунок утворення в піні перепаду гідростатичного тиску або впливаючи на піну робочих тіл у вигляді твердих поверхонь, рідин, газів, пари при їх відносному русі та взаємному змішуванні.

Робочим тілом, яке встановлено на шляху руху рідини є направляюча 1 (рис. 3.3) яка спрямовує потік рідини по дотичній до стінки банки, та утворює "шатровий метод" витікання рідини.

Для визначення висоти піни було прикріплено до банки лінійку типу ЛП ГОСТ 17435-72 "Линейки чертежные. Технические условия" [73] з відхиленням $\pm 0,26$. Стійкість піни визначали за допомогою механічного секундоміру ГОСТ 8.423-81 "Секундомеры механические. Методы и средства поверки." [109].

5. Методика визначення висоти підняття манжети відносно направляючої

Висоту підняття манжети, відносно направляючої фіксували за допомогою мірної лінійки типу ЛП ГОСТ 17435-72 "Линейки чертежные. Технические условия" з відхиленням $\pm 0,26$, яку було приєднано до (рис. 3.4) ущільнюючої манжети 5, що прикріплена до патрону 4. Висоту підняття фіксували за переміщенням мірної лінійки відносно нерухомої гільзи: знімали показники з лінійки до початку операції наповнення та після підйому механізму піднімання та опускання стола 5 (рис. 3.5), різниця значень є висотою, яку ми визначаємо.

Методика планування та складний характер взаємозв'язків факторів що впливають на ефективність процесу розливу, визначили необхідність статистичних методів дослідження технологічного процесу [84, 88, 89, 129].

Для дослідження, основу складали аналіз і формування завдання, фіксування вихідних зв'язків, вибір вхідних незалежних факторів та показників оцінки ефективності, обґрунтування і вибір виду математичної моделі та її функціонування, виконання експериментів та аналіз їх результатів, побудова математичної моделі й перевірка її адекватності, вибір оптимальних технологічних параметрів процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня.

На основі проведеної параметризації, апріорного вивчення та теоретичних досліджень процесу розливу харчових рідин, були визначені фактори, що найбільше впливають на продуктивність процесу розливу та точність дозування. До них відносяться висота стовпа рідини в розливному пристрої, кут нахилу направляючої, висота підйому манжети відносно направляючої. Варіювання відібраних факторів здійснювалося у межах зумовлених можливими технологічними показниками процесу розливу харчових рідин.

Для отримання моделі квадратичного виду використовували ротатабельне центральне композиційне планування (РЦКП). Технологія проведення РЦКП дозволяє отримати підвищену точність прогнозування функції відгуку, при цьому значно знижується загальна кількість дослідів, що необхідно провести [59, 81, 162].

На даному етапі дослідженню піддавався вплив конструктивних параметрів та кінематичних режимів на продуктивність Q процесу розливу освітленого яблучного соку та точність дозування Δ . Виходячи з теоретичного аналізу, що було виконано у попередньому розділі, основними факторами, що впливають на зазначені показники, є: кут нахилу направляючої α – X_1 ; висота підйому манжети відносно направляючої h – X_2 та висота стовпа рідини в пристрої для розливу H – X_3 . Зважаючи на вище зазначене, кількість факторів n_f дорівнюватиме 3, у відповідності до цього було визначена сумарне число дослідних точок у експерименті – 20 [81, 82, 84]. В ході експерименту фактори варіювались на п'яти рівнях: базовому (0), верхньому (+1) та нижньому (-1) рівнях повнофакторного експерименту, а також верхній (+ α) та нижній (- α) зоряних точках. Величина зоряного плеча виходячи з кількості факторів, була прийнята рівною 1,682 [81, 84]. Порядок проведення експериментів матриці РЦКП носив випадковий характер та визначався за допомогою генератору випадкових чисел.

Межі варіювання факторів матриці вказані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Межі варіювання факторів при експериментальному визначенні впливу кута нахилу направляючої, висоти підйому манжети відносно направляючої та висоти стовпа рідини в пристрої для розливу на продуктивність та точність дозування освітленого яблучного соку

Фактори		-1	0	+1	ІВР	+ α	- α
X1	α , град	30	40	50	10	56,820	23,180
X2	h, м	0,008	0,013	0,018	0,005	0,0214	0,0046
X3	H, м	0,3	0,4	0,5	0,1	0,568	0,232

Таблиця 3.3

Матриця ротатбельного центрального композиційного планування

		X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1X2X3	X12	X22	X32
N ϕ	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1
	3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
	4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
	5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
	6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
N α	9	+1	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0
	10	+1	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0
	11	+1	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0
	12	+1	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0
	13	+1	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828
	14	+1	0	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828
N θ	15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Дослідження проводилися на експериментальному пристрої для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня (рис. 3.2). Відповідно до матриці ротатбельного центрального композиційного планування таблиця 3.3, на повітряну трубку 3 (рис. 3.3) нагвинчували направляючу 1 з кутом α , згідно із необхідною висотою підйому манжети відносно направляючої h, фіксували потрібну висоту. Висоту стовпа рідини в пристрої для розливу H підтримували у постійному стані за допомогою додаткової ємності.

Банки почергово встановлювалися на механізм піднімання та опускання тари 5 (рис. 3.4) на експериментальній установці при зміні кута направляючої, висоти підйому манжети відносно направляючої та висоти стовпа рідини в розливному приборі. При цьому

контролювали об'єм рідини в тарі. Таким чином, визначали продуктивність розливального пристрою при різних режимах роботи.

3.5 Методика обробки експериментальних даних

Метою реалізації процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня є розлив освітленого яблучного соку на експериментальному пристрої для розливу при умові гравітаційного розливу "шатровим методом". Оскільки продуктивність пристрою для розливу та точність дозування залежить від цілого ряду параметрів процесу та фізико-механічних властивостей харчової рідини, то за допомогою теоретичних досліджень її визначити складно.

В задачу досліджень входило: відбирання факторів, що впливають на продуктивність та точність дозування, проведення експериментів по опису процесу розливу харчової рідини рівнянням регресії, отримання оптимальних технологічних показників для збільшення продуктивності пристрою для розливу та точності дозування.

При теоретичному дослідженні, апріорному вивченні та проведенні параметризації процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня було виявлено фактори, що у найбільшій мірі впливають на продуктивність та точність дозування харчової рідини: кут нахилу направляючої; висота підйому манжети відносно направляючої; висота стовпа рідини в пристрої для розливу.

У розділі 2 даної роботи теоретично визначено залежність продуктивності розливального пристрою від: кута нахилу направляючої; висоти підйому манжети відносно направляючої; висоти стовпа рідини в розливному пристрої. Необхідно провести експериментальні випробування цих залежностей з метою перевірки їх достовірності.

Точність дозування розливального пристрою визначали за формулою (3.3).

Продуктивність пристрою для розливу визначали за формулою [50, 67, 145]

(3.5)

де d_m – внутрішній діаметр ущільнюючої манжети, м;

H – висота рівня рідини в дозаторі, м;

α – кут нахилу направляючої, град.;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

– коефіцієнт витрат, що характеризує опір зливного тракту;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_i$ – коефіцієнти місцевих опорів (конфузор, дифузор, раптове звуження, розширення, перепона, тощо).

3.6. Методика визначення продуктивності та точності дозування пристрою для розливу

На повітряну трубку 3 (рис. 3.3) нагвинчували направляючу 1 з кутом конусності α - 300; 450; 600, згідно із необхідною висотою підйому манжети відносно направляючої, фіксували потрібну висоту h – 0,008; 0,019; 0,030 м. Висоту стовпа рідини в пристрої для розливу H - 0,4; 0,5; 0,6 м підтримували у постійному стані за допомогою додаткової ємності.

Банки почергово встановлювали на механізм піднімання та опускання тари 5 (рис. 3.4) на експериментальній установці при зміні кута направляючої, висоти підйому манжети відносно направляючої та висоти стовпа рідини в пристрої для розливу.

Таким чином, визначали продуктивність розливогого пристрою при різних режимах роботи за формулою (3.5).

З метою визначення точності дозування контролювали об'єм рідини в тарі, застосовуючи мірну ємність місткістю 1000 см³ ГОСТ 1770-74 "Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия" [100] з ціною поділки 10 мл.

Точність дозування розливогого пристрою при різних режимах роботи визначали за формулою (3.3).

Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне, здійснювалась перевірка на грубі помилки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів [135]). Якщо дослід виявлявся помилкою, то результати перераховувалися.

Отримані дані заносилися у журнал та порівнювалися зі значеннями, отриманими за теоретичними формулами. Для кількісного порівняння розраховувався коефіцієнт детермінації

.3

(3.6)

де M – кількість точок експерименту;

y_{Ti} , y_{Ei} – відповідно теоретичне та експериментальне значення функції відгуку;

- середньоарифметичне значення експериментальних даних функції відгуку.

Вважали, що теоретична залежність задовільно описує процес, якщо коефіцієнт детермінації є більшим за 0,95 [135].

Висновки за розділом 3

1. Для експериментальної перевірки аналітичних досліджень розроблена програма проведення експериментальних досліджень і встановлені межі варіювання факторів пристрою для розливу до зазначеного рівня.

2. Для проведення експериментальних досліджень процесу розливу освітленого яблучного соку розроблено схему та виготовлено експериментальний пристрій. Обґрунтовано вибір вимірювальних пристроїв.

3. Проаналізовано та обґрунтовано вибір методу визначення точності дозування. Описаний порядок перевірки на грубі помилки вимірювання, перевірка достовірності теоретичних залежностей. Результати вважаються достовірними при значенні коефіцієнта детермінації більше 0,95. Наведено порядок проведення ротатбельного центрального композиційного планування повнофакторного експерименту, результати якого обробляються за допомогою комп'ютерних програм.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОЗЛИВУ
ОСВІТЛЕНОГО ЯБЛУЧНОГО СОКУ ДО ЗАЗНАЧЕНОГО РІВНЯ4.1 Визначення оптимальних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку
до зазначеного рівня

В результаті проведення досліджень за розробленою методикою для визначення оптимальних параметрів процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня через визначення продуктивності пристрою для розливу та точності дозування отримано масив даних. Отримані в результаті дослідів значення показників оброблювались з використанням прикладних програм Microsoft Office Excel 2003, Matchcad [2, 39, 57, 79, 121], а також ряду нестандартних спеціалізованих програм, на рис. 4.1 наведено алгоритм обчислення [164, 165].

Розраховувались дисперсії відтворюваності дослідів, однорідність дисперсії (критерій Кохрена). Перевірку значущості коефіцієнтів отриманих рівнянь регресії проводили за критерієм Стюдента, а адекватність рівняння – за критерієм Фішера. Критичний рівень значущості приймали рівним 0,05.

Матриця ротатбельного центрального композиційного планування та значення функції відгуку, що було отримано в результаті експериментальних досліджень з розливу освітленого яблучного соку, наведено в таблиці 4.1.

Рис. 4.1. Блок-схема алгоритму обчислення

Таблиця 4.1

Матриця ротатбельного центрального композиційного планування

		X_0	X_1	X_2	X_3	X_1 X_2	X_1 X_3	X_2 X_3	X_1 X_2 X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Продуктивність Q, бан/хв.	Точність дозування Δ , %
Nф	1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	8,320	-1,350
	2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	9,760	-2,370
	3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	10,680	-2,293
	4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	12,140	-3,313
	5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	9,240	0,650
	6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	10,680	-0,190
	7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	11,600	-0,293
	8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	13,040	-1,100
	9	1	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0	9,500	-2,030
	10	1	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0	11,960	-2,450

N α	11	1	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	8,620	0,030
	12	1	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	12,580	-1,870
	13	1	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	10,340	-2,070
	14	1	0	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	11,520	2,420
N σ	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,860	-0,170
	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,800	-0,480
	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,760	-0,150
	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,820	-0,420
	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,720	-0,500
	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,820	-0,16

При обробці експериментальних даних було визначено дисперсію помилок спостереження D_n , критичні значення коефіцієнтів рівняння регресії (для груп коефіцієнтів по їх взаємодії: вільний коефіцієнт, одинарна взаємодія, міжфакторна взаємодія та квадратична взаємодія B_0, B_i, B_{ij}, B_i^2 відповідно), дисперсія помилок (групується аналогічно коефіцієнтам) S_0, S_i, S_{ij}, S_i^2 , помилка неадекватності та розрахунковий критерій Фішера F_p , які розраховуються відповідно до методики (табл. 4.2) [11, 80, 82, 113].

Таблиця 4.2

Результати розрахунків та аналіз рівнянь регресії при розливі освітленого яблучного соку до зазначеного рівня

Показник	D_n	Критичні значення				Дисперсії помилок				S_n	F_p
		B_0	B_i	B_{ij}	B_{ii}	S_0	S_i	S_{ij}	S_i^2		
Продуктивність Q	0,0025	0,052	0,035	0,045	0,034	0,020	0,013	0,018	0,013	0,173	2,453
Точність дозування Δ	0,029	0,178	0,118	0,155	0,115	0,069	0,046	0,060	0,045	1,084	4,636

Для перевірки моделі на адекватність використовували критерій Фішера, табличне значення якого було визначено виходячи з загальної кількості досліджень, кількості досліджень на нульовому рівні та числа значущих коефіцієнтів [80, 82, 130]. Для даного етапу експериментальних досліджень табличне значення критерію Фішера складає $F_T = 4,7$ для рівня значущості 0,95 [80, 82, 130].

де F_p – розрахункове значення критерію Фішера;

F_m – табличне значення критерію Фішера.

де σ^2 – дисперсія адекватності;

D_n – помилка спостереження.

Умова значущості коефіцієнтів рівняння регресії

де $t_{\text{розрах}} = \frac{b_j}{\sigma_{b_j}}$ – розрахункові значення критерію Стюдента

$t_{\text{табл}} = t_{q, f}$ – табличне значення критерію Стюдента для рівня значущості q и ступеню свободи f .

де $\sigma_{b_j}^2 = \frac{\sigma^2}{N}$ – дисперсія коефіцієнтів регресії

де N – кількість дослідів.

З метою перевірки значущості коефіцієнтів рівняння регресії було використано методіку, відповідно до якої відбувалось порівняння розрахункового значення коефіцієнту та критичного його значення [33, 107].

В результаті розрахунків було отримано ряд поліноміальних математичних моделей, що описують залежність функцій відгуку від вхідних параметрів.

Продуктивність пристрою для розливу

(4.1)

Точність дозування

(4.2)

В отриманих рівняннях кодовані фактори X_1 , X_2 та X_3 пов'язані з незалежними змінними показниками α (кутом нахилу направляючої), h (висотою підйому манжети відносно направляючої) та H (висотою стовпа рідини в пристрої для розливу) залежностями виду

(4.3)

EMBED Equation.DSMT4

(4.4)

(4.5)

4.2 Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від кута нахилу направляючої

Аналіз результатів повнофакторного експерименту, представлених у вигляді рівнянь регресії (4.1) та (4.2) адекватно описують процес розливу освітленого яблучного соку, дають можливість побачити вплив на параметри оптимізації всіх незалежних факторів.

Для визначення впливу кута нахилу направляючої на продуктивність пристрою для розливу та точність дозування, було проведено експериментальні дослідження (додаток А, табл. А.1), а також отримані регресивні залежності представлені на рис. 4.2.

Критичне значення кута нахилу направляючої X_1 визначалось шляхом диференціювання рівняння (4.1) для продуктивності пристрою для розливу та (4.2) для точності дозування, при закріплених факторах X_2 і X_3 , шляхом прирівнювання отриманого рівняння нулю та його вирішення.

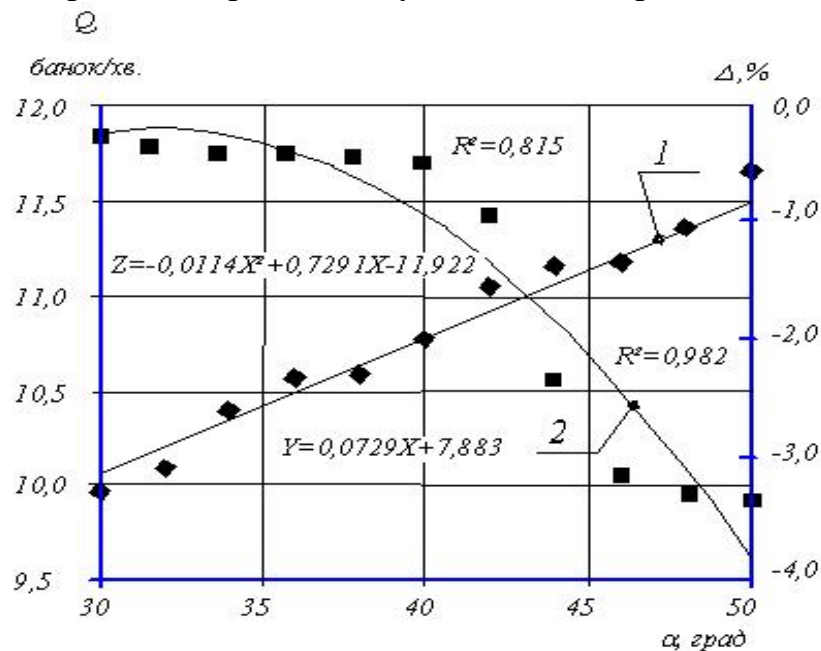


Рис. 4.2. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від кута нахилу направляючої при $H=0,4\text{м}$, $h = 0,013\text{м}$

1 – крива залежності продуктивності від кута нахилу направляючої;

2 – крива залежності точності дозування від кута нахилу направляючої

При фіксованому значенні фактору X_2 на його оптимальному значенні 13 мм (розділ 2), продуктивність пристрою для розливу зростає. При збільшенні кута нахилу направляючої, більше оптимального значення 30град., зменшується точність дозування, оскільки змінюється траєкторія руху рідини в гідравлічному каналі і рідина попадає на дно банки, що призводить до турбулізації рідини в каналі та збільшення піноутворення. Зі збільшенням кута нахилу направляючої до 47 град. отримуємо неякісне наповнення тари, точність

дозування понижується до $-3,15\%$, при цьому продуктивність становить 11,179 банок/хв. При куті нахилу 30 град. продуктивність пристрою для розливу 9,963 банок/хв., точність дозування $-0,3\%$.

4.3 Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти підйому манжети

На рис. 4.3 наведено графіки залежностей продуктивності та точності дозування від висоти підйому манжети відносно направляючої, при фіксованих значеннях факторів $\alpha = 40$ град., $H = 0,4$ мм (додаток А, табл. А.2).

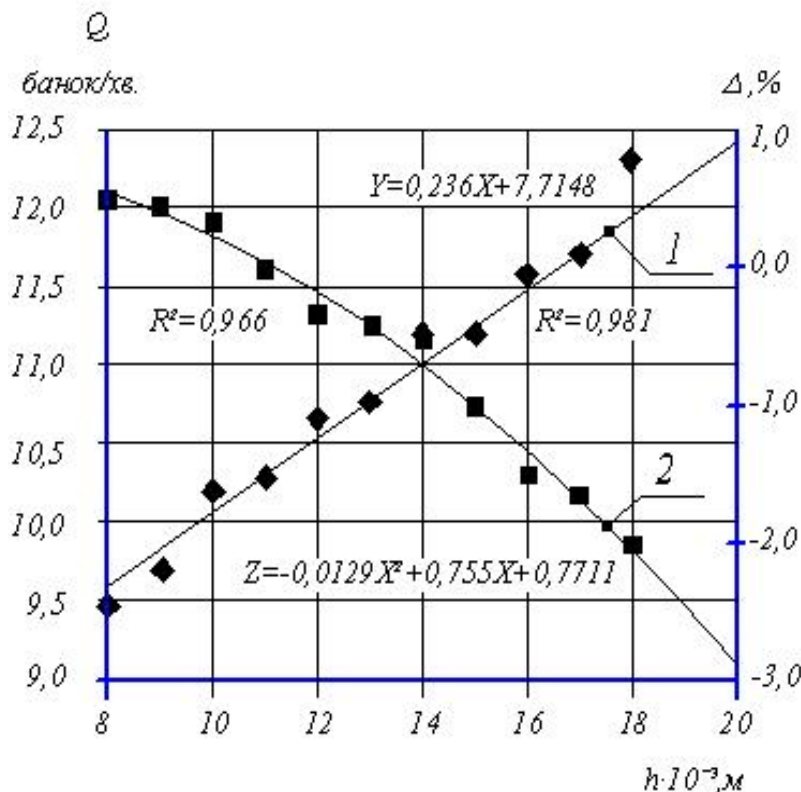


Рис. 4.3. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти підйому манжети відносно направляючої при $H=0,4\text{м}$, $\alpha = 40$ град
1 – крива залежності продуктивності від висоти підйому манжети відносно направляючої;
2 – крива залежності точності дозування від висоти підйому манжети відносно направляючої

Аналіз кривих дозволяє зробити висновок, що при збільшенні висоти підйому манжети відносно направляючої, продуктивність пристрою для розливу зростає, при досягненні оптимального значення продуктивність веде себе таким самим чином, як і на графічній залежності (рис. 4.2) від кута нахилу направляючої.

Висота підйому манжети відносно направляючої впливає на точність дозування таким чином: при зміні висоти вихідної щілини від 8 до 18 мм змінюється ширина вихідного каналу, кут нахилу направляючої відносно кута дотичної до стінки банки зсувається відносно оптимального значення 30 град., що призводить до зменшення точності дозування, оскільки, як і в попередньому випадку, змінюється траєкторія руху рідини в гідравлічному каналі і рідина потрапляє на дно банки, що призводить до турбулізації рідини в каналі та збільшення піноутворення.

При висоті вихідної щілини в межах 8...11 мм продуктивність пристрою для розливу становить від 9,475 до 10,662 банок/хв., збільшення висоти підйому направляючої призводить до зниження точності дозування, та складає від $-0,33$

% до – 2 %.

4.4 Дослідження залежності продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти стовпа рідини

Результати експериментальних досліджень залежностей продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти стовпа рідини в пристрої для розливу (додаток А, табл. А.3) зображено на відповідних графічних залежностях рис. 4.4., при фіксованих значення факторів $\alpha=40$ град., $h = 13$ мм.

Найбільше значення продуктивності пристрою для розливу спостерігається при висоті стовпа рідини $H = 0,5$ м, при цій же висоті має місце максимальне відхилення від точності дозування 2,75 %, оскільки дана висота стовпа рідини спричиняє більшу швидкість витікання рідини. При висоті стовпа рідини $H = 0,3$ м відхилення від точності дозування складають - 3,25 %, оскільки висота стовпа рідини на пряму впливає на швидкість витікання.

Найбільша продуктивність розливого пристрою спостерігається при висоті стовпа рідини $H = 0,5$ м, при цій же висоті мають місце максимальні відхилення від точності дозування 2,75 % що свідчить про перелив тари, оскільки дана висота стовпа рідини спричиняє більшу швидкість витікання рідини. При висоті стовпа рідини $H = 0,3$ м відхилення від точності дозування складають -3,25 %, як видно із графічної залежності (рис. 4.4) має місце недолив, оскільки висота стовпа рідини на пряму впливає на швидкість витікання.

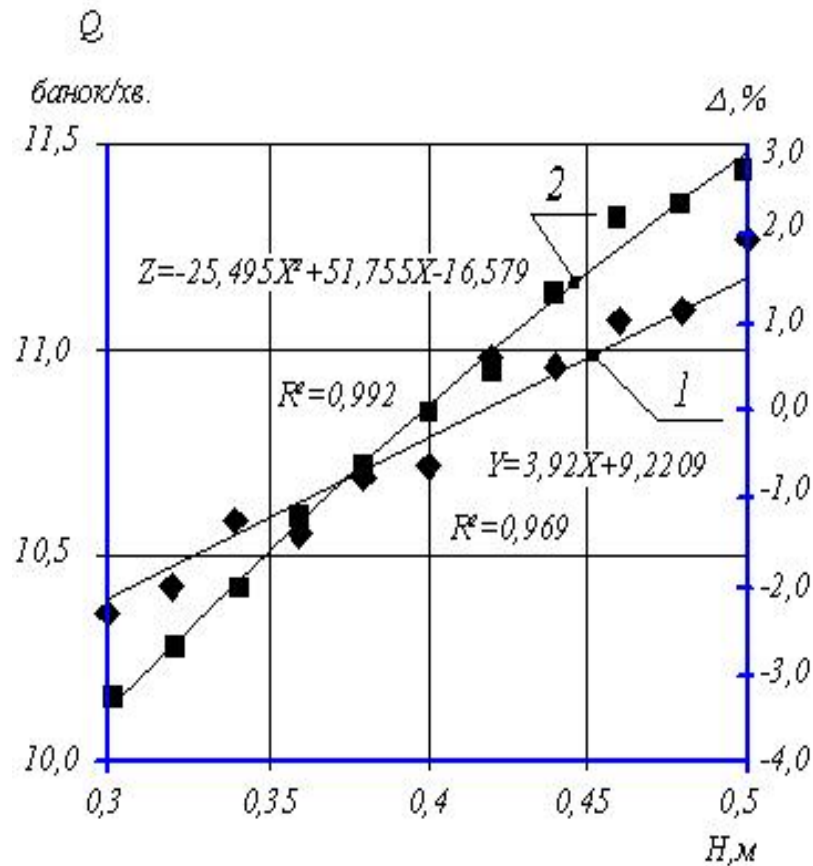


Рис. 4.4. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності дозування від висоти стовпа рідини при $h=0,013\text{м}$, $\alpha = 40^\circ$

- 1 – крива залежності продуктивності від висоти стовпа рідини;
 2 – крива залежності точності дозування від висоти стовпа рідини

Висновки за розділом 4

1. Проведений аналіз функціонування технологічного процесу розливу освітленого яблучного соку показав, що техніко-економічна сутність задачі полягає в узгодженні технологічних та конструктивних показників роботи з метою підвищення продуктивності та точності дозування пристрою для розливу.
2. В результаті обробки експериментальних даних отримані математичні моделі процесу розливу освітленого яблучного соку, адекватність яких достатня для використання їх, як базових при моделюванні.
3. При аналізі проведених експериментальних досліджень взаємозв'язку технологічних та конструктивних показників процесу розливу освітленого яблучного соку з технологічними параметрами роботи пристрою для розливу встановлено лінійний характер залежностей для визначення продуктивності, та нелінійний характер залежностей для визначення точності дозування.
4. Експериментально встановлено, що необхідні для забезпечення високої продуктивності пристрою для розливу та точності дозування, діапазони висоти

підйому манжети відносно направляючої повинні знаходитися в межах від 8 до 13 мм; діапазони висоти стовпа рідини в пристрої для розливу не повинні виходити за межі 0,4 м, а кут нахилу направляючої повинен знаходитися в межах від 30 до 45 град.

5. Порівняння теоретичних та експериментальних даних визначило достатню для практичних цілей ступінь фізико-математичного обґрунтування зв'язку між продуктивністю та точністю дозування пристрою для розливу, характеристиками харчових рідин, технологічними параметрами роботи пристрою.

6. В результаті експериментальних досліджень підтверджено достовірність теоретично отриманих залежностей для визначення продуктивності пристрою для розливу освітленого яблучного соку.

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Розробка промислового зразка пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня

Для створення промислового зразка пристрою для розливу харчової рідини до зазначеного рівня використовували розрахункові залежності розділу 2 та експериментальні дані, отримані з дослідження експериментальної установки пристрою для розливу (розділ 3 і 4).

Пропускна здатність машини для розливу повинна відповідати наступній умові

$$Q_m \geq Q_l, \quad (5.1)$$

де Q_m – необхідна механічна пропускна здатність машини, м³/год;

Q_l – пропускна здатність лінії, м³/год.

Пропускна здатність машини для розливу Q_m , м³/с, визначають за формулою (3.5)

де d_m – внутрішній діаметр ущільнюючої манжети, м, d_m ;

h – висоти підйому манжети відносно направляючої, м;

H – висота рівня рідини в дозаторі, м;

α – кут нахилу направляючої, град.;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

μ – коефіцієнт витрат, що характеризує опір зливного тракту ($\mu = 0,5 \dots 0,65$) [50, 52, 148];

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_i$ – коефіцієнти місцевих опорів (конфузор, дифузор, раптове звуження, розширення, перепона, тощо) [50].

За результатами експериментальних досліджень h – висота підйому манжети відносно направляючої повинна знаходитися в межах від 8 до 13 мм; H – діапазони висоти стовпа рідини в пристрої для розливу не повинні виходити за межі 0,4 м, а кут нахилу направляючої α – повинен знаходитися в межах від 30 до 45 град.

Визначаємо час τ , с, необхідний для наповнення однієї пляшки

$$(5.2)$$

де τ – час наповнення однієї пляшки, с;

m – кількість пристроїв для наповнення, шт.

По відомим законам гідравліки час τ , с, наповнення тари до зазначеного рівня визначається за формулою

(5.3)

де Q_m - об'єм рідини в тарі, м³.

Площа перерізу зливного каналу S_p , м², визначається за формулою

(5.4)

де D – діаметр зливного каналу в даному перерізі, м;
 d – діаметр повітряної трубки, м.

Згідно умов розливу маємо наступну нерівність

(5.5)

де S_{pv} – площа перерізу повітряної трубки, м².

(5.6)

підставивши в формулу (5.4) формули (5.5) та (5.6) отримаємо

(5.7)

Тоді

(5.8)

звідки

(5.9)

Враховуючи товщину стінки повітряної трубки k , мм, діаметр D , м, зливного каналу визначиться

(5.10)

де k – товщина стінки повітряної трубки, мм (k

Зробимо підстановку в формулу (5.3) отримаємо

(5.11)

Звідси визначимо діаметр повітряної трубки

$$\dots \quad (5.12)$$

Кутова швидкість каруселі ω , рад/с, визначається за формулою

$$\dots \quad (5.13)$$

де n - частота обертання каруселі, об/хв.

Тривалість одного оберту T , с, каруселі визначається згідно формули

$$\dots \quad (5.14)$$

де T – тривалість одного оберту каруселі, с.

Кількість обертів каруселі n_k , об/хв., визначається

$$\dots \quad (5.15)$$

Для попередніх розрахунків потужності N_m , кВт, машини можна користуватися наступною формулою

$$\dots \quad (5.16)$$

де G_m – вага машини, кг;

d_1 – діаметр кола по центрам куль упорного підшипника головного вала, м $d_1=0,3$ м

;

ω - кутова швидкість каруселі, рад/с.

Сумарна потужність на головному валу автомата N , кВт, визначається:

$$\dots \quad (5.17)$$

де η_k - ККД підшипників кочення, η_k

Методика розрахунку пристрою для розливу впроваджена в навчальний процес кафедри Обладнання переробних та харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету, що підтверджено актом впровадження (додаток В). Документація на розроблений пристрій для розливу та методика його розрахунку передана до товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь, Запорізької області), що підтверджено відповідним актом (додаток Г), проведені економічні

розрахунки і здійснено впровадження у виробництво пристрою для розливу харчових рідин до зазначеного рівня в товаристві з обмеженою відповідальністю "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області), що підтверджено відповідним актом (додаток Д).

Результати експлуатаційних випробувань розробленого промислового зразку машини, стосовно впливу технологічних та конструктивних параметрів і режимів роботи на якість розливу харчових рідин не відрізняються від отриманих на експериментальному пристрої. Технічна характеристика промислового зразка, складена на основі експлуатаційних випробувань, зведена у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика промислового зразка для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня

Показник	Значення
Продуктивність, банок/хв.	60...120
Потужність електродвигуна, кВт	1,1 кВт
Маса, кг	1250
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1850
ширина	1370
висота	2450

В таблиці 5.2 представлено порівняльну характеристику розробленого пристрою для розливу харчових рідин, на прикладі освітленого яблучного соку, до зазначеного рівня з іншими дозувально – наповнювальними автоматами типу ДН1 для типорозміру банок 1-82-3000 [35, 36, 111].

Таблиця 5.2

Порівняльна характеристика різних типів дозувально – наповнювальних автоматів типу ДН1

Тип дозувально – наповнювального автоматату	Продуктивність, банок/хв.	Число дозаторів, шт.	Номінальна потужність, кВт
ДН1-3-63-1	40...80	10	1,1
ДН1-3-63-2	20...40	10	1,1
ДН1-3-63	40...80	10	1,1
Ш18-КНБ	34...63	10	1,1
Промисловий зразок	60...120	10	1,1

5.2 Економічна ефективність впровадження промислового зразка для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня

Розрахунок економічної ефективності використання розробленого пристрою для розливу із запропонованими параметрами і режимами роботи на зміну наповнювального автомата Ш18 – КНБ проведений згідно з стандартними методиками [59].

Розрахунок базується на даних товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь Запорізької області), де здійснено впровадження, що підтверджено відповідним актом (додаток Г) і відображає типовий стан багатьох підприємств України, які використовують пристрої для розливу в лініях розливу для розливу харчових рідин до зазначеного рівня.

Вартість та енерговитрати розробленого розливального пристрою базуються на даних товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь Запорізької області) та підтверджені актом передачі конструкторсько-технологічної документації (додаток Г), а також на даних товаристві з обмеженою відповідальністю "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області), що підтверджено відповідним актом (додаток Д).

Початкові дані для розрахунку економічної ефективності приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Вихідні дані для розрахунку

Показники	Од. вим.	Базовий варіант Ш18 – КНБ	Розроблений промисловий зразок	Обґрунтування
1	2	3	4	5
Маса апарата	кг	1230	1250	Техн. характеристика
Прейскурантна ціна	тис. грн.	96,57	34,27	Дані ТОВ «ТРИНА»
Продуктивність	банок/хв .	34...63	60...120	Техн. характеристика
Номінальна потужність	кВт	1,1	1,1	Техн. характеристика
Балансова вартість апарата	тис. грн.	120,23	42,67	Розрахункові дані
Обслуговуючий персонал	чол.	1	1	Розрахункові дані
Річний обсяг виробництва продукції	т/рік	16000	16000	Розрахункові дані
Річне завантаження машини	ч/рік	5148	10368	Розрахункові дані

Кількість змін роботи	змін/дн	2	2	Розрахункові дані
Кількість апаратів	шт.	1	1	Розрахункові дані
Середня собівартість сировини (соку)	грн./кг	10,27	10,27	Розрахункові дані
Середньоденна заробітна плата з нарахуваннями	грн.	109,00	109,00	Розрахункові дані
Вартість виробничої площі	тис. грн.	93,01	93,01	Розрахункові дані

Продовж. табл.5.3

1	2	3	4	5
Витрати праці на виробництво 1 тони продукції	люд. дн.	0,09	0,04	Розрахункові дані
Норма амортизаційних відрахувань для обладнання	%	9,1	9,1	Норми амортизаційних відрахувань
Норма амортизаційних відрахувань для будинків	%	2,5	2,5	Норми амортизаційних відрахувань
Норматив для відрахувань на утримання і ремонт обладнання	%	7,2	7,2	Норми амортизаційних відрахувань
Норматив відрахувань на утримання і поточний ремонт будинків	%	2,2	2,2	Норми амортизаційних відрахувань

Прейскурантну ціну розробленого промислового зразка визначимо за формулою

(5.19)

- де
- прејскурантна ціна пристрою для розливу, грн;
 - маса дозуючих пристроїв для розливу без комплектуючих покупних виробів, кг, $=1250$ кг;
 - собівартість 1 кг деталей машини без комплектуючих покупних виробів, грн/кг, $=20$ грн/кг;
 - загальна вартість комплектуючих покупних виробів за прејскурантними цінами, грн; $=4800$ грн;
- 1,15 – коефіцієнт, що враховує середнє перевищення оптової ціни над собівартістю.

Балансова вартість апарата визначається шляхом додавання до її преїскурантної ціни торгово-транспортних і складських витрат у розмірі 12,5% і витрат на монтаж на робочому місці в розмірі 10...15% преїскурантної ціни.

Результати розрахунків капітальних вкладень при впровадженні промислового зразка дозувально – наповню вального автомату представлені в табл.5.4.

Таблиця 5.4

Розрахунок капітальних вкладень			
Показники	Од. вим.	Ш18 – КНБ	Розроблений промисловий зразок
Балансова вартість апарата	тис. грн.	120,23	42,67
Вартість виробничої площі	тис. грн.	93,01	93,01
Разом:	тис. грн.	213,24	135,68
Річний обсяг виробництва	тон	16000	16000
Питомі капітальні витрати	грн./т	14,45	8,48

Наведені витрати на одну тонну розлитого соку визначаються за формулою

(5.20)

де - наведені витрати на виробництво 1т продукції, грн.;

, - відрахування на амортизацію, відповідно, устаткування й будівель, грн.

i (5.21)

де , - балансова вартість устаткування (апарата) і виробничої площі, грн.;

, - норма відрахувань на амортизацію, відповідно, устаткування й будівель, %;

- річний обсяг виробництва продукції, т;

, - відрахування на ремонт, відповідно, устаткування й будівель, грн.

i (5.22)

де , - норма відрахувань на ремонт, відповідно, устаткування й будівель, %;

- питома вартість електроенергії, грн.

(5.23)

де - споживана потужність, кВт;

- вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Результати розрахунків приведених витрат наведені в табл.5.5.

Таблиця 5.5

Приведені витрати на одну тонну розлитого соку

Показники	Од. вим.	Ш18 – КНБ	Розроблений промисловий зразок
Заробітна плата з нарахуваннями	грн..		
Витрати на електроенергію	грн		
Амортизація обладнання	грн.		
Амортизація будинків	грн.		
Утримання і поточний ремонт обладнання	грн.		
Утримання і поточний ремонт будинків	грн.		
Разом:	грн.	11,69	5,81

Ступінь зниження експлуатаційних витрат визначається за формулою

(5.24)

де - ступінь зниження експлуатаційних витрат, %.

Річний економічний ефект від використання промислового зразка розраховується за формулою

(5.25)

або

(5.26)

де Δ - річний економічний ефект, грн.;

31 і 32 - наведені витрати на одиницю продукції, виробленої за допомогою базової й нової техніки, грн.

- нормативний коефіцієнт відрахувань на використання капіталовкладень,
=15%.

K1 і K2 - питомі капітальні витрати на одиницю продукції, виробленої за допомогою базової й нової техніки, грн.

Тоді економічний ефект поза наведеними витратами на одну тонну продукції становитиме

грн/т.

Річний економічний ефект від використання розробленого промислового зразка

грн

Строк окупності капіталовкладень визначається поза формулою

(5.27)

де - балансова вартість промислового зразка, грн.;

- строк окупності капіталовкладень, рік.

роки.

Результати розрахунків техніко-економічних показників наведені в таблиці 5.6. (на 1 .11.13).

Таблиця 5.6

Порівняльні техніко-економічні показники наповнювального автомата Ш18-КНБ та промислового зразка

Найменування показника	Значення показників техніко-економічної ефективності	
	Наповнювальний автомат Ш18 – КНБ	Розроблений промисловий зразок
Питомі капіталовкладення, грн/т	14,45	8,48
Ступінь зниження експлуатаційних витрат, %	-	55
Приведені витрати, грн/т	11,69	5,81
Економічний ефект на одну тонну продукції, грн/т	-	5,88
Річний економічний ефект, грн	-	108408
Строк окупності, рік	-	0,39

Розроблений промисловий зразок пристрою для розливу має меншу вартість, більш легкий у обслуговуванні, потребує менших витрат при ремонті. За рахунок таких переваг використання розробленого промислового зразка дозволяє знизити собівартість продукції, та підвищити її конкурентноспроможність.

На підставі економічного аналізу впровадження промислового зразка дозувально – наповнювального автомата, замість наповнювального автомата Ш18-КНБ, була доведена економічна ефективність впровадження яка є результатом зниження експлуатаційних витрат на 55% за рахунок збільшення продуктивності автомату, за той же час роботи.

Висновки за розділом 5

1. На основі теоретичних та експериментальних досліджень запропонована методика розрахунку параметрів та режимів роботи промислового зразка пристрою для розливу дозувально – наповнювального автомата.
2. Розроблений промисловий зразок пристрою для розливу дозувально – наповнювального автомата продуктивністю 60...120 банок/хв. зі встановленою потужністю електродвигуна 1,1 кВт. Технічна документація передана до товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь, Запорізької області).
3. Порівняльна характеристика найбільш перспективних видів дозувально – наповнювальних автоматів типу ДН1 показує, що розроблена машина має в 1,5 рази більшу продуктивність при тих самих енерговитратах.
4. Спроекований промисловий зразок пристрою для розливу був впроваджений у товаристві з обмеженою відповідальністю "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області) у 2013-2014 рр. Об'єм переробленої сировини за цей період становив 10000 тон. При цьому отриманий прибуток 250000 грн. або 25 грн/т.
5. Економічний ефект від використання промислового зразка пристрою для розливу дозувально – наповнювального автомату типу ДН1 становить 108408 грн. за рік, термін окупності капітальних вкладень – 0,39 р., досягається зниження експлуатаційних витрат – до 55%. При цьому вартість не перевищує 35 тис. грн.

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеного аналізу науково-технічної і патентної літератури встановлено, що на процес розливу харчової рідини впливає продуктивність та точність процесу розливу, а також зазначено, що збільшення продуктивності та точності дозування фасувального обладнання досягається шляхом оптимізації технологічних і конструктивних параметрів.
2. Побудована математична модель процесу розливу харчової рідини в скляну тару та проведено аналіз її гідродинамічної поведінки шляхом чисельного моделювання з використанням програмного комплексу ANSYS.
3. Встановлено на підставі математичного моделювання та аналітичного дослідження процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня, що оптимальними параметрами для зменшення турбулізації рідини в каналі пристрою для розливу та зменшення піноутворення є висота підйому манжети відносно направляючої $h = 13$ мм та кут нахилу направляючої $\alpha = 30^\circ$.
4. Одержані та експериментально підтверджені залежності, що пов'язують технологічні особливості процесу розливу освітленого яблучного соку з технологічними параметрами роботи пристрою для розливу.
5. Досліджено вплив висоти підйому манжети відносно направляючої на режими роботи та конструктивні параметри обладнання для розливу освітленого яблучного соку, визначено, що раціональними значеннями висоти підйому манжети відносно направляючої є значення в межах від 8 мм до 13 мм.
6. Встановлено що раціональним параметром роботи пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня є висота стовпа рідини в пристрої не більше 0,4 м.

7. Визначено раціональні параметри кута нахилу направляючої, які знаходяться в інтервалі від 30 до 45 град, та перевірено його вплив на продуктивність та точність процесу розливу.

8. Розроблено рекомендації для розрахунку конструктивних параметрів і запропоновано промисловий зразок пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня, технічна документація яка передана до товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпромаш" (м. Мелітополь, Запорізької області) для впровадження у виробництво. Порівняльна характеристика найбільш перспективних дозувально - наповнювальних автоматів типу ДН1 показує, що розроблений промисловий зразок має продуктивність у 1,5 рази більшу при тих самих енерговитратах.

9. Спроектований промисловий зразок пристрою для розливу пройшов апробацію та впровадження у виробництво в товаристві з обмеженою відповідальністю "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області) у 2013-2014 рр. Об'єм переробленої сировини за цей період становив 10000 тон. При цьому отриманий прибуток 250000 грн. або 25 грн/т. Розрахунок економічної ефективності підтверджує необхідність впровадження спроектованого пристрою для розливу дозувально – наповнювального автомату типу ДН1, оскільки річний прибуток на переробному підприємстві становить 108408 грн., а термін окупності капітальних вкладень – 0,39 р.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Автоматы наполнительные и дозирочно-наполнительные для жидких пищевых продуктов. Технические условия: ГОСТ 21253-75. – [Действует от 1977-01-01]. – М.: Изд-во Стандартов, 1985. – 36 с.
- 2 Алексеев Е.Р. Mathcad 12 / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. – М.: НТ Пресс, 2005. – 345с.
- 3 Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселёв – М.: Стройиздат, 1965. – 276 с.
- 4 Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков – М.: Высш. шк., 2001. – 1379 с.
- 5 Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств. Кн. 1 / С.Т. Антипов [и др.]; Минсельхозпрод РБ, УО "БГАТУ"; под ред. В.А. Панфилова, В. Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 420 с.
- 6 Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств. Кн. 2. Т. 2 / С.Т. Антипов [и др.]; Минсельхозпрод, УО "БГАТУ"; под ред. В.А. Панфилова, В. Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2008. – 590 с.
- 7 Антипович А.Л. Конусные дозаторы: расчет и конструирование / А.Л. Антипович // Пищевая промышленность (Москва). – 1992. – №12. – С. 9 – 10.
- 8 Асмолова Е.В. Процессы и аппараты пищевых производств / Е.В. Асмолова, Ю.В. Красовицкий, А.В. Логинов – Воронеж: ВГТА, 2007. – 308 с.
- 9 Бабарин В.П. Методы исследования физико-химических свойств жидких и пенообразных продуктов консервного производства / В.П. Бабарин – М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1971. – 27 с.
- 10 Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры: ГОСТ 5717.2-2003. – [Действует от 2004-07-01]. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – 14 с.
- 11 Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике. / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко – К.: Техника, 1984. – 200 с.
- 12 Басов К. А. Ansys: справочник пользователя / К. А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640с.
- 13 Белова Т.С. Справочник мастера по переработке овощей, плодов и ягод / Т.С. Белова, В.И. Анохина, Ю.Д. Дмитриевский – К.: Техніка, 1979. – 136 с.
- 14 Блахотний В. Автомат для розфасування сметани будь-якої густини / В. Блахотний // Харчова і перероб. пром.-сть. – 1993. – №1. – С. 20.
- 15 Борисенко О.А. Исследование расходных характеристик сливных насадков разливочных устройств для пищевых гидкостей / О.А. Борисенко, Ю.Г. Борисенко, В. В. Костин // Сб. науч. трудов. Сер. Продовольствие. Сев. – Кавк. гос. техн. ун-т. – 2002. – № 5. – С. 64–66.
- 16 Бородулин Д.М. Основные конструкции пищевых аппаратов / Д.М. Бородулин, В. Г. Менх, А.Б. Шушпанников, А.Н. Потапов – Кемерово, 2009. – 167 с.
- 17 Варфоломеев А.Й. Удосконалення технологічних процесів та обладнання для стабілізації якості рідких харчових продуктів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.12 "Процеси і апарати харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв" / А.Й. Варфоломеев – К., 2001. – 130 с.
- 18 Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. [3–е изд.]. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
- 19 Вискозиметры для определения условий вязкости лакокрасочных материалов. Технические условия: ГОСТ 9070 – 75. – [Действует от 1977-01-01]. – М.: Изд-во Стандартов

, 1975. – 5 с.

20 Войтко А.М. Исследование теплопроводности и вязкости концентрированного виноградного сока / А.М. Войтко, Р.И. Ковалева // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1966. – №10. – С. 96 – 98.

21 Войтовский В.А. Реестр отечественных производителей / В.А. Войтовский, Я.И. Пыжинский / ОАО "Мелитопольпродмаш" // Мир упаковки. – 2002. – № 1. – С. 208 – 23.

22 Войтовский В.А. Реестр отечественных производителей / В.А. Войтовский, Я.И. Пыжинский / ОАО "Мелитопольпродмаш" // Мир упаковки. – 2002. – № 2. – С. 18 – 21.

23 Гавва О.М. Дозувальні пристрої пакувальних машин (як правильно вибрати дозатор) / О.М. Гавва, О.О. Кохан // Упаковка: журнал для виробників та споживачів тари і упаковки. – 2012. – №3. – С. 46 – 49.

24 Гавва О.М. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / За ред. О.М.Гавви: Монографія. / О.М. Гавва, А.М. Беспалько, А.Л. Волчко – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.

25 Гавва, О.М. Аналіз компонування і методологія синтезу пакувального обладнання / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна // Упаковка: журнал для виробників та споживачів тари і упаковки. – 2013. – № 3. – С. 41 – 45.

26 Гавва, О.М. Фасування безалкогольних напоїв у тару із ПЕТФ на обладнанні вітчизняного виробництва / О. М. Гавва, О.О. Кохан // Упаковка: журнал для виробників та споживачів тари і упаковки. – 2011. – № 5. – С. 39 – 42.

27 Гвоздев О.В. Обґрунтування конструкції запорного клапану дозатора – наповнювача рідких продуктів. / О.В. Гвоздев, І.М. Ялоха // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Мелітополь: ТДАТА. – 2001. – Вип. 1. – Т. 23. – С. 40 – 44.

28 Гетманов К.П. Исследование гидродинамики процессов в технологии производства и разлива на автоматах пищевых жидкостей.: автореф. дис....канд . техн. наук / К.П. Гетманов. – М., 1963. – 33 с.

29 Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.

30 Горбатюк В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. / В.И. Горбатюк – М.: Колос, 1999. – 335 с.

31 Гореньков Э.С. Оборудование консервного про-ва: переработка плодов и овощей. Справочник. / Э.С. Гореньков, В.Л. Бибергал – М.: Агропромиздат, 1989. – 256 с.: ил.

32 Гочияев Б.Р. Определение вязкости и удельного веса яблочного сока / Б.Р. Гочияев // Изв. Вузов., сер. "Пищевая технология". – 1964. – №4. – С. 93 – 95.

33 Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 220 с.

34 Деклараційний патент на винахід 64321 А Україна, МПК В67С3/16. Пристрій для розливу рідини / Ф.Ю. Ялпачик, О.В. Гвоздев, І.М. Змеева; заявник та патентовласник ТДАТА (Україна). – №2003054252; заявл. 12.05.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл.№2. – 5 с.

35 Дикис М.Я. Технологическое оборудование консервных заводов / М.Я . Дикис, А.Н. Масальский, М.С. Аминов, А.К. Гладушняк – М.: Агропромиздат,

1986. – 320 с.

36 Дикис М.Я. Технологическое оборудование консервных заводов / М.Я. Дикис, А.Н. Масальский – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 424 с.

37 Драгилев А.И. Технологические машины и аппараты пищевых производств / А.И. Драгилев – М.: Колос, 1999. – 376 с.

38 Драгилев А.И. Устройство и эксплуатация оборудования предприятий пищевой промышленности / А.И. Драгилев, Ц.Р. Зайчик, В.Ф. Коломиец и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 399 с.

39 Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 2001 i и Mathcad 11 / В. П. Дьяконов – М.: (Серия "Библиотека профессионала") СОЛОН–Пресс, 2001. – 345с.

40 Ерёмина Н.В. Методы прогнозирования технологической и технической эффективности процессов и аппаратов пищевых производств. Под ред. В.А. Павского / Н.В. Ерёмина – Кемерово: КемТИПП, 2006. – 100 с.

41 Загибалов А.Ф. Технология консервирования плодов и овощей, и контроль качества продукции / А.Ф. Загибалов, А.С. Зверькова, А.А. Титова, Б. Л. Флауменбаум. – М.: Агропромиздат, 1992. – 352 с.

42 Зайчик Ц.Р. Машины для фасования пищевых жидкостей в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов. В.К. Яшин – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.

43 Зайчик Ц.Р. Машины и аппараты первичного виноделия. Основы расчета / Ц.Р. Зайчик [2–е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1970.

44 Зайчик Ц.Р. Номограммы к расчету оборудования первичного виноделия / Ц.Р. Зайчик – М.: Пищевая промышленность, 1971.

45 Зайчик Ц.Р. Оборудование линий разлива и отделки тихих вин / Ц.Р. Зайчик – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 156 с.

46 Зайчик Ц.Р. Оборудование предприятий винодельческого производства / Ц.Р. Зайчик [3–е изд. перераб. и доп.]. – М.: Агропромиздат, 1992. – 384 с.

47 Зайчик Ц.Р. Сборник задач по расчетам оборудования винодельческого производства / Ц.Р. Зайчик – М.: Лёгкая и пищ. пром-сть, 1983. – 200 с.

48 Зайчик Ц.Р. Технологическое оборудование винодельческих предприятий. Справочно – методическое пособие. / Ц.Р. Зайчик – М.: МТИПП, 1970. – 110 с.

49 Зайчик Ц.Р. Упаковывание тихих напитков в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В. А. Трунов – М.: ДеЛи, 2000. – 206 с.

50 Змеєва І.М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність дозуючого пристрою / І.М. Змеєва С.В. Кюрчев, Ф.Ю. Ялпачик, М.І. Стручаєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2013. – Вип. 13. – Т.7. – С. 21 – 27.

51 Змеєва І.М. Обґрунтування впливу основних факторів на процес розливу харчових рідин. / І.М. Змеєва // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – Вип. 18. – С. 119 – 123.

52 Змеєва І.М. Обґрунтування методу визначення коефіцієнту витрат при розливі харчових рідин. / І.М. Змеєва // Праці Таврійської державної

- агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – Вип. 20. – С. 100 – 106.
- 53 Змєєва І.М. Тенденції розвитку ринку соку України. / І.М. Змєєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь: ТДАТА. – 2008. – Вип. 8. – Т.7. – С. 218 – 224.
- 54 Иванец В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, С.А. Ратников – Кемерово, КТИПП, 2004. – 180 с.
- 55 Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / И.Е. Идельчик – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 464 с.
- 56 Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии 2-е изд., перераб. и доп. / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев – М.: Колос, 2000. – 551 с.
- 57 Кирьянов Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 608 с.
- 58 Козин Г.С. Процессы и аппараты ликеро-водочных производств / Г.С. Козин, В.А. Ямников – М.: Высшая школа, 1994. – 174 с.
- 59 Коренецкий И.И. Основы научных исследований. Учебное пособие для ВУЗов. / И.И. Коренецкий – Киев – Одесса.: Высшая школа, 1981. – 208 с.
- 60 Костин В.А. Интенсификация течений в насадках при наложении низкочастотных звуковых колебаний / В.А. Костин, В.С. Кочетов, В.П. Глушков // Электрофизические методы обработки пищевых продуктов: тез. докл. V Всесо- юзн.науч.-техн.конф. – М. – 1985. – С.379 – 380.
- 61 Костин В.А. Совершенствование гидродинамических процессов в трактах разливочных устройств с целью повышения их производительности.: автореф. дис....канд. техн. наук / В.А. Костин. – Ставрополь, 2001. – 193 с.
- 62 Костин В.А. Интенсивный способ увеличения производительности автоматов розлива пищевых жидкостей. / В.А. Костин, В.С. Кочетов // Научные достижения молодых ученых-сельскохозяйственному производству: тез. докл. науч.-практ. конфер. молодых ученых. – Ставрополь. – 1985. – С. 125.
- 63 Кочетов В.С. Интенсификация течений в каналах разливочных автоматов. / В.С. Кочетов, В.А. Костин // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк . Техн.науки. – Ставрополь. – 1983.– № 3. – С.43 – 44.
- 64 Кругляков П.М. Пена и пенные пленки. / П.М. Кругляков, Д.Р. Ексерова – М.: Химия, 1990. – 432 с.
- 65 Куприн А.И. Разработка и исследование гидравлических и пневматических устройств для деления жидкости на равные объемы / А.И. Куприн, Н.Ф. Цяпко, Л.М. Мамаев // Днепродзержинский индустриальный институт. – Днепродзержинск. – 1992. – 208 с.
- 66 Курочкин А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков – М.: КолосС, 2006. – 320 с.
- 67 Кюрчев С.В. Визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора / С.В. Кюрчев, І.М Змєєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 31. – С . 212 – 220.
- 68 Кюрчев С.В. Гидродинамическое поведение пищевой жидкости / С.В. Кюрчев, И.Н Змеева // Сборник статей IX Международной научно –

практической конференции «Актуальные проблемы научно – технического прогресса в АПК» – Ставрополь: СГУ. – 2013. – С. 111 – 117.

69 Кюрчев С.В. Математичне обґрунтування факторів, які впливають на процес розливу харчових рідин / С.В. Кюрчев, І.М. Змєєва // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД. – 2014. – Вип. 1. – Т. 8. – С. 84 – 88.

70 Кюрчев С.В. Моделювання гідродинамічної поведінки струменя при паданні його на дно банки / С.В. Кюрчев, І.М. Змєєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 30. – С. 281 – 288.

71 Кюрчев С.В. Чисельне моделювання процесу наповнення скляної тари харчовою рідиною / С.В. Кюрчев, І.М. Змєєва // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2012. – Вип. 41. – Т.1. – С. 182 – 187.

72 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.

73 Линейки чертежные. Технические условия: ГОСТ 17435-72. – [Действует от 1974-01-01]. – М.: Изд-во Стандартов, 1981. – 19 с.

74 Литвинов А.К. Исследование физико-механических характеристик яблочного сока / А.К. Литвинов – М.: Сб. "Совершенствование механических процессов и технического оборудования пищевой промышленности", 1980. – С. 53 – 58.

75 Логинов А.В. Гидропривод пищевых машин и автоматов: Учебное пособие / А.В. Логинов, В.И. Ряжских, М.И. Слюсарев – Воронеж: Изд-во ВГТА, 2001. – 298 с.

76 Логинов А.В. Определение гидравлических сопротивлений труднодоступных каналов сложной формы из опытных данных по масоотдаче / А.В. Логинов, И.А. Чередник // Сб. науч. трудов. Воронежская государственная технологическая академия. – 2001. – № 11. – С. 79–80.

77 Логинов А.В. Практикум по гидравлике / А.В. Логинов, А.Н. Остриков – Воронеж: Изд-во ВГТА, 2011. – 349 с.

78 Лышевский А.Ф. О границах перехода между отдельными видами распада жидких струй. / А.Ф. Лышевский – М., Известия вузов. Сер: «Энергетика», 1961. – №1. – С. 75 – 77.

79 Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad Учебный курс / Е.Г. Макаров – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.

80 Мармоза А.Т. Практикум по математической статистике. / А.Т. Мармоза – К.: Высшая школа, 1990. – 191 с.

81 Мартыненко И.И. Проектирование систем автоматики. / И.И. Мартыненко, В.Ф. Лысенко – М.: Агропромиздат, 1990. – 243с.

82 Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

83 Найченко В.М. Технологія зберігання і переробка плодів та овочів з основами товарознавства. Підручник / В.М. Найченко – К.: Школяр, 1999. – 502 с.

- 84 Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. / В.В. Налимов, Н.А. Чернова – М.: Наука, 1965. – 338 с.
- 85 Наринияну Г.Р. Розлив продуктов в горячем виде / Г.Р. Наринияну, М. Д. Федоров // Пищевая промышленность – 2001. – № 7. – С. 69.
- 86 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: ГОСТ 33-2000 – [Действует от 2002-01-01]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 23 с.
- 87 Новиков П.А. Гидромеханика щелевых систем / П.А. Новиков, Л.Я. Любин – Минск: Наука и техника, 1988. – 344 с.
- 88 Остапчук М.В. Математичне моделювання на ЕОМ / М.В. Остапчук, Г.М Станкевич – Одеса: Друк, 2006. – 313 с.
- 89 Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств. Учебное пособие / Н.В. Остапчук – К.: Выща школа, 1991. – 367 с.
- 90 Остриков А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Книга 1 / А.Н. Остриков – СПб.: ГИОРД, 2006. – 632 с.
- 91 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.
- 92 Островский Э.В. Краткий справочник конструктора продовольственных машин / Э.В. Островский, Е.В. Эдельман – М.: Машиностроение, 1972. – 472 с.
- 93 Остроумов Л.А. Классификация пен в пищевой промышленности / Л. А. Остроумов, А.Ю. Просеков // Хранение и пер-ка с-х сырья. – 2001. – №1. – С . 53–54.
- 94 Панасенко Н.С. О точности дозировки жидких молочных консервов на молочно-консервных комбинатах Западной Сибири / Н.С. Панасенко, В.М. Ольховская, Е.Н. Голяева, С.А. Аверченко, Е.П. Аппелинская // Изв. Вузов. Пищ. технол. – 1991. – №4 – 6. – С. 142 – 144.
- 95 Панфилов В.А. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн . I: Учеб. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
- 96 Панфилов В.А. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн . II: Учебн. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 680 с.
- 97 Петров, В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. Ч. 2: учеб. пособие / В. И. Петров; Кемер. технол. ин-т пищевой пром-сти. – Кемерово, 2002. – 127 с.
- 98 Петров, В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. Ч. 1 : учеб. пособие / В. И. Петров ; Кемер. технол. ин-т пищевой пром-сти. – Кемерово, 2002. – 115 с.
- 99 Поперечный А.М. Процеси та апарати харчових виробництв / А.М. Поперечный, О.І. Черевко – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.
- 100 Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия: ГОСТ 1770 – 74 (ИСО 1042-83,

- ИСО 4788-80). – [Действует от 1976-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2008. – 22 с.
- 101 Потенциометры постоянного тока измерительные. Общие технические условия: ГОСТ 9245-79. – [Действует от 1980-01-01]. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1979. – 16 с.
- 102 Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия: ГОСТ Р 52931–2008. – [Действует от 2009-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2009. – 16 с.
- 103 Рауз Х. Механика жидкости для инженеров – гидротехников. / Х. Рауз – М. – Л.: Госэнэргоиздат, 1957. – 137 с.
- 104 Рейлер М. Деформация и течение. / М. Рейлер – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 198 с.
- 105 Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
- 106 Рибак Т.М. Довідник по переробці плодів, ягід і винограду / Т.М. Рибак, О.А. Блашкіна, О.М. Литовченко [З-є вид-во. доп. і перероб.]. – К.: Урожай, 1990. – 264 с.
- 107 Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов / Л.З. Румшинский – М.: Наука, 1971. – 192 с.
- 108 Самсонова А.Н. Фруктовые и овощные соки (Техника и технология) / А.Н. Самсонова, В.Б. Ушева – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.: ил.
- 109 Секундомеры механические. Методы и средства поверки: ГОСТ 8.423-81. – [Действует от 1982-07-01]. – М.: Изд-во Стандартов, 1981. – 11 с.
- 110 Скобельцин Ю.А. Истечение жидкостей через насадки, отверстия, распылители, водовыпуски, капельницы: Учебное пособие / Ю.А. Скобельцин // Кубанский с-х. ин-т. – Краснодар, 1989. – 120 с.
- 111 Скрипников Ю.Г. Оборудование предприятий по хранению и переработке плодов и овощей / Ю.Г. Скрипников, Э.С. Гореньков – М.: Колос, 1993. – 336 с.
- 112 Скрипников Ю.Г. Технологія переробки плодів і ягід / Ю.Г. Скрипников – К.: Урожай, 1991. – 272 с.: іл.
- 113 Соболев И.И. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. / И.И. Соболев, Р.Б. Статников – М.: Наука, 1981. – 109 с.
- 114 Соки плодовые и ягодные натуральные. Технические условия: ГОСТ 656 - 79. – [Действует от 1980-01-01]. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1979. – 22 с.
- 115 Соки фруктовые. Общие технические условия: ГОСТ 29135-91. – [Действует от 1993-01-01]. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1991. – 5 с.
- 116 Соколов В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования / В.И. Соколов – М.: Машиностроение, 1970. – 422 с.
- 117 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.
- 118 Справочные таблицы. Химический состав пищевых продуктов / под ред. Нестеренко. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 248 с.

- 119 Стабников В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / В.Н. Стабников – Киев: Высшая школа, 1982. – 199 с.
- 120 Степанов И.А. Автоматические линии разлива пищевых жидкостей. / И.А. Степанов, П.Н. Галасов – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 360 с.
- 121 Степанюк В.В. Методи математичного програмування. / В.В. Степанюк – 2-е вид. перераб. і доп. – К.: Вища школа, 1984. – 272 с.
- 122 Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. / В.К. Тихомиров – М.: Химия, 1975. – 264 с.
- 123 Трунов В.А. Новое оборудование для линий розлива пищевой продукции / В.А. Трунов // Пищевая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 30 – 32.
- 124 Фан-Юнг А.Ф. Осветление и фильтрование плодовых соков / А.Ф. Фан-Юнг – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 208 с.
- 125 Фан-Юнг А.Ф. Технология консервирования плодов и овощей / А.Ф. Фан-Юнг, Б.Л. Флауменбаум – М.: Пищепромиздат, 1961. – 326 с.
- 126 Флауменбаум, Б. Л. Основы консервирования пищевых продуктов: [учеб. пособие для вузов] / Б.Л. Флауменбаум – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 270 с.
- 127 Харитонов Н.Ф. Автоматы и поточные линии разлива вин / Н.Ф. Харитонов, Д.А. Ярмолинский – М.: Машиностроение, 1967. – 248 с.
- 128 Харитонов Н.Ф. Графо – аналитический метод определения параметров наполнителей. / Н.Ф. Харитонов // В сб. "Пищевая промышленность" – М.: ЦИНТИПищепром, 1962. – № 5. – С.17 – 20.
- 129 Хатрман К. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов. / К. Хатрман, Э. Дэнский, В. Шефер – М.: Мир, 1972. – 175 с.
- 130 Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс – М.: Мир, 1967. – 466 с.
- 131 Цитовский С.И. Разработка параметрических рядов и унификация оборудования линий разлива пищевых жидкостей. / С.И. Цитовский, Т.М. Колосова – М.: ЦНИИТЭИЛЕГПИЩЕМАШ, 1972. – 69 с.
- 132 Чубик И.А. Справочник по технологическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов / И.А. Чубик, А.М. Маслов – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.
- 133 Шамшурко С.М. Совершенствование процесса фасования и разработка порционных фасовочных устройств пищевых жидкостей.: автореф. дис....канд. техн. наук / С.М. Шамшурко. – Москва, 2008. – 161 с.
- 134 Шатц С.А. Структуры и консистенция пищевых продуктов / С.А. Шатц – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 239 с.
- 135 Шмойлова Р.А. Теория статистики / Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова; под ред. Р.А. Шмойлова. – [4-е изд.]. – М: Финансы и статистика, 2004. – 655с.
- 136 Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки / У. Шобингер – М.: Лёгкая и пищ. пром-сть, 1982. – 472 с.

- 137 Шобингер У. Фруктовые и овощные соки Фруктовые и овощные соки: научные основы и технологии / пер. с нем. под общ. науч. ред. А.Ю. Колеснова, Н.Ф. Берестеня и А.В. Орещенко. – СПб: Профессия, 2004. – 640 с.
- 138 Шоловій Ю.П. Міцність зварних швів полімерних пакетів (пакування дрібнодисперсної сипкої продукції) / Ю.П. Шоловій, Н.І. Прокопець // Упаковка. – 2012. – №4. – С. 27 – 31.
- 139 Шоловій Ю.П. Моделювання поведінки дрібнодисперсного сипкого матеріалу під дією вібрації у конічній лунці дозатора за допомогою системи Лоренца / Ю.П. Шоловій, Н.М. Тимошенко, Н.І. Магерус // Технологічні комплекси. – 2014. – №1 (9). – С. 109 – 117.
- 140 Шоловій Ю.П. Обґрунтування конструктивних параметрів лунки дозатора для дрібнодисперсних сипких матеріалів / Ю.П. Шоловій, Н.І. Прокопець // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2013. – Вип. 47. – С. 45 – 49.
- 141 Шоловій Ю.П. Особливості вібраційного транспортування дрібнодисперсної сипкої продукції / Ю.П. Шоловій, Н.І. Магерус // Упаковка: журнал для виробників та споживачів тарі і упаковки. – 2014. – №1. – С. 55 – 58.
- 142 Шпак Е.Ю. Исследование теплофизических характеристик в диапазоне температур 20...90 °С методом двух температурно – временных интервалов / Е.Ю. Шпак, М.Н. Каспаров, В.В. Микрюков // Сборник научных трудов Ленинград. инст. сов. торговли им. Ф. Энгельса, 1980. – С.94 – 104.
- 143 Шувалов В.Н. Машины – автоматы и поточные линии пищевой промышленности. / В.Н. Шувалов – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 483 с.
- 144 Шувалов В.Н. Машины – автоматы и поточные линии. Теория конструирования, эксплуатация. / В.Н. Шувалов [2-е изд. перераб. и доп.]. – Л.: Машиностроение, 1973. – 483 с.
- 145 Ялпачик Ф.Ю. Вплив гідравлічної системи на продуктивність дозуючого пристрою. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змєєва // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2005. – Вип. 25. – С. 48 – 54.
- 146 Ялпачик Ф.Ю. Методика проведення експериментальних досліджень процесу розливу харчових рідин. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змєєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2011. – Вип. 11. – Т.6. – С. 317 – 321.
- 147 Ялпачик Ф.Ю. Обґрунтування впливу основних факторів на дозуючі пристрої. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змєєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк. – 2011. – Вип. 26. – С. 281 – 288.
- 148 Ялпачик Ф.Ю. Обґрунтування методу визначення коефіцієнту витікання з урахуванням числа Рейнольдса. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змєєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2010. – Вип. 10. – Т.3. – С. 209 – 214.
- 149 Ярмолинский Д.А. Некоторые гидродинамические показатели новых разливочных автоматов / Д.А. Ярмолинский // Виноделие и виноградарство СССР. – 1967. – №4. – С. 46 – 50.

- 150 Ярмолинский Д.А. Новый разливающий автомат для вино-водочных изделий / Д.А. Ярмолинский, М.В. Чистов, И.К. Розенштейн // Сб. "Продовольственное машиностроение" – М.: ЦНИИТЭИЛЕГПИЩЕМАШ, 1973. – № 1. – С. 3 – 9.
- 151 Ярмолинский Д.А. Причины нарушения точности дозирования вина при разливе / Д.А. Ярмолинский // Виноделие и виноградарство СССР. – 1973. – №3. – С. 48 – 51.
- 152 Ярмолинский Д.А. Элементы конструкций автоматов линий разлива вин. / Д.А. Ярмолинский, Ц.Р. Зайчик – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
- 153 Anandharamakrishnan C. Computational fluid dynamics applications in food processing / C. Anandharamakrishnan – Springer, New York Heidelberg Dordrecht London, 2013. – 86 p.
- 154 Brandon H. Fluid flow analysis for soft drink filling valves / H. Brandon // Beverage Industry. – 1981. – Vol.71. – 22. – P. 132–138.
- 155 Clark Kent Filling liquid and semiliquides / Kent Clark // Modern Packoging. – 1978. – Desember. – p. 169 – 176.
- 156 Clark Kent Filling liquid products / Kent Clark // Package Engineering. – 1981. – 4 – p. 254 – 259.
- 157 Clark Kent Mashinery: filling, liquid products / Kent Clark // Package Engineering. – 1982. – 4 – p. 258 – 263.
- 158 Farid M.M. Mathematical Modeling of Food Processing / M.M. Farid – CRC Press, Taylor and Francis, 2010. – 999 p.
- 159 Irudayaraj J. Food Processing Operations Modeling / J. Irudayaraj – New York Basel: Marcel Dekker, Inc., 2002. – 352 p.
- 160 Karel M. Physical Principles of Food Preservation 2 edition. / M. Karel, D . Lund – New York Basel: Marcel Dekker, Inc., 2003. –640 p.
- 161 Kay E. Buffer stocks in automatic transfer lines. / E. Kay "Int. J. Prod Res", 1972. 10. № 2. p. 155 – 165.
- 162 Lufting Jeffrey T. Design of Experiments in Quality Engineering. / Jeffrey T. Lufting & Victoria S.Jordan. – McGraw-Hill UK Oxford, 1998. – 480p.
- 163 Madenci E. The finite element method and applications in engineering using ANSYS / E. Madenci, I Guven // Springer Science+Business Media, 2006. – 686 p.
- 164 Mathcad 6.0 Plus. Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows 95. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Информационно-издательский дом "Филинь", 1997. – 712 с.
- 165 Process and device modeling / Ed. By W.L.Engl. – Amst. etc.: North-Holland, 1986. – 461 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А 1

Результати експериментальних досліджень продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу освітленого яблучного соку від кута нахилу направляючої при $H=0,4\text{м}$, $h = 0,013\text{м}$

№ п/п	Кут нахилу направляючої α , град	Продуктивність пристрою для розливу Q , бан/хв..	Фактичний об'єм в тарі V_{ϕ} , см^3	Точність процесу розливу Δ , %
1	30	9,963	2991	-0,30
2	32	10,092	2990	-0,33
3	34	10,394	2988	-0,40

4	36	10,569	2987	-0,42
5	38	10,584	2986	-0,45
6	40	10,767	2985	-0,50
7	42	11,045	2972	-0,95
8	44	11,157	2930	-2,33
9	46	11,179	2905	-3,16
10	48	11,364	2900	-3,30
11	50	11,665	2892	-3,36

Таблиця А 2

Результати експериментальних досліджень продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу освітленого яблучного соку від висоти підйому манжети відносно направляючої при $H=0,4\text{м}$, $\alpha = 40^\circ$ град

№ п/п	Висота підйому манжети відносно направляючої $h, \text{м}$	Продуктивність пристрою для розливу Q , бан/хв..	Фактичний об'єм в тарі V_{ϕ} , см^3	Точність процесу розливу Δ , %
1	8	9,475	3015	0,50
2	9	9,694	3013	0,45
3	10	10,194	3010	0,33
4	11	10,291	3000	0,00
5	12	10,662	2990	-0,33
6	13	10,761	2988	-0,40
7	14	11,182	2985	-0,50
8	15	11,197	2970	-1,00
9	16	11,564	2955	-1,50
10	17	11,689	2950	-1,65
11	18	12,393	2940	-2,00

Таблиця А 3

Результати експериментальних досліджень продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу освітленого яблучного соку від висоти стовпа рідини при $h=0,013\text{м}$, $\alpha = 40^\circ$ град

№ п/п	Висота стовпа рідини $H, \text{м}$	Продуктивність пристрою для розливу Q , бан/хв..	Фактичний об'єм в тарі V_{ϕ} , см^3	Точність процесу розливу Δ , %
1	0,30	10,364	2902	-3,25
2	0,32	10,424	2920	-2,67
3	0,34	10,585	2940	-2,00
4	0,36	10,563	2964	-1,20
5	0,38	10,694	2980	-0,67
6	0,40	10,718	3000	0,00
7	0,42	10,983	3015	0,50
8	0,44	10,959	3040	1,33

9	0,46	11,077	3066	2,20
10	0,48	11,095	3071	2,37
11	0,50	11,275	3082	2,75

Додаток Б
Деклараційний патент на винахід № 64321 А



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 64321 A

(51) 7 B67C3/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного Департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2003054252
(22) 12.05.2003
(24) 16.02.2004
(46) 16.02.2004. Бюл. № 2

(72) Ялпачик Федір Юхимович, Гвоздев Олександр Вікторович, Змєєва Інна
Миколаївна
(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗЛИВУ РІДИНИ



УКРАЇНА

(19) UA (11) 64321 (13) A

(51) 7 B67C3/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальністю
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗЛИВУ РІДИНИ

1

(21) 2003054252

(22) 12.05.2003

(24) 16.02.2004

(46) 16.02.2004, Бюл. № 2, 2004 р.

(72) Ялпачик Федір Юхимович, Гвоздев Олександр
Вікторович, Змеева Інна Миколаївна(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) Пристрій для розливу рідини, який містить
встановлену в дно резервуара гільзу з підпружи-

2

неним патроном і ущільнювальним елементом між ними, герметизатор і встановлену в патроні повітровідвідну трубку з центратором, який відрізняється тим, що в герметизатор по внутрішньому діаметру встановлено ущільнювальне кільце U-подібної форми, бічна поверхня якого стикається з конічною площиною центратора, а увігнута його частина повернена у бік дії тиску рідини, що розливається.

Винахід відноситься до розливочно-укупорювальних пристроїв, а більш конкретно - до пристрою для розливу рідин за рівнем.

Відомо пристрій для розливу рідини, який містить встановлену в дно резервуара гільзу з підпружиненим патроном і ущільнювальним елементом між ними, герметизатор і ексцентричне встановлену в патроні повітровідводящу трубку з центратором (А.с. СРСР №1427763 МПК У 67 С3/16, 1987, Б.И. №24).

Недоліками пристрою для розливу рідини є виникнення підтікання між патроном і повітровідводящою трубкою, завихрення струменя рідини при розливі, у зв'язку з чим цей механізм неможливо використовувати для банок із широким горлом, до того ж пружина працює в агресивному середовищі.

Відомо автомат наповнювальний, що містить пристрій для розливу рідини, який складається з гільзи, встановленої в дно резервуара й ущільнювальної манжети, що розміщена між гільзою і повітровідводящою трубкою з центратором (Автомат наполнительный марки Ш 18 - КНБ тип ДНІ - 3 - 63 ДСТ 21253-75, Паспорт, Кишинев, 1988).

Недоліками пристрою для розливу рідини є виникнення підтікання між ущільнювальною манжетю і повітровідводящою трубкою через поганий контакт кутової поверхні ущільнювальної манжети, що також сприяє завихренню струменя і піноутворення, до того ж ущільнювальна манжета працює в агресивному середовищі.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу є пристрій для розливу рідини, який містить

встановлену в дно резервуара гільзу з підпружиненим патроном і ущільнювальним елементом між ними, герметизатор і встановлену в патроні повітровідводящу трубку з центратором (Г.А. Барашникова, Р.А. Халилов Изменение конструкции разливающих патронов автоматического наполнения сока. Консервная и овощесушильная промышленность, 1978, №4, с. 7-8 - прототип).

Недоліком пристрою для розливу рідини обраного за прототип є те, що струмінь рідини, витікає з патрона перпендикулярно стінці банки, через направляючу поверхню центратора, що розташована щодо повітряної трубки під кутом 90°, це сприяє завихренню струменя, внаслідок удару, а також ціноутворення.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення пристрою для розливу рідини за рахунок встановлення в герметизаторі ущільнювального кільця, бічна поверхня якого стикається з конічною поверхнею центратора, створюючи при розливі рідини плоску, кільцеву поверхню витікання, тим самим усувається підтікання рідини і підвищується продуктивність за рахунок зниження піноутворення розливаної рідини, шляхом створення шатрового витікання рідини між плоскими поверхнями ущільнювального кільця і центратора.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для розливу рідини, що містить встановлену в дно резервуара гільзу з підпружиненим патроном і ущільнювальним елементом між ними, герметизатор і встановлену в патроні повітровідводящу трубку з центратором, відповідно до винаходу встановлено в герметизаторі по внутрішньо-

(13) A
(11) 64321
(19) UA

3

64321

4

му діаметрі ущільнювального кільця U-образної форми, бічна поверхня якого стикається з кінцевою площиною центратора, а увігнута його частина звернена убік дії тиску розливаемої рідини.

Встановлення в герметизаторі по внутрішньому діаметрі кільця U-образної форми створює збільшену поверхню контакту між ущільнювачем і кінцевою поверхнею центратора, при цьому увігнута частина звернена убік дії тиску розливаемої рідини, що сприяє кращому стику поверхонь кільця і центратора, і в сукупності приводить до зниження імовірності підтікання рідини. При розливі рідини в пристрій для розливу рідини утворюється плоске кільце, між бічною поверхнею U-образного ущільнювального кільця і кінцевою поверхнею центратора, тим самим створюється плоске шатрове витікання рідини, що входить по дотичній до поверхні стінки банки, що виключає завихрення струменя, її піноутворення, а значить підвищує продуктивність пристрою для розливу рідини.

На фіг. 1 зображено пристрій для розливу рідини, загальний вид, на фіг. 2 - зображення герметизатора з ущільнювальним кільцем.

Пристрій для розливу рідини містить встановлену в дно резервуара 1 гільзу 2 з підпружиненим патроном 3 і ущільнювальним елементом 4 між ними, герметизатор 5 і встановлену в патроні 3 повітревідводящу трубку 6 з центратором 7. Герметизатор 5 має по внутрішньому діаметрі

ущільнювальне кільце 8 U-образної форми.

Пристрій для розливу рідини працює таким чином.

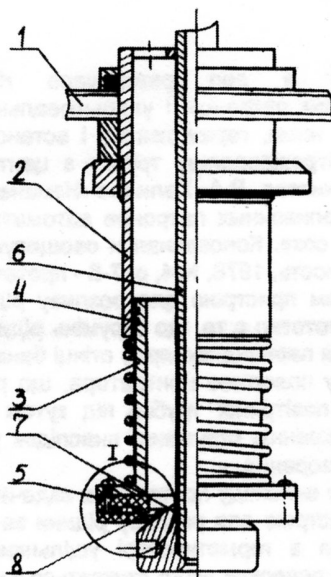
Горловина банки щільно притискається до герметизатора 5, що містить ущільнювальне кільце 8 U-образної форми.

При подальшому натиску герметизатор 5 разом з ущільнювальним кільцем 8 U-образної форми і підпружиненим патроном 3 піднімається до утворення між центратором 7 і герметизатором 5 з ущільнювальним кільцем 8 U-образної форми - зазору, через який рідина попадає в банку.

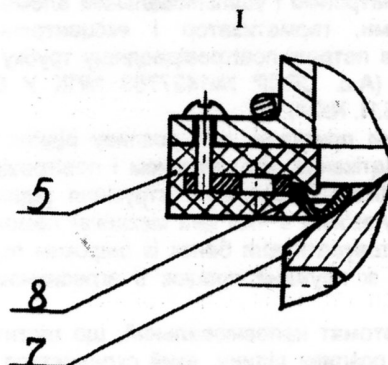
Повітря, що знаходиться в банці, і піна рідини, що утворюється, через повітревідводящу трубку 6 надходить у розливочний резервуар 1.

Банка наповняється рідиною до визначеного рівня. Столик з банкою повертається в крайнє нижнє положення, а герметизатор 5 разом з ущільнювальним кільцем 8 U-образної форми і підпружиненим патроном 3 опускає банку, і зазор перекривається.

При розливі - в пристрій для розливу рідини утворюється плоске кільце між бічною поверхнею ущільнювального кільця 8 U-образної форми, і кінцевою поверхнею центратора 7, тим самим створюється плоске шатрове витікання рідини, що входить по дотичній до поверхні стінки банки, що виключає завихрення струменя, її піноутворення, а значить підвищує продуктивність пристрою для розливу рідини.



Фіг. 1



Фіг. 2

Додаток В
Акт впровадження у навчальний процес



Затверджую"

Проректор з НІПР

к.т.н. О.П. Ломейко

2013р.

Акт

**Впровадження результатів науково-дослідної роботи по
підвищенню ефективності пристрою для розливу харчової рідини**

Кафедрою ОПХВ розроблено згідно плану НДР по підпрограмі 1.6 "Розробка технології і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції", державний реєстраційний номер 0111U002551, розділ 1.6.3.4. "Вдосконалення та розробка обладнання для розливу харчових рідин" наукова розробка "пристрій для розливу харчової рідини" на який отримано деклараційний патент України на винахід "Пристрій для розливу рідини" № 64321А. Опубл. 16.02.2004, Бюл.№2. Автори: Ф.Ю. Ялпачик, О.В. Гвоздєв, І.М. Змєєва, результати дослідження використовуються при вивченні дисциплін "Технологічне обладнання переробних і харчових виробництв" (4 курс, факультет ІКТ), "Машини, обладнання та їх використання при переробці сільськогосподарської продукції" (4 курс, факультет МТФ).

Зав. кафедрою ОПХВ
Провідний викладач

к.т.н., проф. Ялпачик Ф.Ю.

к.т.н., доц. Олексієнко В.О.

Акт передачі науково-технічної документації

"Затверджую"

Директор товариства з обмеженою

відповідальністю НПО "Укрхімпромаш"

Просвірякова О.І.

«__» _____ 2013р.



Акт передачі науково-технічної документації на виготовлення пристрою для розливу рідини за результатами науково-дослідної роботи

Комісія у складі: директора ТОВ НПО "Укрхімпромаш" Просвірякової О.І., головного інженера Єгорченкова М.П. з однієї сторони і представників Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ): канд. тех. наук Кюрчева С.В., асистента ТДАТУ Змєєвої І.М. з іншої сторони, підписали акт про те, що до товариства НПО "Укрхімпромаш" у грудні 2013 року передано науково-технічну документацію по розрахунку та проектуванню пристрою для розливу рідини.

В результаті впровадження пристрою для розливу рідини досягається зниження експлуатаційних витрат – до 55%. При цьому вартість не перевищує 35 тис. грн.

Від ТОВ НПО "Укрхімпромаш"

Головний інженер

Єгорченков М.П.

Від ТДАТУ

Канд. тех. наук

Кюрчев С.В.

Асистент ТДАТУ

Змєєва І.М.

Додаток Д

Акт впровадження розробки у виробництво

"Затверджую"

Генеральний директор ТОВ "ТРИНА"

Гиденко Ю.В.

2013р.



АКТ

Впровадження у виробництво науково-технічних розробок

Найменування впровадження. Пристрій для розливу рідини, згідно формули деклараційного патенту України на винахід № 64321А. Опубл. 16.02.2004, Бюл.№2. Автори: Ф.Ю. Ялпачик, О.В. Гвоздев, І.М. Змєєва.

Ким запропонована до впровадження науково-технічна розробка. Таврійський державний агротехнологічний університет (ТДАТУ). Підпрограма 1.6 "Розробка технології і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції", державний реєстраційний номер 0111U002551. Розділ 1.6.3.4. "Вдосконалення та розробка обладнання для розливу харчових рідин".

Найменування підприємства де здійснено впровадження. ТОВ "ТРИНА".

Строки впровадження. 2013 – 2014рр.

Об'єм впровадження. 10000 т. переробленої сировини.

Економічний ефект від впровадження. 25 грн/т. або 250000 грн. на 10000 т. переробленої сировини.

Відповідальні виконавці впровадження:

від виробництва
Головний інженер
Георгієв С.О.

від ТДАТУ
Проф., зав. каф. ОПХВ
Ялпачик Ф.Ю.
К.т.н., зав. каф. ТКМ
Кюрчев С.В.
Аспірант каф. ОПХВ
Змєєва І.М.

