

Кривопляс-Володіна Л. О. | УДК 624.001.63:[828.3+833](035)

Деренівська А. В.

*Національний  
університет  
харчових  
технологій*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗДІЛЕННЯ ПІДПРЕСОВАНИХ СИРНИХ БЛОКІВ НА ПОРЦІЇ В ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

*В статье приведены рекомендации расчета и моделирования основных технологических этапов при разделении сырных блоков на порции.*

*In the article are present recommendations of calculation and modeling fundamental technological phase by division cheese blocks on to portions.*

Для виробництва твердих сирів використовуються технологічні лінії, що складаються з транспортних систем – перевантажувальних пристроїв та конвеєрів з технологічним обладнанням.

Аналіз конструктивних та компоновочних схем транспортних систем виробництва твердих сирів зумовив потребу у розробці методів визначення раціональних параметрів перевантажувальних пристроїв, в яких блок сиру здійснює складний плоский рух одночасно контактуючи з кількома несучими площинами а також з пасивними і активними робочими органами. Це дозволяє забезпечувати вимоги по продуктивності технологічної лінії і передбачити у схемі компонування уникнення вищ затороутворення.

Для зменшення часових затрат на загальний технологічний цикл використовують перевантажувальні пристрої в яких декілька операцій об'єднано в одну. Найбільш цікавими перевантажувальними пристроями є ті - де поєднано операції перевантаження та відокремлення порцій попередньо підпресованого сирного блоку за допомогою активної напрямної при підтримці остаточного розділення використанням пасивних V-подібних напрямних.

Дослідження операцій розділення попередньо підпресованих сирних блоків на окремі порції є складним багатоетапним процесом, метою якого є знаходження раціональних геометричних та кінематичних параметрів з використанням функціонально-вартісного аналізу.

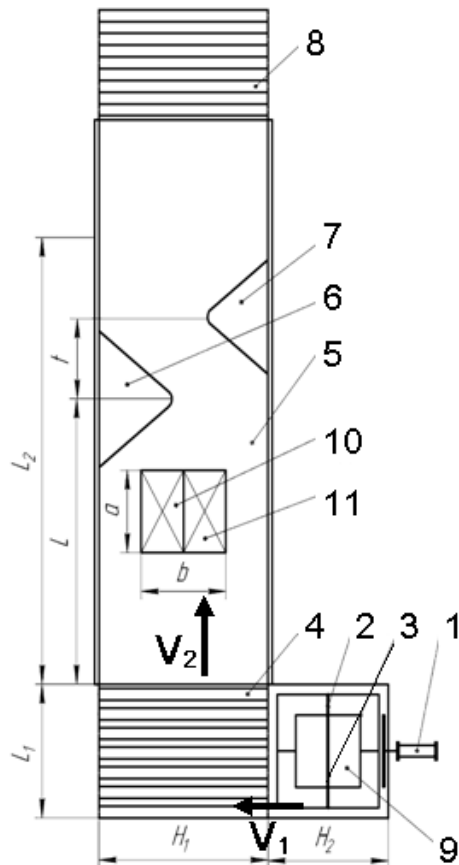
На основі попередніх робіт проведених на кафедрі технічної механіки та пакувальної техніки Національного університету харчових технологій, були створені математичні моделі для кожного етапу переміщення блоку сиру в перевантажувально-розділювальних пристроях з V- подібними пасивними напрямними. Схема компоновки транспортної системи з використанням системи пасивних V-подібних напрямних наведена на рис.1.

Враховуючи конструктивні особливості даної системи, процес переміщення сирного блоку із одночасним розділенням можна поділити на ряд етапів. На **першому етапі** (рис.1) відбувається перевантаження розрізаного блоку сиру з подавального конвеєру 4, типу рольганг, на проміжний стрічковий конвеєр 5. **Другий етап** характеризується рівномірним прямолінійним рухом попередньо розрізаного, але ще не розділеного на окремі порції сирного блоку на стрічковому конвеєрі 5.

На **третьому етапі** відбувається удар блоку сиру по V- подібній напрямній 6. На **четвертому етапі** відбувається поворот розрізаного, але не поділеного на порції, блоку сиру. **П'ятий етап** характеризується процесом відокремлення порцій сиру. При цьому порція 11 прямує на орієнтування V- подібною напрямною 7, а порція 10 затримується V- подібною напрямною 6. На **шостому етапі** відбувається складний плоский рух: поворот порцій 10, 11 при одночасному їх ковзанні по V- подібним напрямним відповідно 6, 7. При цьому порція 11 центрується і прямує на наступні технологічні операції. На **сьомому етапі** відокремлені сирні

порції 10, 11 з певним кроком подаються на відповідний роликів конвеєр 8.

При дослідженні процесу розділення та орієнтування сирних блоків в перевантажувальній системі необхідно правильно обрати геометричні розміри V-подібних напрямних, їх взаємне розташування та швидкість руху стрічки конвеєра 5 (рис.1).



**Рис. 1. Схема транспортної системи з системою пасивних V-подібних напрямних:**

- 1 - штовхач; 2 - пристрій для розрізання блоку сиру; 3 - ніж; 4 - подавальний роликів конвеєр; 5 - проміжний стрічковий конвеєр; 6, 7 - V-подібні напрямні; 8 - відповідний роликів конвеєр; 9 - попередньо розрізаний блок сиру; 10, 11 - порції сиру**

Щоб спростити вид математичних моделей етапів переміщення блоку сиру прийнято такі припущення, які дозволять не змінювати суттєво фізичну суть і характер досліджуваного процесу, побудувати його математичну модель: вантажі є пружно-пластичними тілами, що мають форму паралелепіпеда та рівномірно заповнені однорідною продукцією; центр ваги вантажу співпадає з його геометричним центром; значення коефіцієнтів тертя-кочення  $f_1$ , тертя-

ковзання  $f_2$  та тертя між порціями попередньо підпресованого сирного блоку  $f_c$  не є

$$\text{однаковим: } \begin{cases} f_1 < f_2 \\ f_c < f_2. \end{cases}$$

Вихідними даними до розрахунку основних етапів розділення блоку є: геометричні розміри блоку сиру:  $a$  – довжина,  $b$  – ширина,  $h$  – висота,  $m$  – маса блоку сиру,  $\delta=0$  (мм); відстань між стрічкою конвеєра та роликом рольганга; та конструктивні параметри подавального роликів конвеєра ( $n_p$  – кількість роликів;  $S_p$  – крок між роликами;  $d_p$  – зовнішній діаметр ролика;  $L_p$  – довжина конвеєра).

Використовуючи методику побудови математичних моделей приведено в роботі [1], по черзі знаходяться кінематичні і динамічні параметри всіх етапів. Як приклад, наведемо розрахункові схеми двох проміжних етапів розділення сирного блоку на окремі порції – третій і четвертий етапи. Так як на даних етапах відбувається ударна взаємодія між блоком сиру і нерухою напрямною площиною (рис.2), то початкові умови процесу можна описати як:

початкові координати центра мас блоку сиру руху вантажу в системі XOY:  $x_{n3} = x_{k2}$ ;  $y_{n3} = y_{k2}$ ;

початковий час етапу  $t_{n3} = t_{k2}$ ;  $\varphi_{n3} = \varphi_{k2} = 0$ ;

кут між гранню блоку сиру AD та віссю OX системи координат XOY; кінематичні параметри вантажу:

$\dot{x}_{n3} = \dot{x}_{k2} = 0$  (м/с);  $\dot{y}_{n3} = \dot{y}_{k2} = V_2$ ;

швидкість блоку сиру відносно осі OX і OY;

$\dot{\varphi}_{n3} = \dot{\varphi}_{k2} = 0$ ; кутова швидкість блоку сиру

відносно центру мас вантажу;  $\ddot{x}_{n3} = \ddot{x}_{k2} = 0$ ;

$\ddot{y}_{n3} = \ddot{y}_{k2} = 0$ ; (м/с<sup>2</sup>) прискорення блоку сиру

відносно осі OX і OY;  $\ddot{\varphi}_{n3} = \ddot{\varphi}_{k2} = 0$ . кутове

прискорення блоку сиру відносно центру мас сирного блоку.  $\dot{\eta}$ ,  $\dot{\xi}$  – проекції швидкостей

центра мас сирного блоку після удару;  $S_\eta$ ,  $S_\xi$  –

проекції ударного імпульсу  $S$  відповідно на осі

$O\eta$  та  $O\xi$  прикладеного до певної точки

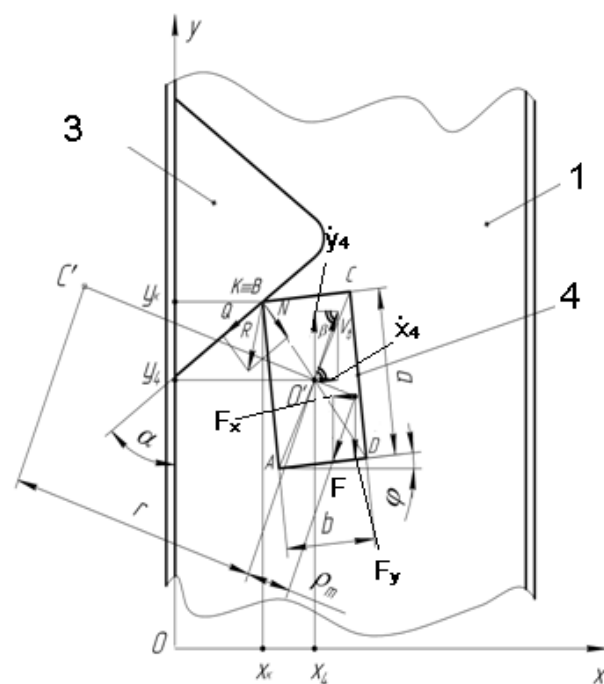
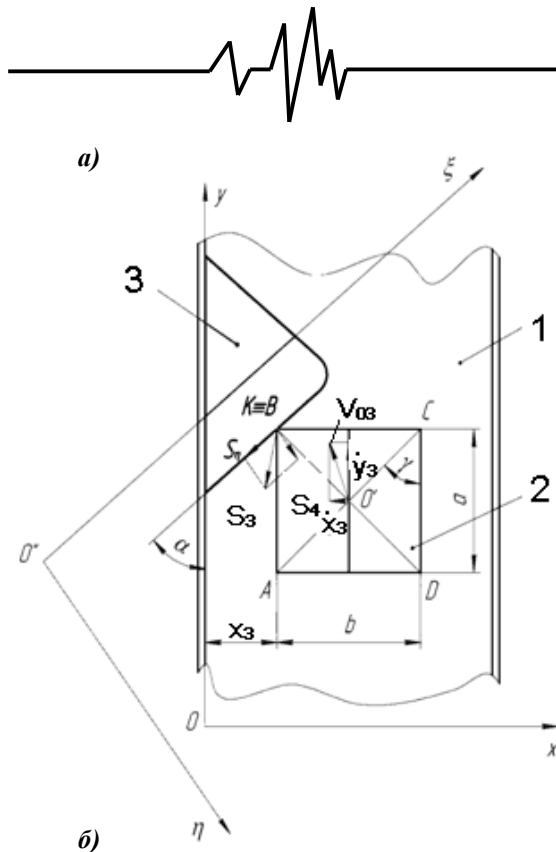
вантажів, т. В;  $C$  – діагональ опорної поверхні

вантажів;  $f_3$  – коефіцієнт тертя ковзання вантажу

по V-подібній напрямній;  $k$  – коефіцієнт

відновлення швидкості при ударі вантажу по V-

подібній напрямній.



**Рис. 2.** Розрахункові схеми до проміжних етапів переміщення блоку сиру в перевантажувально-розділювальному пристрої з пасивними V- подібними напрямними: а - розрахункова схема третього етапу; б - розрахункова схема четвертого етапу, де:  
 1-подавальний ролик конвеєра; 2- проміжний стрічковий конвеєр; 3- попередньо підпресований і розрізаний блок сиру; 4-відокремлена порція сиру

Використовуючи методику отримання кінцевих рівнянь для визначення параметрів руху вантажу на стрічковому конвеєрі після удару по нерухомій напрямній приведена в роботі [1,2]., отримаємо:

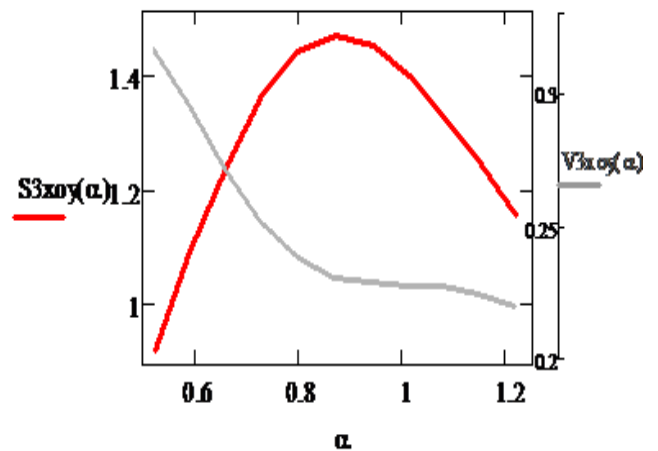
$$\eta = V_2 \cdot \text{Sin} \alpha \cdot \left\{ \frac{1+k}{1+1,5 \cdot [2 \cdot \text{Cos}^2(\alpha+\gamma) - f_3 \cdot \text{Sin}(2 \cdot (\alpha+\gamma))]} - 1 \right\},$$

$$\xi = V_2 \cdot \text{Cos} \alpha \cdot \left\{ 1 - \frac{f \cdot (1+k) \cdot \text{tg} \alpha}{1+1,5 \cdot [2 \cdot \text{Cos}^2(\alpha+\gamma) - f_3 \cdot \text{Sin}(2 \cdot (\alpha+\gamma))]} \right\},$$

$$S_\eta = \frac{m \cdot V_2 \cdot (1+k) \cdot \text{Sin} \alpha}{1+1,5 [2 \cdot \text{Cos}^2(\alpha+\gamma) - f_3 \cdot \text{Sin}(2 \cdot (\alpha+\gamma))]}, \quad (1)$$

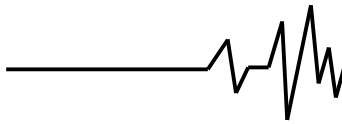
$$S_\xi = \frac{m \cdot V_2 \cdot f \cdot (1+k) \cdot \text{Sin} \alpha}{1+1,5 [2 \cdot \text{Cos}^2(\alpha+\gamma) - f_3 \cdot \text{Sin}(2 \cdot (\alpha+\gamma))]},$$

За допомогою прикладного пакету Math Cad побудуємо графіки зміни кінематичних параметрів руху блоку сиру на третьому етапі від кута нахилу V- подібної напрямної та швидкості руху стрічки конвеєра (рис.3-4).[4]



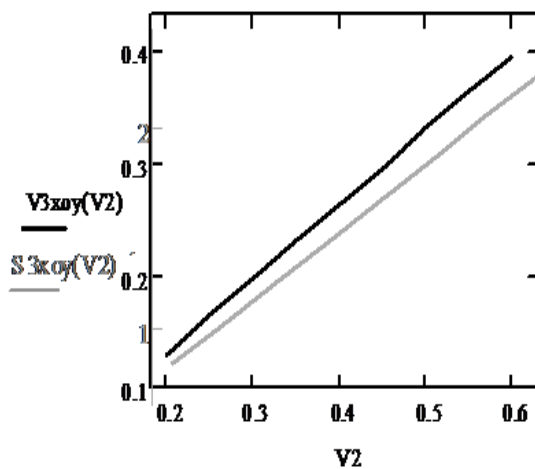
**Рис. 3.** Графік зміни ударного імпульсу між блоком сиру та V- подібною напрямною і зміни швидкості центра мас блоку сиру в залежності від кута нахилу напрямної, де:  
 S3xou(alpha) - результуючий ударний імпульс, (Нс); V3xou(alpha) - швидкість центра мас блоку сиру, (м/с); alpha - кут нахилу V- подібної напрямної, (град)

За отриманими результатами розрахунку (рис. 3) чітко відстежується зростання значення



ударного імпульсу  $S_3$  при зміні кута нахилу  $V$ -подібних напрямних від  $30^\circ (0,523 \text{ (рад)})$  до  $50^\circ (0,875 \text{ (рад)})$ , і зменшення ударного імпульсу при зміні кута  $\alpha$  від  $50^\circ (0,875 \text{ (рад)})$  до  $70^\circ (1,220 \text{ (рад)})$ . Найбільш сприятливим для даного технологічного процесу розділення сирного блоку на окремі порції є кут напрямної від  $51^\circ$  до  $65^\circ$ .

За результатами розрахунків по взаємозалежності ударного імпульсу від швидкості несучої стрічки конвеєру, проведеними в Math Cad, отримали (рис. 4)



**Рис. 4. Графік зміни ударного імпульсу між блоком сиру та  $V$ - подібною напрямною та зміни швидкості центра мас блоку сиру в залежності від швидкості руху стрічки конвеєра, де:**  
 **$S3xoy(V2)$ - результуючий ударний імпульс, (Нс);  $V3xoy(V2)$  - швидкість центра мас блоку сиру,  $V2$ -швидкість руху стрічки конвеєра, (м/с)**

З отриманих результатів можна зробити висновок про стрімке зростання величини ударного імпульсу  $S_3$  при збільшенні швидкості стрічки конвеєра. При врахованих результатах можна зробити висновок, що найоптимальніший діапазон швидкості при операції розділення для такого продукту, як блок сиру, - від 0,3 (м/с) до 0,4 (м/с).

З аналізу графіків видно, що для перевантажувального пристрою з  $V$ -подібними напрямними сприятливими будуть такі значення: кут нахилу стінки  $V$ -подібної

напрямної  $\alpha = 55^\circ$ ; швидкість стрічки проміжного конвеєра  $V_2 = 0,35 \text{ (м/с)}$ .

На **четвертому етапі** (рис. 2, б) відбувається поворот розрізаного, але не поділеного на порції, блоку сиру. Зі сторони упору на вантаж діє нормальна складова  $N$  та дотична -  $Q$  повної реакції  $R$  [3,4ге] Ковзання вантажу по напрямній не буде відбуватись до тих пір коли не порушиться умова:

$$Q \leq f_3 \cdot N,$$

де  $f_3$  - коефіцієнт тертя ковзання блоку сиру по  $V$ -подібній напрямній.

Рух вантажу можна описати такими рівняннями:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = N \cdot \sin\varphi - Q \cdot \cos\varphi - F_x; \\ m\ddot{y} = -N \cdot \cos\varphi - Q \cdot \sin\varphi + F_y; \\ \ddot{\varphi}J = N \cdot l_N \cdot \sin\beta + Q \cdot l_Q \cdot \cos\beta - M. \end{cases} \quad (2)$$

де  $x, y$  - координати центру мас вантажу;

$\varphi$  - кутова координата вантажу;

$N, Q$  - нормальна та дотична складові повної реакції  $R$ , діючої з боку напрямної на вантаж;

$l_N, l_Q, l_{Fx}, l_{Fy}$  - відстань від лінії дії сили до центру мас вантажу;

$l$  - відстань від центра мас вантажу т.  $O_0$  до центру округлення т.  $O_n$  точки контакту вантажу з  $V$ -подібною напрямною;

$\beta$  - кут між відрізком  $l$  і поперечною віссю симетрії вантажу;

$F_x, F_y$  - проекції на осі  $Ox$  та  $Oy$

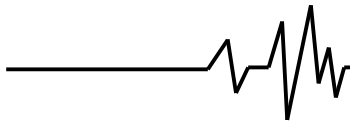
результуючого вектора сил тертя  $F$ , що діє на опорну поверхню вантажу з боку стрічки конвеєра;

$M$  - момент сил тертя, що перешкоджає повороту вантажу на стрічці конвеєра і приведений до геометричного центру опорної поверхні вантажу.

$J$  - момент інерції вантажу

$c$  - діагональ опорної поверхні вантажу.

У кінцевому вигляді математична модель приймає такий вигляд:



$$\begin{cases}
 \ddot{x}_4 = \frac{1}{m_n} \left( \frac{m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \varphi + \gamma) +}{+ m_n \cdot (\ddot{x}_4 \cdot \cos\alpha - \ddot{y}_4 \cdot \sin\alpha)} \right) \times \\
 \times (\cos\alpha - f_3 \cdot \sin\alpha) - m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\varphi + \gamma); \\
 \ddot{y}_4 = \frac{1}{m_n} \left( \frac{-m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \varphi + \gamma) +}{+ m_n \cdot (\ddot{x}_4 \cdot \cos\alpha - \ddot{y}_4 \cdot \sin\alpha)} \right) \times \\
 \times (\sin\alpha + f_3 \cdot \cos\alpha) - m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \sin(\varphi + \gamma); \\
 \dot{\varphi}_4 = \frac{\left( \frac{m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \varphi + \gamma) +}{+ m_n \cdot (\ddot{x}_4 \cdot \cos\alpha - \ddot{y}_4 \cdot \sin\alpha)} \right) \times}{\frac{m_n \cdot c^2}{12}} \\
 \times \frac{\left( \frac{c}{2} \cdot \sin(\gamma + \phi + \alpha - 90^\circ) + f_3 \cdot \frac{c}{2} \cdot \cos(\gamma + \phi + \alpha 90^\circ) \right)}{\frac{m_n \cdot c^2}{12}} - \\
 - \frac{\left( \frac{m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \rho_m}{m_n \cdot c^2} \right)}{\frac{m_n \cdot c^2}{12}}; \\
 N = m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \varphi + \gamma) + \\
 + m_n \cdot (\ddot{x}_4 \cdot \cos\alpha - \ddot{y}_4 \cdot \sin\alpha); \\
 Q = f_3 \cdot \left( \frac{m_n \cdot g \cdot f_2 \cdot th\left(k_1 \cdot \frac{c}{2}\right) \cdot \cos(\alpha + \varphi + \gamma) +}{+ m_n \cdot (\ddot{x}_4 \cdot \cos\alpha - \ddot{y}_4 \cdot \sin\alpha)} \right).
 \end{cases}
 \tag{3}$$

Умова закінчення етапу:

$$\varphi_{к4} = 90^0 - \alpha.$$

Виконані аналітичні дослідження перевантажувально-розділювальних операцій в пристрої з V- подібними напрямними та активним упором, результатом яких є кінцеві формули, вирази, графіки дають змогу за заданих вихідних даних обґрунтовано вибрати

геометричні і кінематичні параметри як пристрою, так і руху вантажу.

При виборі оптимальних геометричних і кінематичних параметрів пристрою з V- подібними напрямними основним фактором є вибір мінімального ударного імпульсу, для забезпечення цілісності блоку сиру при контакті з елементами перевантажувального пристрою; а також підбір діапазону значень швидкості руху проміжного стрічкового конвеєра.

Аналіз конструкцій та існуючих методик розрахунку перевантажувальних пристроїв [1-5] показав наявність недоліків в конструкції перевантажувально-розділювальних пристроїв і дав можливість узагальнити і доповнити існуючі методики по дослідженню подібних перевантажувально-розділювальних операцій.

### Література

1. Кривопляс А.П. Пакетоформирующие машины / Кривопляс А.П., Кукибный А.А., Беспалько А.П., Буров А.А. – М.: Машиностроение, 1982. – 239с.
2. Ивановский К.Е. Перегрузочные устройства конвейеров штучных грузов/ Ивановский К.Е., Оболенский А.С. – М.: Машиностроение, 1966.- 208с.
3. Дашенко А.И. Проектирование автоматических линий / Дашенко А.И., Белоусов А.П.: М.:Высш. школа, 1983.-328с.
4. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О. Перевантаження вантажів у потоково-транспортних системах одного рівня // Наукові праці НУХТ, 2004, № 2 – С.17-21
5. Левачев Н.А. Механизация погрузочно- разгрузочных, транспортных и складских работ в пищевой промышленности / М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.- 183с.