

Автор ер.  
К 48

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

---

---

На правах рукописи

Аспирант Г. К. КРАВЧЕНКО

**Технологическое исследование  
процесса вибросепарирования зерна  
и ядра гречихи и проса  
на крупозаводах**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — кандидат технических наук,  
доцент Г. Д. ГАЛЬПЕРИН

ОДЕССА  
1965

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

---

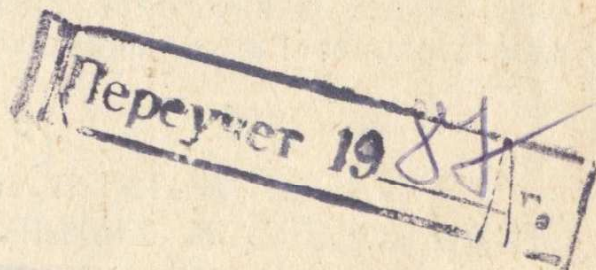
На правах рукописи

Аспирант Г. К. КРАВЧЕНКО

Технологическое исследование  
процесса вибросепарирования зерна  
и ядра гречихи и проса  
на крупозаводах

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — кандидат технических наук,  
доцент Г. Д. ГАЛЬПЕРИН



ОДЕССА  
1965

Одесский технологический институт имени М. В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертационной работы аспиранта Г. К. Кравченко на тему «Технологическое исследование процесса вибросепарирования зерна и ядра гречихи и проса на крупозаводах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится „ \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 1965 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направить по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, № 112, Одесский технологический институт имени М. В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

(Л. А. Запорожец)

Экспериментальная часть работы выполнена в лаборатории кафедры «Технологическое оборудование» Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова (1961 — 1963 гг.).

V014406



## ВВЕДЕНИЕ

Программой КПСС предусмотрено значительное увеличение производства зерна. На мартовском (1965 г.) Пленуме ЦК КПСС было указано на необходимость увеличения выработки крупяных продуктов и в связи с этим на необходимость «...всемерно стимулировать производство гречихи, проса, а также риса».

Предусмотренный рост потребления круп требует дальнейшего совершенствования и интенсификации их выработки.

На грече- и просозаводах сепарирование зерна и ядра по биометрическим признакам является одним из основных первичных технологических процессов, эффективность которого предопределяет технико-экономические показатели производства. Применяемые тихоходные ситовые крупосортировки, являясь крупногабаритными и малопроизводительными, не обладают достаточно высокой и четкой разделяющей способностью. Это приводит не только к удлинению производственного цикла выработки крупы, но и снижает уровень продовольственного использования зерна. Низкая эффективность крупосортировок весьма отрицательно сказывается и на результатах технологически прогрессивного процесса промежуточного отбора ядра. В связи с этим актуальным в производственно-техническом отношении является научно-экспериментальное исследование процесса сепарирования, имея в виду определение рациональных режимов и разработку технологических предпосылок к конструированию высокопроизводительного ситового сепаратора-крупосортировки для грече- и просозаводов. Учитывая же вариационную изменчивость биометрических признаков зерна, целесообразно создать такой сепаратор, который позволял бы устанавливать технологически оптимальный режим.

## ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СИТОВОГО ВИБРОСЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНА

Анализ результатов исследований процесса ситового сепарирования, выполненных во ВНИИЗе, ВИМе, ВИСХОМе,

ОТИ, ЛЭТИ, ЧИМЭСХе и в других научных учреждениях, дает основания считать, что эффективность разделения зерновых смесей по биометрическим признакам обуславливает совокупность факториальных параметров. К ним следует отнести:

- а) физико-технологические свойства зерновой смеси;
- б) соотношение между основными линейными размерами зерновок и рабочим размером разделяющих отверстий в связи с формой и ориентацией последних;
- в) режим движения зерновок и сепарирования их, обусловленный амплитудой ( $A$  мм), частотой ( $n$  кол/мин), направленностью колебаний ( $\beta$  рад) и наклоном сита к горизонту ( $\alpha$  рад);
- г) удельные показатели, характеризующие загрузочный режим сита;
- д) значение коэффициента живого сечения сита и стабильность активной площади его в эксплуатационных условиях;
- е) концентрация проходовых частиц различных классов крупности в исходной смеси.

Для оценки загрузочного режима сепаратора и эффективности разделения зерновых смесей находят применение следующие показатели:

- а) подача, отнесенная к единице длины приемного фронта сита и к единице рабочей площади его, —  $q_B$  кг/час·см и  $q_F$  кг/час·м<sup>2</sup> (транспортирующая способность);
- б) степень выделения проходовой фракции и частиц избранного класса крупности —  $E_{п\%}$  и  $E_{к\%}$  (разделяющая способность);
- в) относительное содержание проходовых частиц в сходном продукте —  $K_2$  (четкость сепарирования).

При неизменном угле установки сита ( $\alpha = \text{const}$ ,  $\beta = \text{const}$ ) параметры  $n$  и  $A$  обуславливают кинематический либо динамический режим сепарирования:  $nA$  — среднюю скорость ( $V_{ср}$ ) перемещения смеси по сити,  $n^2A$  — изменение давления смеси на сито.

По данным В. М. Цециновского и П. И. Леонтьева оптимальное значение  $nA = 3$  м/мин. В исследованиях ряда авторов рекомендованы рациональные значения  $V_{ср}$ , превышение которых при неизменной толщине слоя смеси на сите снижает разделяющую способность последнего. Так, по данным А. Р. Демидова (при очистке зерна от крупных примесей) оптимальное значение  $E_{п}$  достигается при  $V_{ср} = 0,26$  м/сек, Г. С. Демина (при очистке зерна от мелких примесей) — 0,34 м/сек, П. И. Леонтьева (при сепарировании мелких семян) — 0,16 м/сек. Е. А. Непомнящий, А. Ф. Трунов, А. М. Козлов указывают, что при неизменном значении  $q_B$  увеличение средней скорости перемещения смеси обуславливает уменьшение толщины слоя, а это может привести к повышению значения  $E_{п}$ .

Ряд исследователей (В. Я. Белецкий, С. А. Васильев, П. М. Заика, П. П. Колышев, Х. А. Ксифилинов, П. И. Леонтьев, Г. Е. Листопад, А. В. Панченко, Г. Д. Терсков, В. М. Цединовский и др.) отмечают, что при неизменном общем значении  $nA$  на эффективность процесса разделения смеси существенное влияние оказывает соотношение параметров кинематического режима —  $n$  и  $A$ : оно может быть благоприятствующим процессу либо, наоборот, неблагоприятствующим. По данным В. Я. Белецкого, П. П. Колышева, Г. Е. Листопада, оптимальные значения  $n$  и  $A$ , при прочих одинаковых условиях, обуславливают гранулометрический состав сепарируемой смеси: с возрастанием крупности  $A$  должно быть увеличено, а  $n$  — уменьшено.

Ускорение сита, определяемое значением  $n^2A$ , влияет на характер динамических связей его с сепарируемой зерновой смесью и обуславливает интенсивность процесса самосортирования последней.

Некоторые исследователи рекомендуют оптимальные значения  $n^2A$ . При сепарировании пшеницы, по данным В. Я. Белецкого, максимальное значение  $E_{II}$  достигается при  $n^2A = 1200 \text{ м/мин}^2$ , а М. Н. Летошнева —  $900 \text{ м/мин}^2$ . Х. А. Ксифилинов указывает, что оптимальное ускорение сита связано с формой его отверстий и удельной загрузкой. Так, для сит с продолговатыми отверстиями оптимальное значение ускорения сита таково:  $18,0 \text{ м/сек}^2 < \omega^2A = (18,0 + 0,05 q_B) < 20 \text{ м/сек}^2$ . По Г. Е. Листопаду оптимальным является режим, при котором ситу сообщают ускорение, равное  $3g$ , что обуславливает полную самоочищаемость сит. При этом амплитуда колебаний сита равна половине среднего размера частиц смеси. П. П. Колышев наблюдал самоочищаемость вибросита в оптимальном режиме даже при сепарировании зерновых смесей повышенной влажности (22%).

Рекомендуемые различными авторами рациональные значения угла наклона сита  $\alpha$  и линии колебаний его  $\beta$  варьируют в широких интервалах в зависимости от физико-технологических свойств сепарируемой смеси и условий осуществления процесса. При всех условиях угол  $\alpha$  должен быть меньше угла внешнего трения зерна о рабочую поверхность сепаратора.

Из исследований С. А. Васильева, А. Р. Демидова, Г. С. Демина, И. Е. Кожуховского, А. В. Панченко, Г. Д. Терскова и др. можно сделать вывод, что общая и зональная эффективность процесса сепарирования в зависимости от загрузочных и временных параметров режима может быть описана дробно-линейной функцией: значение  $E_{II}$  находится в обратной зависимости от  $q_B$  и в прямой зависимости от продолжительности сепарирования, обуславливаемой длиной рабочего органа  $L$  при  $V_{cp} = \text{const}$ , либо значением  $V_{cp}$  при  $L = \text{const}$ .

Вероятность прохождения проходových частиц через отверстия обусловлена не только соотношением размеров и ориентацией частиц и отверстий, она находится в прямой зависимости и от коэффициента живого сечения сита  $\bar{F}$  (В. А. Буман, С. А. Васильев, А. М. Годен, М. Н. Летошнев и др.). Поэтому технологически рационально повышать действительное значение  $\bar{F}$  и поддерживать его стабильность в эксплуатационных условиях.

Существенное влияние на процесс ситовой классификации оказывает концентрация в исходной смеси проходových и сходовых частиц различной крупности. Повышение относительного содержания «трудных» проходových частиц (В. А. Буман, В. И. Преображенский и др.) обуславливает снижение технологической эффективности процесса. Г. И. Прейгерзон отмечает влияние также и «трудных» сходовых частиц. Нет, однако, единства взглядов в оценке влияния на эффективность процесса концентрации всей проходовой фракции в сепарируемой смеси. Так, по данным Л. П. Степанова, при «сухом» разделении на ситах повышение концентрации проходových частиц обуславливает возрастание технологической эффективности. Г. Д. Терсков указывает, что если величина отношения объемных масс проходových и сходовых частиц меньше единицы, то интенсивность извлечения проходových частиц увеличивается по мере возрастания относительного содержания сходовой фракции; извлечение проходových частиц снижается при величине указанного отношения больше единицы. По данным С. А. Васильева, П. И. Леонтьева,  $E_{\Pi}$  возрастает при повышении концентрации сходовой фракции в исходной смеси.

Вибрационный способ сепарирования, судя по результатам научно-экспериментальных исследований, выполненных во ВНИИЗе, ВИМе, ВИСХОМе, ЧИМЭСХе, ХПИ, ЛЭТИ, ОТИ, ЛИМСе и др., позволяет существенно интенсифицировать процесс ситовой классификации сыпучих смесей по геометрическим признакам: повышается полнота и четкость сепарирования при одновременном увеличении транспортирующей способности сепаратора.

Обсужденные выше результаты экспериментальных исследований относятся в основном к зерну злаковых культур (пшеница, рожь, ячмень). Поэтому для решения общей задачи — создать предпосылки к конструированию высокопроизводительного вибросепаратора с максимальной активной площадью разделяющих отверстий для гречихи и проса — возникла необходимость произвести изыскание технологически оптимальных кинематических ( $n, A$ ), геометрических ( $\alpha, \beta, L$ ) и загрузочных ( $q_B, q_F$ ) параметров при варьируемом гранулометрическом составе исходных смесей. При этом изу-

чению подлежит не только разделяющая, но и транспортирующая способность рабочего органа.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СЕПАРИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К АНАЛИЗУ И СИНТЕЗУ ПРОЦЕССА СИТОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНА И ЯДРА ГРЕЧИХИ И ПРОСА

Учитывая сложный характер массовых явлений взаимодействия частиц в слое сепарируемой смеси и существенное его влияние на интенсивность разделения смеси, аналитические исследования процесса сепарирования целесообразно проводить, используя аппарат теории случайных процессов. При этом анализ должен включать изучение двух взаимосвязанных и одновременно происходящих операций процесса сепарирования: движения зерновой смеси по ситовому сепаратору с одновременным перераспределением частиц в слое; извлечение проходных частиц, оказавшихся на поверхности сита.

Вероятность прохождения частицы через отверстие сита обусловлена интенсивностью перераспределения частиц в слое смеси, их взаимодействием, а также геометрическими характеристиками рабочего органа.

Таким образом, задача сводится к отысканию закономерности движения совокупности частиц на ситовой поверхности, определяющей технологическую эффективность процесса сепарирования.

В основе статистической теории сепарирования, развиваемой Е. А. Непомнящим, лежит предположение о вероятностной природе движения частиц в слое сепарируемой смеси: координата частицы (расстояние от частицы до сита) является случайной функцией времени. Изменение указанной координаты является случайным процессом марковского типа. Степень выделения проходных частиц  $E_{\Pi}$  определяется их потоком через поверхность сита за время нахождения смеси в сепараторе:

$$E_{\Pi} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^H \exp \left[ - \left( H - \frac{\bar{h}}{H} \right)^2 \right] dH, \quad (1)$$

где  $H$  и  $h$  — безразмерные параметры,  $H = \frac{h}{\sqrt{2b \frac{L}{V_{\text{ср}}}}}$

$= \sqrt{\frac{h \cdot q_B}{2bL\gamma}}$ ,  $\bar{h} = \frac{c}{2b} \cdot h$ ,  $b$  — дисперсный коэффициент зависящий от физико-технологических свойств частиц смеси,  $c$  — коэффи-

коэффициент внешнего поля, определяемый в гравитационном поле соотношением плотности проходowych и сходowych частиц. Значения параметров  $H$  и  $h$  обуславливают загрузочный режим сепарирования (начальная толщина слоя смеси  $h$ , средняя скорость перемещения смеси  $V_{\text{ср}}$  и объемная плотность ее  $\gamma$ ), длина сита  $L$  и стохастические коэффициенты сепарирования  $b$  и  $c$ . В случае, если плотность проходowych и сходowych частиц примерно одинакова, влияния поля гравитации можно не учитывать ( $c=0$ ). Тогда процесс сепарирования определяет значение одного безразмерного параметра  $H$  и при равномерном в начале процесса распределения проходowych частиц в слое конечной толщины его технологическая эффективность описывается выражением

$$E_{\text{п}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{16H^2}\right). \quad (2)$$

Стохастический коэффициент  $b$  определяли, используя зависимость (2) и результаты экспериментов. Для основных подопытных смесей, характеризуемых концентрацией проходowych частиц  $K_{\text{п}}=0,5$ ,  $b$  равно  $0,10 \text{ см}^2/\text{сек}$  (для гречихи) и  $0,04 \text{ см}^2/\text{сек}$  (для проса). При известных значениях  $b$  безразмерный параметр  $H$  определяют только по задаваемым геометрическим и загрузочным характеристикам процесса. Следовательно, реальным является прогнозирование технологической эффективности действия вибросепаратора, используя универсальные характеристики  $E_{\text{п}} = 1 - \Phi(H)$ . Это подтверждается удовлетворительной сходимостью выражения (2) и результатов экспериментов (рис. 1), полученных при вибросепарировании зерна и ядра гречихи на струнно-натяжном сите в

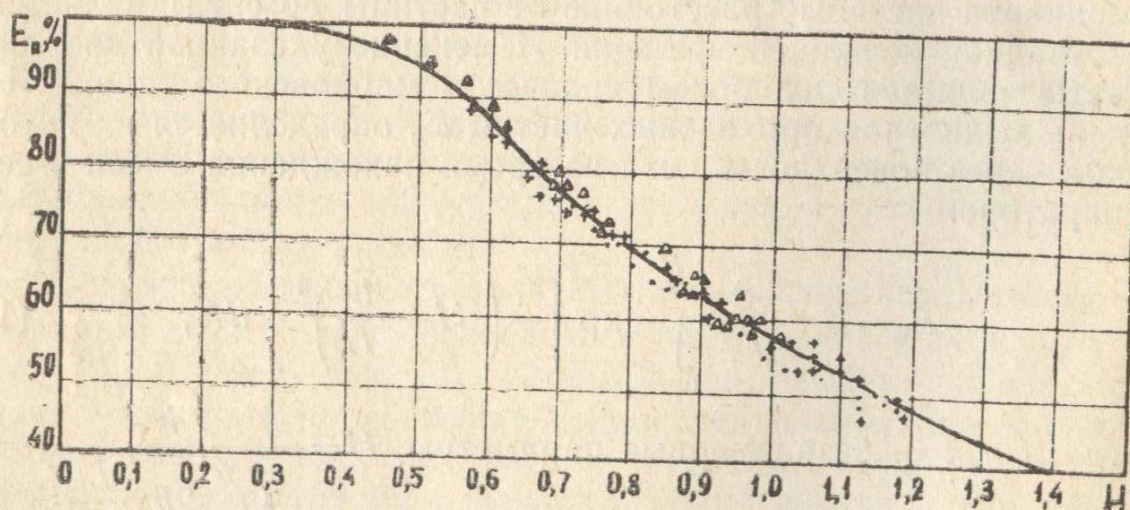


Рис. 1

условиях:  $A=1,0 \div 2,5 \text{ мм}$ ,  $n=1500 \text{ кол/мин}$ ,  $\alpha=0,000 \div 0,180 \text{ рад}$ ,  $\beta=0,7 \div 1,6 \text{ рад}$ ,  $h=1,4 \pm 0,2 \text{ см}$ ,  $L=1,5 \text{ м}$ . При этом

максимальное значение  $E_{\Pi}$  будет получено при таком сочетании факториальных параметров вибросепаратора, которое будет обуславливать минимальное значение параметра  $H$  в условиях необходимой транспортирующей способности. Использование универсальной характеристики (2) и результатов

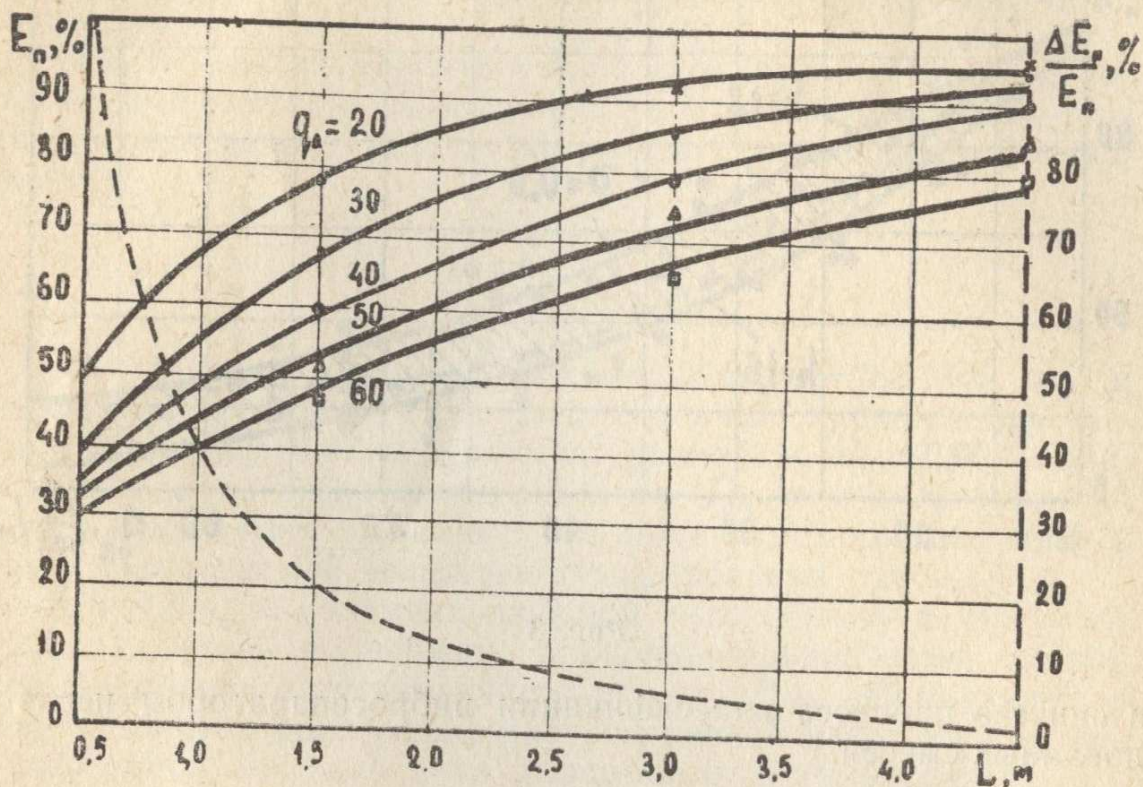


Рис. 2

проведенных опытов дает возможность решать и обратную задачу: находить параметры вибросепаратора по заданной технологической эффективности.

На рис. 2 графически представлена зависимость

$$E_{\Pi} = 1 - 0,81e^{-0,18 \frac{L}{q_B}}, \quad (3)$$

полученная при  $q_B = \text{varia}$  и подстановке измеренных и вычисленных значений  $h$ ,  $\gamma$ ,  $b$ . Точками обозначены результаты опытов, проведенных в условиях непрерывного процесса сепарирования. С возрастанием  $L$  резко снижается величина  $\nabla E_{\Pi} = \frac{\Delta E_{\Pi}}{E_{\Pi}} \cdot 100\%$  для смежных значений  $E_{\Pi}$ . При длине сита  $L = 3 \text{ м}$   $\nabla E_{\Pi}$  равно  $\sim 4\%$ . Следовательно, дальнейшее увеличение длины сита нецелесообразно.

Из (3) следует, что при  $L = \text{const}$  повышение  $q_B$  обуславливает снижение  $E_{\Pi}$ . Регрессионный анализ экспериментальных значений  $E_{\Pi}$ , полученных при варьировании  $q_B$  в интервале  $10 \div 60 \text{ кг/час} \cdot \text{см}$  (рис. 3), подтверждает эту зависимость (корреляционное отношение  $\eta = 0,9$ ).

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтвердили целесообразность использования статистической теории сепарирования Е. А. Непомнящего при анализе

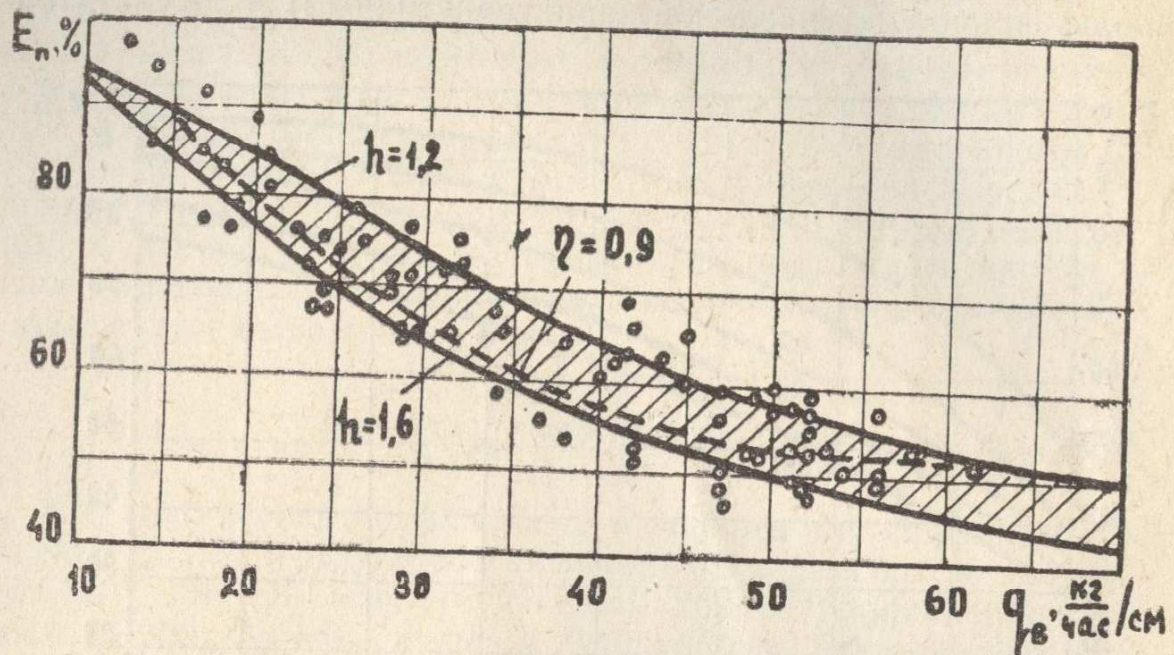


Рис. 3

и синтезе процесса классификации вибросепаратором исследованных смесей.

### ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Применяемые в крупном производстве металлоштампованные сита с различной формой разделяющих отверстий имеют сравнительно небольшую активную площадь (коэффициент живого сечения сита с круглыми отверстиями 33—45%, с прямоугольными 32—36%, с треугольными — 25—37%). К тому же эти сита имеют недостаточную жесткость при изгибе. Следствием этого является образование в процессе эксплуатации вогнутых участков, снижающих производительность сепаратора. Таким же весьма существенным недостатком обладают и металлотканые сита. В связи с этим было сконструировано струнное сито с индивидуальным натяжением основных нитей диаметром  $2r=0,33$  мм. При таком конструктивном решении создается не только достаточно жесткая, но вместе с тем и упругая система стальных нитей, благоприятствующая разгрузке отверстий от застревающих частиц. Следуя М. Н. Летошневу, расположение уточных нитей таково, что образуется отверстие продолговатой формы, при которой повышается вероятность прохождения даже «трудных» частиц.

Технологически необходимым гранулометрическим составом конечных продуктов сепарирования был обусловлен выбор ширины  $a$  прямоугольного отверстия; длина же его избрана, исходя из условий минимальной вероятности соударения частицы с поперечной нитью и максимально допустимой деформацией продольной нити для заданной четкости классификации.

Геометрическая вероятность  $P_c$  столкновения сферической частицы диаметром  $2R$ , падающей под некоторым углом  $\epsilon$  на сито, с поперечной нитью диаметром  $2r$  определяется выражением

$$P_c = \frac{2(R+r)}{l \sin \epsilon} \quad (4)$$

Для реально наблюдаемых значений  $\epsilon = 0,8 \div 1,6$  рад и избранной вероятности беспрепятственного прохождения частиц диаметром  $0,97 a$  примерно равной  $1 - P_c = 0,90$ , минимальная длина отверстия определена  $l_{\min} = 10 a$ . Максимальное значение  $l$  обуславливает возможная деформация нити в связи с задаваемой четкостью сепарирования смеси.

Допуская, что элемент основной нити (между двумя уточными нитями) подвержен продольно-поперечному изгибу под действием растягивающего усилия  $T$  и действующей в плоскости сита равномерно распределенной нагрузки  $q$  от сыпучей смеси, максимальная деформация нити будет:

$$\Delta a = \frac{0,128ql^4}{\pi^2 EI_z + Tl^2}$$

где  $EI_z$  — жесткость струны при изгибе.

Решая полное биквадратное уравнение при значении  $EI_z = 0,088$  кГ · см<sup>2</sup>,  $T = 6$  кГ,  $\Delta a = 0,05 a$  см, находим один вещественный положительный корень: для гречихи при интенсивности нагрузки  $q = 0,0045$  кГ/см —  $l = 13$  см, для проса при  $q = 0,0037$  кГ/см —  $l = 10$  см. Величина  $q$  определяется из условий максимально возможной загрузки сита и угла опирания частицы на нить  $\theta \approx 1,3$  рад.

При указанных размерах отверстия коэффициент живого сечения сита для сепарирования гречихи 0,91 и проса — 0,87.

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях проводили на вибростенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 4. От электродвигателя 1 вращение через бесступенчатый вариатор 2 передается приводному валу 3, на котором смонтирован поворотный эксцентриковый механизм. Последний позволяет установочно варьировать амплитуду колебаний в интервале  $1,0 \div 2,5$  мм. Частоту колебаний изменяли от 1000 до 2000 кол/мин посредством бесступенчатого вариатора. Наклон к горизонту линии колебаний сита

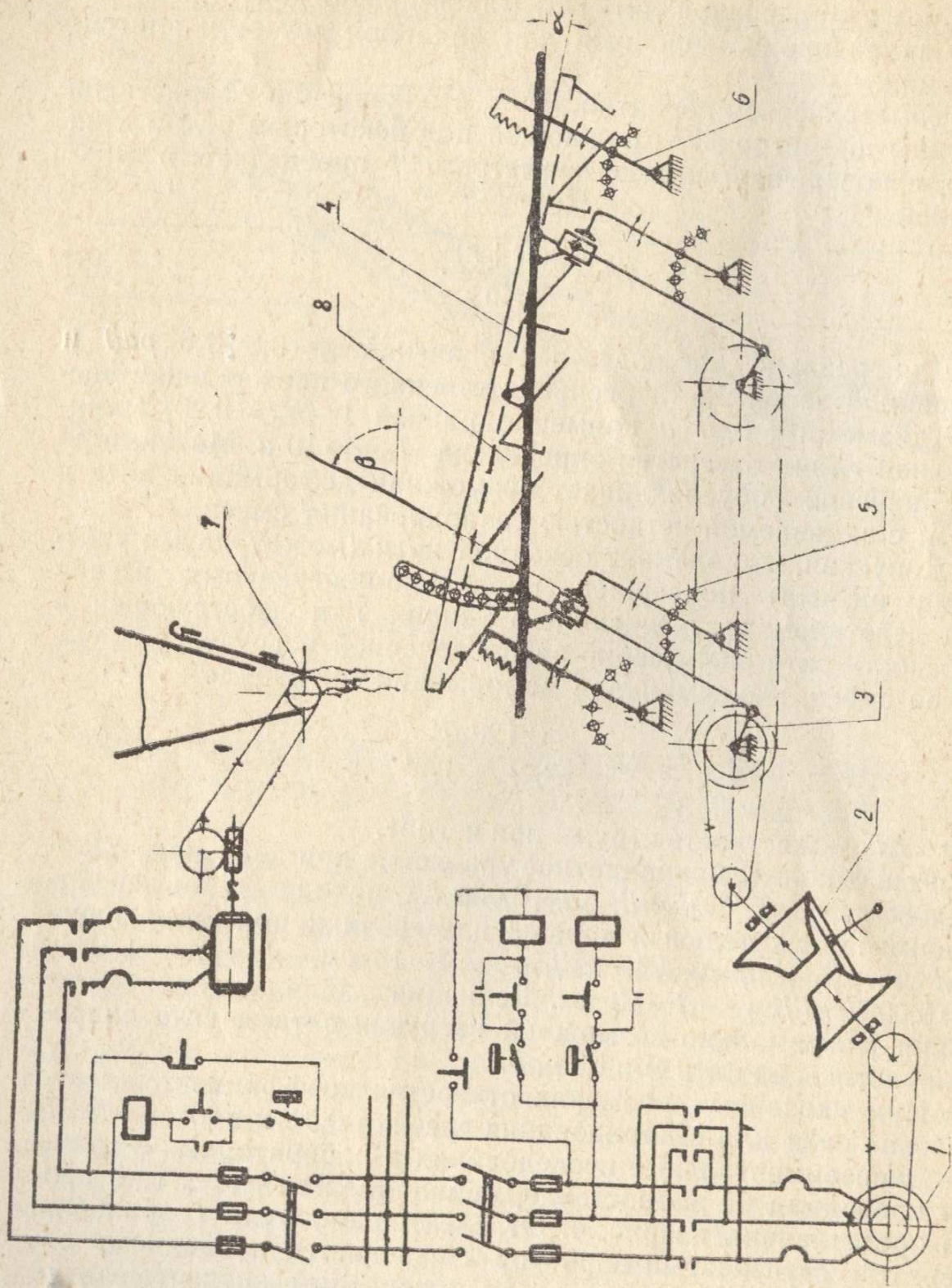


Рис. 4

4 — угол  $\beta$  — варьировали в интервале  $0,7 \div 1,6$  рад посредством поворотных направляющих 5 и стоек 6. Наклон сита к горизонту — угол  $\alpha$  — изменяли от 0 до  $0,180$  рад. Варьирование удельной подачи в интервале  $q_B = 10 \div 120$  кг/час·см осуществляли дозирующе-распределительным устройством 7 заслоночно-роликового типа. Раздельный сбор проходowego продукта по длине сита производили в пятисекционный сборник 8.

Считая гречиху «Богатырь» и просо «Веселоподолянское-367» наиболее представительными сортами указанных культур, в качестве подопытных использовали смеси, количественные и размерные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

№№ п. п.	Относительное содержание частиц в искусственно составленных смесях						$K_p$
	Гречихи, %			Проса, %			
	проходových (ядра)	сходových (зерна)		проходových (дробл. ядра)	проходových (зерна)	сходových (зерна)	
	Ситовая характеристика класса крупности, мм						
	—2,9/+2,3	—3,3/+2,9	—4,1/+3,3	—1,2/+0,8	—1,9/+1,8	—2,2/+1,9	
1	3,5	46,5	50	—	—	—	0,5
2	—	50	50	—	—	—	0,5
3	—	—	—	—	50	50	0,5
4	10	90	—	—	—	—	1,0
5	50	50	—	—	—	—	1,0
6	90	10	—	—	—	—	1,0
7	90	—	10	—	—	—	0,9
8	50	—	50	—	—	—	0,5
9	13	—	87	—	—	—	0,13
10	—	—	—	50	—	50	0,5

Программа научно-экспериментальных исследований включила изучение транспортирующей способности вибросепаратора, сравнительные технологические испытания штампованного и струнно-натяжного сит, изучение разделяющей способности вибросепаратора в связи с варьированием факториальных параметров.

В исследовании применена математико-статистическая обработка экспериментальных данных, полученных в равноточных опытах, базирующаяся на определении статистических средних и некоторых моментов высших порядков, используе-

мых для характеристики рассеяния полученных результатов относительно центра группирования.

Результаты специальной серии равноточных опытов дали возможность предположить нормальный закон их распределения. Проверка правдоподобия предложенной гипотезы посредством критерия согласия  $\chi^2$  Пирсона свидетельствует о ее соответствии экспериментальным данным.

Для обеспечения необходимой точности и надежности результатов опыта при заданном доверительном интервале, соответствующем 10% уровню значимости, определяли минимально необходимое число повторностей опыта.

Для оценки однородности результатов равноточных экспериментов и исключения резко выделяющихся значений использовали свойства  $t$ -распределения случайной величины.

В некоторых случаях, когда одному значению аргумента соответствовало некоторое распределение величины исследуемого критерия, производили обработку системы двух случайных величин посредством методов регрессионного анализа.

Статистическое планирование экспериментов и принятая методика обработки опытных данных позволили достаточно объективно оценить форму, тесноту и характер взаимосвязей исследуемых величин.

## ОБСУЖДЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СИТОВОГО ВИБРОСЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНА И ЯДРА ГРЕЧИХИ И ПРОСА

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что при неизменной толщине слоя смеси повышение транспортирующей способности может быть достигнуто путем увеличения параметров  $n$ ,  $A$  и  $\alpha$  либо уменьшением  $\beta$ . При этом полученные значения возможных подач зерна вибросепаратором намного превышают производительность технологических линий на грече- и просозаводах.

Из анализа опытных данных следует, что при неизменных частоте и амплитуде колебаний сита задаваемая удельная подача  $q_B$  может быть достигнута в результате рационального сочетания значений углов  $\alpha$  и  $\beta$  (см. табл. 2). Вместе с тем, значение  $q_B$  находится в прямой зависимости от параметра  $nA$ . Однако по условиям динамического нагружения колеблющейся системы основным параметром регулирования транспортирующей способности сепаратора следует избрать оперативно варьируемое значение  $\alpha$ ; изменение же угла  $\beta$  определяет главным образом значение коэффициента давления частиц на сито. Для вибросепаратора, как технологической

Таблица 2

$q_B$ , кг/час·см	32	50	61	70
$n=1500$ кол/мин, $A=2,5$ мм				
$\beta$ рад $\alpha=0,090$ рад	1,6	1,3	1,0	0,7
$\alpha$ рад $\beta=1,3$ рад	0,045	0,090	0,135	0,180

машины, значения кинематических и конструктивно-установочных параметров должны быть согласованы с условиями оптимального разделения смеси по геометрическим признакам.

Из рассмотрения экспериментально полученных значений  $E_{II}$  (см. табл. 3) при неизменных установочных параметрах  $\alpha$ ,  $\beta$  и варьируемых кинематических параметрах  $n$ ,  $A$  ( $q_B = \text{const}$ ) наиболее эффективно процесс сепарирования осу-

Таблица 3

$\alpha=0,045$ рад, $\beta=1,3$ рад						
$q_B$ кг/час/см	$n$ кол/мин $A$ , мм	1000	1250	1500	1750	2000
		23	1,0	—	71	75
32	1,5	—	63	71	70	72
42	2,0	50	65	66	60	—
47	2,5	48	59	55	56	—

ществляется в условиях  $nA \approx 3$  м/мин, или при средней скорости перемещения смеси по сити около 0,15 м/сек.

Увеличение  $n$ ,  $A$ ,  $\alpha$ , обуславливая повышение транспортирующей способности сита, вызывает снижение разделяющей способности, характеризуемое уменьшением  $E_{II}$  и возрастанием  $K_2$ ; увеличение же  $\beta$  приводит к обратному результату.

Регрессионный анализ экспериментальных данных подтвердил, что  $E_{II}$  находится в обратной зависимости от  $nA$ , а следовательно, и от  $V_{ср}$ . Этот вывод согласуется с выраже-

нием (2). Выбор индивидуальных значений  $n$  и  $A$  должен быть сообразован с ускорением сита, при котором достигается наряду с высокой эффективностью и самоочистка отверстий от застревающих частиц  $\omega^2 A \approx (30 \div 70) \text{ м/сек}^2$ . Соблюдая оптимальные значения  $nA$  и  $n^2 A$  при сепарировании гречихи, рациональными являются значения  $n = 1500 \div 1800 \text{ кол/мин}$ ,  $A = 2,0 \div 1,7 \text{ мм}$ ; проса —  $n = 1800 \text{ кол/мин}$ ,  $A = 1,7 \text{ мм}$ .

Так как транспортирующая способность сита находится в прямой зависимости от  $\alpha$  и в обратной от  $\beta$ , а разделяющая — в обратной от  $\alpha$  и в прямой от  $\beta$ , то для выбора оптимальных значений  $\alpha$  и  $\beta$  в качестве определяющего критерия применили удельную производительность сита  $G = q_B \times \frac{E_{\text{п}}}{100} \text{ кг/час} \cdot \text{см}$ .

Из рассмотрения приведенных в табл. 4 данных об изменении  $G$  в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$  следует, что максимальное значение  $G$  достигается при  $\alpha = 0,090 - 0,135 \text{ рад}$  и  $\beta = 1,0 \text{ рад}$ ; при  $q_B = \text{const}$  оптимальными являются указанные значения  $\alpha$ , интервал же значений  $\beta$  несколько расширяется:  $\beta = 1,0 - 1,3 \text{ рад}$ .

Таблица 4

$n = 1500 \text{ кол/мин}, A = 2,0 \text{ мм}$

$\alpha \text{ рад} \backslash \beta \text{ рад}$	0	0,045	0,090	0,135	0,180
0,7	22	26	28	28	27
1,0	23	27	29	28	27
1,3	18	22	25	25	24
1,6	—	16	19	18	17

Эти результаты получены не только при калибровании гречихи и проса, но и при отделении ядра гречихи и дробленого ядра проса.

Зональную оценку эффективности действия сита по каждому из пяти участков его производили на основе определения массы проходowego продукта, измерения основных линейных размеров и массы 1000 зерновок на воздушно-сухое вещество. Анализ полученных данных свидетельствует, что по длине сита уменьшается извлечение проходowych частиц, воз-

растает асимметрия статистического распределения основного размера их и масса 1000 зерновок. Асимметрия характеризует выделение частиц, размеры которых превышают среднее арифметическое значение.

При неизменном рабочем размере отверстий сита ( $a = 3,3$  мм) возрастание крупности проходовых частиц обуславливает уменьшение значения  $E_k$  (см. табл. 5).

Таблица 5

Ситовая характеристика класса крупности проходовых частиц, мм	Средний арифметический размер частиц в классе, $M_k$ , мм	Величина отношения $\frac{M_k}{3,3}$	Степень выделения частиц избранного класса крупности, $E_k$ %
-2,5/+2,3	2,4	0,73	100
-2,7/+2,5	2,6	0,79	90
-2,9/+2,7	2,8	0,85	70
-3,1/+2,9	3,0	0,91	50
-3,3/+3,1	3,2	0,97	19

Исследования при различной концентрации проходовых частиц в исходной смеси показали, что уменьшение  $K_p$  в интервале  $0,90 \div 0,13$  обуславливает возрастание технологической эффективности сепарирования  $E_p$ . Это согласуется с результатами экспериментальных исследований С. А. Васильева и П. И. Леонтьева вибросепарирования пшеницы и семян кормовых трав.

Упругость индивидуально натягиваемых основных нитей сита, благоприятный динамический режим в совокупности с рациональной длиной разделяющих отверстий способствует самоочистке последних. Это обеспечивает практическую неизменяемость активной площади струнно-натяжного сита и значительное повышение эффективности его действия.

В условиях одинаковых значений  $q_v$  при сепарировании гречихи и проса технологическая эффективность струнно-натяжного сита в  $1,1 \div 1,6$  раза выше, чем штампованного с круглыми отверстиями.

Учитывая эксплуатационно-техническую нестабильность загрузочного режима сепаратора и изменчивость физико-технологических свойств объекта обработки, возникает необходимость в оперативном оптимизирующем регулировании эффективности процесса сепарирования. По условиям обеспечения наиболее высокой транспортирующей и разделяющей способности вибросепаратора в качестве основного входного параметра регулирования целесообразно принять следующий интервал угла наклона сита к горизонту:  $\alpha = 0,090 \div 0,135$  рад. При этом технологически оптимальными будут такие параметры механического режима сепарирования гречихи и проса

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова  
 БИБЛИОТЕКА

ВО 14 406 17

указанных выше сортов:  $n = 1500 \div 1800$  кол/мин,  $A = 2,0 - 1,7$  мм,  $\beta = 1,0 \div 1,3$  рад.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Результаты экспериментальных исследований подтверждают целесообразность применения статистической теории сепарирования Е. А. Непомнящего для анализа и синтеза процесса ситового вибросепарирования зерна и ядра гречихи и проса. Используя универсальные характеристики процесса сепарирования, в исследовании определены значения стохастического коэффициента  $b$ , который определяет эффективность классификации подопытных смесей при избранных временных и загрузочных факторах. Таким образом создается возможность избрать оптимальный технологический режим сепарирования как искусственных, так и натуральных смесей.

2. По сравнению с металлоштампованным предлагаемое струнно-натяжное сито с большой активной площадью (коэффициент живого сечения 87—91%) имеет ряд технологических преимуществ при сепарировании «трудных» смесей, какими являются зерна и ядра гречихи и проса; при вибрационном движении такого сита достигается практически полная самоочищаемость отверстий от застревающих частиц.

3. На транспортирующе-разделяющую способность струнно-натяжного сита существенное влияние оказывает частота, амплитуда, направленность колебаний ( $n$  кол/мин,  $A$  мм,  $\beta$  рад) и угол наклона его к горизонту ( $\alpha$  рад). Оптимальными значениями параметров механического режима сита являются:  $n = 1500 \div 1800$  кол/мин,  $A = 2,0 \div 1,7$  мм,  $\alpha = 0,090 \div 0,135$  рад,  $\beta = 1,0 \div 1,3$  рад.

При постоянной толщине слоя сепарируемой смеси увеличение  $n$ ,  $A$ ,  $\alpha$  и уменьшение  $\beta$  обуславливает снижение степени выделения проходových частиц ( $E_{\Pi}$  %), но увеличивает транспортирующую способность сита, оцениваемую удельной подачей смеси на единицу длины приемного фронта сита ( $q_B$  кг/час·см).

4. Значения  $E_{\Pi}$  и  $q_B$  являются сопряженными: увеличение  $q_B$  приводит к уменьшению  $E_{\Pi}$ . Однако в окрестности значения  $q_B \approx 25$  кг/час·см относительное увеличение подачи ( $\nabla q_B = \frac{\Delta q_B}{q_B} \cdot 100\%$ ), например на 25%, обуславливает относительное уменьшение эффективности выделения проходových частиц  $\nabla E_{\Pi} \approx 12,5\%$ , а при  $q_B \approx 45$  кг/час·см —  $\nabla E_{\Pi} \approx 8,3\%$ . Таким образом, с увеличением загрузки сита менее интенсивно снижается эффективность действия его, что обусловлено развитием процесса перераспределения частиц в слое смеси.

5. Для достижения заданной эффективности действия вибросепаратора в условиях эксплуатационно-технической нестабильности загрузочных параметров его и физико-технологических свойств зерновой смеси целесообразно оперативно регулировать режим вибросепарирования. Исходя из условий динамического нагружения вибросепаратора и сохранения рационального кинематического режима его, указанное регулирование целесообразно осуществлять посредством варьирования угла  $\alpha$ .

6. Применяемые на грече- и просозаводах крупосортировки КСЗ-2 и плоские сортировки малоэффективны и низкопроизводительны. Вибросепаратор со струнно-натяжным ситом позволяет существенно интенсифицировать процесс сепарирования. Так, например, значение  $E_{\text{п}} \approx 50\%$  достигается на плоской сортировке при  $q_{\text{в}} \approx 35 \text{ кг/час} \cdot \text{см}$  и  $q_{\text{ф}} \approx 400 \text{ кг/час} \cdot \text{м}^2$ , а на вибросепараторе — при  $q_{\text{в}} \approx 48 \text{ кг/час} \cdot \text{см}$  и  $q_{\text{ф}} \approx 3200 \text{ кг/час} \cdot \text{м}^2$ . Это позволяет рекомендовать вибросепаратор со струнно-натяжным ситом к опытно-промышленной проверке при указанных выше оптимальных параметрах механического режима.

\* \*  
\*

Секция оборудования XXVII научной конференции Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, обсудив результаты научно-экспериментальных исследований ситового вибросепарирования зерна и ядра гречихи и проса, рекомендовала разработать технологическое задание на проектирование машины указанного назначения.

Координационным планом ВНИЭКИПродмаша на 1966 год предусмотрено изготовление опытно-промышленного образца вибросепаратора-крупосортировки. В связи с этим Горьковское отделение ВНИЭКИПродмаша ведет разработку необходимой технической документации.

\* \*  
\*

#### **Основное содержание диссертации опубликовано в статьях:**

✓ 1. Исследование вибрационного способа сепарирования высоковлажных зерновых смесей. Тезисы докладов XXV научной конференции Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, 1963.

2. О транспортирующей способности вибросепаратора. Изв. высш. учебн. заведений, Пищевая технология, № 5, 1964.

✓ 3. Исследование пропускной способности вибросепаратора для гречихи. Тезисы докладов XXVI научной конференции

Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, 1964.

4. Влияние длины рабочей поверхности сепаратора на технологический процесс. Вестник технической и экономической информации, ЦИНТИ Госкомзага СССР, № 10, 1964.

5. Эффективность разделения вибросепаратором зерна и ядра гречихи и проса в зависимости от кинематических и конструктивно-установочных параметров. Тезисы докладов XXVII научной конференции Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, 1965.

6. К вопросу о кинетике процесса вибросепарирования зерна и ядра гречихи на натяжном сите. Тезисы докладов XXVII научной конференции Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова, 1965.

7. Эффективность вибросепарирования зерна и ядра гречихи. Изв. высш. учебн. заведений, Пищевая технология, № 3, 1965.

Основные результаты работы доложены на XXV, XXVI, XXVII научных конференциях Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова в 1963, 1964, 1965 гг.

---

Подписано к печати 24.VIII.65 г.      Формат бумаги 60×84/16.  
1,25 печ. л., 1,25 уч.-изд. л. БР 01642. Зак. № 1563. Тираж 200.

Одесская Книжная типография Главполиграфпрома Государственного Комитета Совета Министров УССР по печати. Купальный пер., № 5.