

Автореферат  
1512

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

БАБИЧ МИХАИЛ БОРИСОВИЧ

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОТЕЖОВ В СИСТЕМАХ  
АСПИРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ *М.В.Б.*

Специальность 05.18.12 -- процессы, машины и  
агрегаты пищевых  
производств

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1991

Работа выполнена в Одесском технологическом институте  
пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова

Научный руководитель: доктор технических наук  
Дмитрук Е.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Остапчук Н.В.,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Володин Н.П.

Ведущая организация: Киевский филиал Проектного  
института

"Харьковский Промэнергопроект"

Защита состоится 27<sup>я</sup> декабря 1991 г. в 10<sup>30</sup> час.  
на заседании специализированного совета К 068.35.02 при

Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени  
М.В.Ломоносова, 270039, г.Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности имени  
М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан 23<sup>я</sup> ноября 1991 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

доктор технических наук, профессор

Л.И.Карнаушенко

С.С.В. 16.09.91

Меню

016914

В

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



V016917

Актуальность работы. Процессы пылеобразования являются неотъемлемой частью технологических процессов по переработке зерновых материалов. Для предотвращения пылевыведений из укрытий транспортно-технологических линий (ТТЛ), вызванных данными процессами, наиболее широкое применение получили системы аспирации (СА). Однако эксплуатировать в настоящее время СА не обеспечивают необходимого эффекта обеспыливания воздуха рабочих помещений.

Основными источниками повышенных пылевыведений и загрязнения воздушной среды на элеваторах являются участки ТТЛ, включающие самотеки. Обусловлено это тем, что существующая методическая и нормативно-техническая база по проектированию и расчету СА не учитывает наличия аэродинамической взаимосвязи воздуха внутри укрытий оборудования через соединяющие их самотечные материалопроводы, а также влияния на параметры воздуха внутри этих укрытий эжекторного действия перемещаемых в самотеках зерновых материалов. Несмотря на существование существующей методики и обусловило проведение данных исследований.

Представленные в работе исследования являются составной частью НИР "Разработать указания по проектированию аспирационных установок с нормальными на оборудование" выполненной по планам НИР Минвуза СССР и Минлебпродуктов СССР в соответствии с договором о международном сотрудничестве между СССР, ГДР и НРБ.

Целью работы является повышение эффективности функционирования аспирационных систем элеваторов на основе использования аэродинамических характеристик (зависимость потерь давления воздуха от его скорости или расхода) зерно-воздушных потоков продуцируемых в самотеках. Достижение цели потребовало решения следующих задач: проведение качественного и количественного анализа процессов движения и взаимодействия зернового и воздушного потоков в самотеках; разработка математических моделей процессов гравитационного транспорта зерно-воздушных потоков по самотечным материалопроводам на зерновых элеваторах; разработка алгоритмов расчета математических моделей и программ их реализации на ЭВМ; разработка методов определения параметров работы аспирационных приемников на основе использования математических моделей процессов гравитационного транспорта или графо-аналитического метода наложения аэродинамических характеристик оборудования ТТЛ; экспериментальное определение коэффициентов входящих в математические моде-

ли; проверка адекватности математических моделей результатом лабораторного эксперимента и производственной апробации.

Научная новизна. Получены математические модели процессов самоотечного транспорта зерно-воздушных потоков для связанных и переходных режимов движения зерна и разработаны на их основе математические модели процессов аспирации типовых ТТЛ элеваторов; предложены и обоснованы два основных метода расчета параметров аспирационных приемников СА на базе программ математических моделей с использованием ЭВМ и графо-аналитический; установлены закономерности и основные параметры процесса энергообмена при межфазовом взаимодействии зернового и воздушного потоков; определены коэффициенты межфазового энергообмена между потоками зерна и воздуха, диссипативных потерь энергии при перемещении зернового потока, выброса зерновок при переходных режимах движения зерна; разработана методика расчета параметров функционирования аспирационных приемников СА для ТТЛ зерновых элеваторов, с учетом аэродинамической взаимосвязи воздуха в укрытиях ТТЛ и эжекционного действия сыпучих материалов в самотеках.

Практическая ценность работы заключается в разработке: методик расчета параметров функционирования аспирационных приемников СА ТТЛ элеваторов одобренных и принятых ЦНИИПромзернопроектом и на базе которых разрабатываются новые указания по проектированию СА зерноперерабатывающих предприятий; устройств и способов управления параметрами аэродинамической взаимосвязи между оборудованием ТТЛ на уровне авторских свидетельств, Разработанный комплекс математических моделей процессов аспирации типовых ТТЛ элеватора, позволяет при необходимости решать задачи оптимизации процессов функционирования СА ТТЛ. Использование результатов работы на предприятиях отрасли позволило получить экономический эффект в сумме более 257 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на Всесоюзной научной конференции "Пути интенсификации технологических процессов и оборудования в отраслях агропромышленного комплекса" (Москва, 1988 г.); Республиканской научной конференции "Интенсификация технологий и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК" (Киев, 1989 г.); Всесоюзной научной конференции "Проблемы экологии и ресурсосбережения" (Черновцы, 1990 г.); УП Всесоюзной конференции "Математические методы в химии" (Казань, 1991 г.); Всесоюзной научной конференции "Ученые и специалисты в решении социально-экономических проблем

страны" (Ташкент, 1991 г.); Всесоюзной научной конференции "Механика сыпучих материалов (Одесса, 1991 г.); Республиканской конференции "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК" (Киев, 1991 г.); научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИШ им. М. В. Ломоносова (Одесса, 1987 - 1990 г.г.).

На защиту выносятся следующие научные положения: использование системы укрытий ТТЛ в качестве естественных вентиляционных каналов; математические модели процессов гравитационного транспорта зерно-воздушных потоков в самотеках; математические модели процессов аспирации типовых ТТЛ элеваторов; результаты изучения кинематических и аэродинамических характеристик при движении зернового и воздушного потоков в самотеках.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Работа изложена на 263 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков, 5 таблиц и 4 приложений. Список литературы включает 169 наименований, в том числе 14 иностранных.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние теории и практики расчета и проектирования СА зерновых элеваторов. На основе исследований БНПО "Зернопродукт", БНПО "Комбикорм", ОТИШ им. М. В. Ломоносова установлено, что эксплуатируемые СА не обеспечивают необходимого эффекта обеспыливания воздуха рабочих помещений при работе ТТЛ. Они проектируются по принципу индивидуального отбора воздуха от каждой машины ТТЛ, без учета взаимословленности параметров воздуха во всех машинах линии в виду его аэродинамической взаимосвязи через увязывающие их самотечные материалопроводы. При этом, согласно существующих методов проектирования СА, для однотипного оборудования на всех элеваторах параметры работы аспирационных приемников одинаковы, и не учитывают, что данное оборудование на каждом элеваторе увязано в ТТЛ своей системой самотечков (углы наклона, длины, диаметры) не типичной как для различных элеваторов, так и для однотипных линий одного элеватора. Как результат - применение данных методик при расчете СА однотипных ТТЛ, при их функционировании приводит к неоднозначным существенно отличающимся

фактическим параметрам их работы. Причина этого - неучитываемое при проектировании влияние самотеков.

Было установлено, что самотеки оказывают существенное влияние на работу СА. Они одновременно функционируют как транспортные средства, эжекционные нагнетатели воздуха и воздуховоды. В связи с этим их влияние необходимо учитывать при проектировании СА.

Анализ исследований закономерностей движения двухфазных потоков, проведенных учеными Бутаковым С.С., Платоновым П.Н., Хемелем В.С., Горбисом З.Р., Зуевым Ф.Г., Костюком Г.Ф., Олифером В.Д., Зильбербергом Я.И., Нейковым О.Д., Логачевым И.Н., Гервасьевым А.М., Камышенко М.П. показал наличие обоснованных предположений о реализуемой формализации работы СА ТТД и подтвердил необходимость изучения кинематических и аэродинамических характеристик движения зернового воздушного потока в самотеках. На основе анализа было определено направление и содержание дальнейших исследований.

Во второй главе на основе качественного анализа процессов перемещения зерно-воздушных потоков в самотеках, разработана классификация режимов перемещения зерновых, связанные, переходные, несвязанные, и зерно-воздушных потоков прямоточные, противоточные и в режиме полной герметизации. На базе данной классификации определены три вида взаимодействия между зерновым и воздушным потоками: поверхностный, смешанный, объемный. Для каждого из них определены основные закономерности и параметры процесса энергообмена между потоками.

Представлены кинематические схемы совместного перемещения зернового и воздушного потоков в самотеках. На их основе в самотеке выделены два основных участка взаимодействия потоков: участок энергопередачи от воздуха к зерну, на котором скорость воздушного потока больше чем зернового, и участок энергопередачи от зерна к воздуху, на котором скорость зернового потока превышает скорость воздушного. Из анализа внешних и внутренних связей процесса перемещения потоков, а также используя кинематические схемы их совместного движения разработаны схемы действия сил на зерновой и воздушный потоки. На зерновой поток действуют силы: движущая составляющая силы тяжести  $F_g$ , сила внешнего трения о поверхность самотека  $F_{\tau}$ , сила аэродинамического трения с окружающим воздухом  $F_a$ , сила внутренних диссипативных потерь (внутреннее трение, вращение, соударение и т.д.)  $F_{\lambda}$ . На воздушный: силы давления воздуха во входном и в выходном сечениях самотека  $F_{\text{вх}}$ ,  $F_{\text{вых}}$ ,

сила аэродинамического воздействия потока зерна  $F_a$ , силы сопротивления воздушному потоку на входе и выходе из самотека  $F_{ax}$ ,  $F_{ay}$ , сила аэродинамического трения о свободные от зерна стенки самотека  $F_{a.тp}$ .

На основе разработанные кинематических и силовых схем, а также установленных закономерностей процесса энергообмена между потоками, представлено формализованное описание процесса движения материало-воздушных потоков по самотекам в виде детерминированных математических моделей составленных с использованием материальных и энергетических балансов. При моделировании приняты следующие допущения: самотечный материалопровод имеет бесконечно большую длину в сравнении с размерами частиц; зерно-воздушный поток движется вдоль оси материалопровода;  $U_x \neq 0$ ;  $U_y \neq 0$ ;  $U_z = U_z$ ;  $U_y = U_z = 0$ ; изменение плотности воздуха и объемной массы сыпучего материала по длине самотека незначительно; движение материало-воздушного потока осуществляется в установившемся режиме.

Общая математическая модель представлена в виде системы уравнений (1, 2, 3), в которой уравнение движения зернового потока составлено на основе второго закона Ньютона, а уравнение движения воздушного потока получено на основе теоремы об изменении кинетической энергии:

$$U_x \frac{dU_x}{dx} = g \sin \alpha - \left( \frac{D \beta_x}{G} \right)^{0.55} U_x - 0.22 g \cos \alpha - \frac{\Delta x U_x^2}{D \sin(\beta_x/2)}$$

$$-\Delta \rho \rho_0 D \sin\left(\frac{\beta_x}{2}\right) U_x \cdot \frac{G}{2G} \left( U_x - \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right)^2 - \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right) = \frac{H_0 - H_x}{\rho_0} - \frac{\gamma_{ax}}{2} \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right)^2 - \sum_{0.1}^L \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right)^2 + \int_0^L \rho_0 D \sin\left(\frac{\beta_x}{2}\right) U_x \cdot \frac{G}{2(\pi D^2/4 - G/\rho U_x)} dx - \int_0^L \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right) \left( \frac{G/\rho U_x - D \beta_x}{\pi D^2/4 - G/\rho U_x} \right)^{0.55} \left( \rho_0 \frac{\pi D^2/4 - G/\rho U_x}{2G} \right) dx \quad (2)$$

$$\beta_x - \sin \beta_x = \frac{8G}{\rho U_x D} \quad (3)$$

где:  $g$  - ускорение свободного падения;  $m^2/c$ ;  $\alpha$  - угол наклона самотека к линии горизонта, гр;  $\beta_x$  - полярный угол между прямыми соединяющими воображаемый центр поперечного сечения самотека с граничными точками касания зернового потока о стенки самотека, гр;  $D$  - диаметр самотека, м;  $G$  - производительность

потока зерна, кг/с;  $M_k$ ,  $M_x$  — скорость зернового потока, начальная, конечная и по длине самотека, м/с;  $\lambda_t$  — коэффициент диссипативных потерь при перемещении зернового потока;  $\lambda_a$  — коэффициент энергообмена между потоками зерна и воздуха;  $\rho_t$  — объемная масс. зерн., кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_a$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  — расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $N_0$ ,  $N_k$ ,  $N_x$  — давление воздушного потока во входном и выходном сечениях самотека, Па;  $L$  — длина самотека, м;  $\gamma$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $K_a$  — эквивалентная шероховатость внутренней поверхности самотека, м;  $\lambda_{\text{вн}}$  — коэффициент местных сопротивлений входного и выходного участков самотека. Граничные условия:  $M_k = 0 = M_0$ . В уравнении (2) сила аэродинамического взаимодействия между зерновым и воздушным потоками принята пропорциональной квадрату относительной скорости их обтекания и площади шероховатой поверхности образованной потоком зерна. Сила трения воздуха о свободные от зерна стенки самотека в (2) записана как произведение их площади на величину касательных напряжений. Диссипативные потери энергии при перемещении потока зерна в (1) — пропорциональны скорости его движения в соответствии с исследованиями Кильчевского Н.А. и Володина Н.П. Сила внешнего трения о стенки материалопровода (1) записана с учетом изменения величины коэффициента внешнего трения по длине самотека в зависимости от изменения удельной нагрузки зерна на единицу поверхности и скорости зернового потока.

На основе общей математической модели получены системы уравнений для различных форм самотеков, режимов движения зерно-воздушных потоков — проточные, противоточные, а также режимов движения зернового потока — связанные, переходные.

С использованием разработанных математических моделей процессов гравитационного транспорта зерна в самотеках, классификации ТТЛ элеваторов и выделения типовых ТТЛ, разработаны математические модели процессов аспирации типовых ТТЛ элеваторов. Так для первого типа ТТЛ рис. 1 при проточном режиме ее аспирации математическая модель представлена системой уравнений:

$$N_2 = N_{k2} \quad (4) \quad Q_2 = \sqrt{\frac{N_2}{K_{M2}}} \quad (5)$$

$$\Delta H_c = N_2 + \lambda_a \int_0^L \left( \frac{D_2}{2} \right) \left[ M_k - \rho_a \left( \frac{\pi D_2^2}{4} - G/\rho_a U_k \right) \left( U_k - \rho_a \frac{\pi D_2^2}{4} - G/\rho_a U_k \right) \right] dx - \lambda_{\text{вн}} \frac{Q_2}{2} \left( \frac{\pi D_2^2}{4} - G/\rho_a U_k \right)^2 - \lambda \left( \left( \rho_a \left( \frac{\pi D_2^2}{4} - G/\rho_a U_k \right) \right)^2 - \left( \rho_a \left( \frac{\pi D_2^2}{4} - G/\rho_a U_0 \right) \right)^2 \right) - 0,0079 Q_2^3$$

$$\int \left( \frac{Q_2}{\rho_0 (\pi D^2/4 - G/\rho_0 \mu_x)} \right)^2 \cdot \left( \frac{6 \pi \gamma \gamma (\pi D - \frac{D}{2} \beta_x)}{Q_2} + \frac{K_3 (\pi D - \frac{D}{2} \beta_x)}{(\pi D^2/4 - G/\rho_0 \mu_x)} \right)^{1/5} \cdot \frac{(\pi D - \frac{D}{2} \beta_x)}{\rho_0 (\pi D^2/4 - G/\rho_0 \mu_x)} Q_2 \alpha x \quad (6)$$

$$\beta_x - \sin \beta_x = \frac{\delta C}{\rho_0 \mu_x D^2} \quad (7)$$

$$\mu_x \frac{d\mu}{dx} = \rho_0 \sin \alpha - \left( \frac{D \beta_x}{G} \right)^{0.55} \cdot \mu_x^{0.55} - 0.009 \cos \alpha - \frac{\lambda \tau \mu_x^2}{D \gamma \mu (\beta_x/2)} - \lambda_0 \rho_0 D \sin \left( \frac{\beta_x}{2} \right) \mu_x \left[ \frac{Q_2}{\rho_0 (\pi D^2/4 - G/\rho_0 \mu_x)} \right] \left[ \mu_x - \frac{Q_2}{\rho_0 (\pi D^2/4 - G/\rho_0 \mu_x)} \right] \quad (8)$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H_2 + \Delta H_c}{K_{M1}}} \quad (9) \quad Q_{от} = Q_2 + Q_1 \quad (10)$$

$$\Delta H_{M1} = \epsilon_{M1} Q_{от}^2 \quad (11) \quad H_{от} = H_2 + \Delta H_c + \Delta H_{M1} \quad (12)$$

где  $H_2$  - разрежение в укрытии машины 2, рис.1, Па;  $Q_1$ ,  $Q_2$  - объемы аспирационного воздуха от мешин 1,2, м<sup>3</sup>/с;  $K_{M1}$ ,  $K_{M2}$  - коэффициенты герметичности машин 1,2;  $\Delta H_{M1}$  - потери давления в машине 1, Па,  $\epsilon_{M1}$  - коэффициент аэродинамического сопротивления машины 1;  $Q_{от}$ ,  $H_{от}$  - соответственно объем аспирационного воздуха и разрежение развиваемые аспирационным отсосом.

Решение системы уравнений (1, 2, 3), а также уравнений записанных для частных случаев движения осуществлялось двумя методами: расчетным с использованием ЭМ и графо-аналитическим. Алгоритм расчетного метода заключался в совместном решении методом последовательных приближений системы уравнений (1) и (3), нахождения  $\beta_x$  и  $\mu_x$  и их подстановку в интегральное уравнение (2). При-

чем эта операция выполнялась на каждом шаге интегрирования уравнения (2), после чего данное уравнение решали, получая зависимость  $H = f(Q)$ . Алгоритм расчета системы уравнений (4...12) несколько отличается. Вначале задавали величину необходимого разрежения воздуха в укрытии наиболее удаленной от аспирационного отсоса рис.1. машине (4) и находили по (5) объем аспирационного воздуха который ей обеспечивает. Подставляя найденные значения  $H_2$  и  $Q_2$  в уравнения (6, 8) находили потери давления  $\Delta H_c$  при перемещении  $Q_2$  через самотек 3. Зная величины потерь давления  $H_2$  и  $\Delta H_c$ , а также  $K_{M1}$  находили величину объема воздуха  $Q_1$  подсысываемого в машину 1 по (9). Общий объем аспирационного воздуха от ма-

шин определяли по (10). Значение потерь в машине I, а также общих потерь давления определяли по (11) и (12).  $\eta_{от}$  и  $Q_{от}$  и являлись параметрами работы аспирационного приемника.

Графо-аналитическое решение представленных систем уравнений базируется на использовании метода наложения аэродинамических характеристик  $H = f(\alpha)$  отдельных элементов ТТЛ и характеристик потока воздуха, выходящего потоком материала в самотеке или действии аспирационных отсосов.

Результаты численных экспериментов, проведенных с использованием разработанных программ расчета математических моделей, подтвердили качественное соответствие величин расчетных и экспериментальных данных, однако показали и количественное расхождение.

Это вызвало необходимость экспериментального уточнения, в соответствии с объектом исследований коэффициентов:  $\lambda_a$ ,  $\lambda_r$ ,

$K_0$  (коэффициент выброса зерна) при переходных режимах движения зерна).

В третьей главе приведены программы и методики экспериментальных исследований, методы обработки экспериментальных данных и математического планирования экспериментов, схема и описание стендовой установки.

Базовыми объектами исследований были выбраны режимы гравитационного транспортирования четырех видов зерновых продуктов с различными аэродинамическими и кинематическими характеристиками (пшеница, кукуруза, овес, просо). Стендовая установка позволяла смоделировать всю совокупность условий функционирования самотечного транспорта элева: ров, прямоточные, переходные и противоточные режимы движения потоков, при изменении удельной производительности зернового потока от 125 до 375  $\frac{кг}{с \cdot м^2}$ , длины самотека от 1 до 8 м и углов наклона от 38° до 90°.

Статистический анализ результатов экспериментальных исследований включал определение грубых ошибок, закона распределения, точностей опытов. Метрологический анализ использованных методов измерений позволил установить, что относительная погрешность экспериментального определения параметров движения зернового и воздушного потоков находится в интервале 5% при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

В четвертой главе проведены экспериментальные исследования влияния параметров самотечных материалопроводов и зерновых потоков на энергетические и кинематические характеристики процессов движения зерно-воздушных потоков в самотеках. Полученные количест-

характеристики подтвердили правомочность выдвинутых в главе 2 теоретических предположений. В результате исследований была установлена определяющая группа параметров оказывающая главенствующее влияние на процесс энергообмена между зерновым и воздушным потоками в самотеках. Такими параметрами для зернового потока являются: скорость потока зерна  $U$ , площадь образованной потоком зерна поверхности  $L \cdot B_x$ , эквивалентный диаметр частиц материал.  $d_p$ ; - для самотека: угол наклона  $\alpha$  и длина  $L$ . Увеличение угла наклона  $\alpha$  и длины  $L$  самотека приводит к росту удельной энергии взаимодействия зерно-воздушных потоков  $N = f(\alpha, L)$  рис. 2, 3. Это обусловлено тем, что с ростом  $\alpha$  и  $L$  происходит увеличение скорости потока зерна  $U = f(\alpha, L)$  рис. 4, что и приводит к активизации процесса энергообмена. Установлено, что изменение гидравлических параметров самотек  $D_r$  не вызывает существенного изменения сил аэродинамического взаимодействия потоков, для практических случаев, когда отношение ширины зернового потока к свободному размеру самотека изменяется в пределах  $0 < \frac{B_x}{H} < 1$ . На основе анализа полученных энергетических и кинематических зависимостей установлено, что наиболее полной характеристикой участвующей влиятельной многообразия всех факторов, характеризующих процесс взаимодействия зерно-воздушных потоков в самотеках, является их аэродинамическая характеристика  $N = f(U, U')$ . На базе аэродинамических характеристик прямоточных, (область I) противоточных (область II) и переходных режимов (точка B) движения потоков получены обобщенные аэродинамические характеристики  $N = f(U')$  рис. 5 для различных длин углов и удельных производительностей самотек. Во всем диапазоне проведенных исследований установлено, что при постоянных  $\alpha$  и  $L$  все обобщенные характеристики получены при различных удельных производительностях пересекаются в одной области А рис. 5 близкой к  $N = 0$ . Эта область характеризуется отсутствием энергообмена между потоками, когда средние скорости воздуха и зерна по всей длине самотека равны рис. 6, а  $U_1 - U_2 = 0$ , то есть площадь I равна площади II. Характер зависимости  $N = f(U')$  при изменении  $\alpha$ ,  $L$ , удельной производительности, а также культур зерновых материалов сохраняется.

На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований были определены основные факторы влияющие на значения коэффициентов входящих в математические модели и разработаны матрицы планирования по их определению. Реализация соответствующих планов ДЭС<sup>2</sup>, ПЭС<sup>2</sup>, ПЭС<sup>2</sup> позволила получить уравнения регрессии:

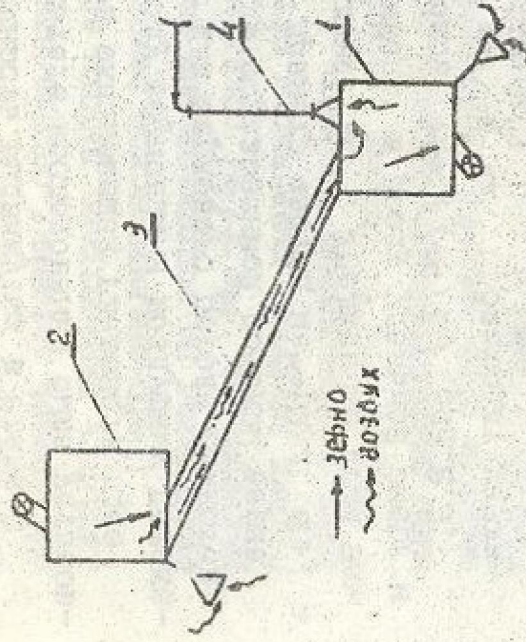


Рис. 1. Схема участка ТЛ при прямом движении потоков: 1, 2 - укрывная машина; 3 - самотек; 4 - аспирационная сеть

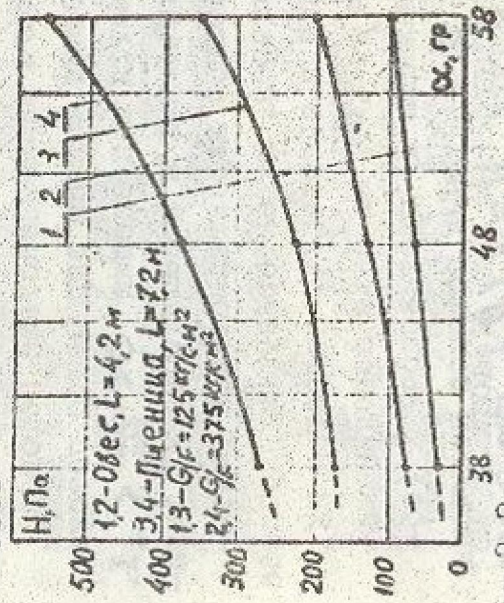


Рис. 3. Зависимость перепада полных давлений  $H$  воздуха в самотеке от угла его наклона  $\alpha$

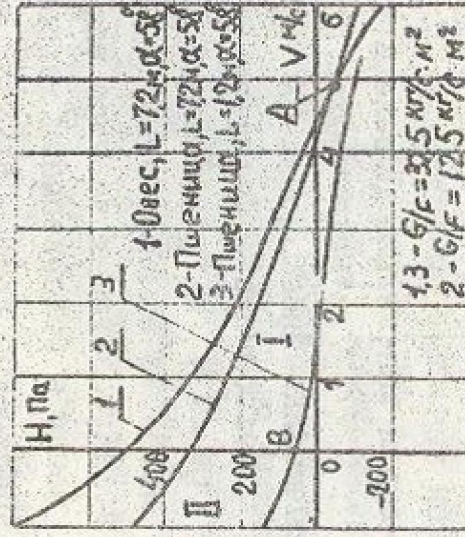


Рис. 5. Обобщенные аэродинамические характеристики зерно-воздушных потоков в самотеках

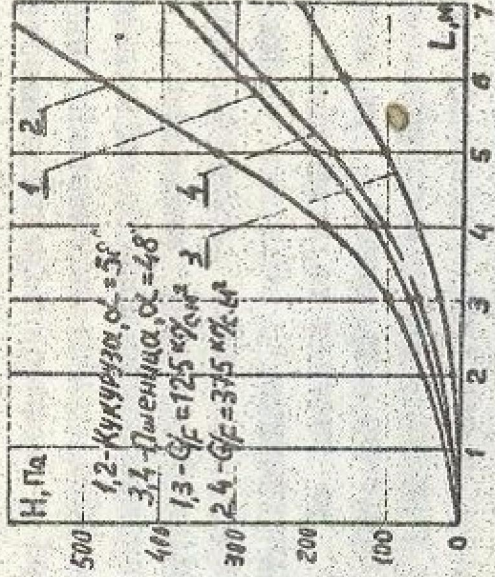


Рис. 2. Зависимость перепада полных давлений  $H$  воздуха в самотеке от его длины  $L$

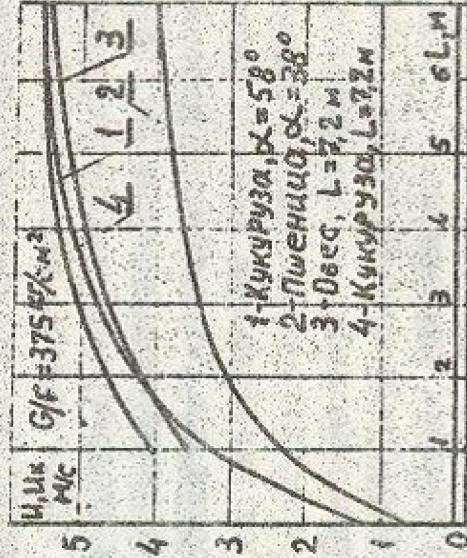


Рис. 4. Зависимость изменения скорости зернового потока  $U$  от длины и угла наклона самотека  $L, \alpha$

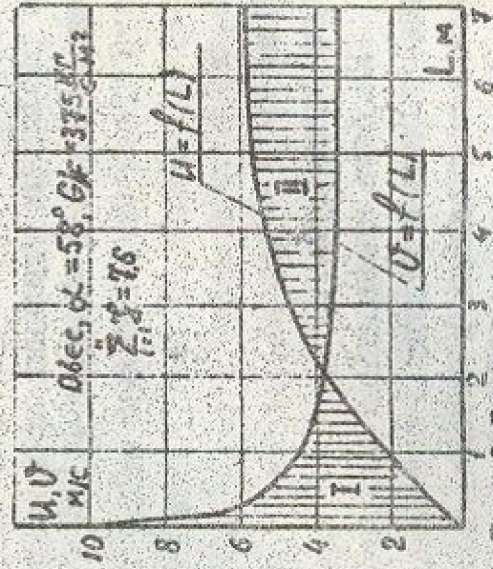


Рис. 6. Зависимость изменения скорости зерна  $U$  и воздуха  $U'$  по длине самотека  $L$

- коэффициента энергообмена для прямогочного режима:

$$\lambda_a = 0,006616\alpha + 0,03445L - 0,00739d_3 - 0,00132 \text{ e/f} - 0,00084L \cdot \alpha + 0,00069\alpha \cdot L + 31 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot \text{e/f} - 0,00609L \cdot L + 75 \cdot 10^{-6} L \cdot \text{e/f} \quad (13)$$

- для противоточного режима:

$$\lambda_b = -0,3319 + 0,013\alpha + 0,0443L - 0,0548d_3 - 82 \cdot 10^{-6} \text{ e/f} - 0,00125d_3\alpha + 2 \cdot 10^{-5} \alpha \cdot \text{e/f} - 0,0101L \cdot L + 6 \cdot 10^{-5} L \cdot \text{e/f} \quad (14)$$

- для коэффициента диссипативных потерь:  $\lambda_T = 0,04015 - 43 \cdot 10^{-6} \text{ e/f} + 532 \cdot 10^{-6} \alpha - 0,0024d_3 - 0,0054L + 4 \cdot 10^{-8} \text{ e/f} \cdot \alpha + 13 \cdot 10^{-2} \text{ e/f} \cdot d_3 + 748 \cdot 10^{-8} \text{ e/f} \cdot L - 207 \cdot 10^{-7} \alpha \cdot d_3 - 56 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot L + 48 \cdot 10^{-4} d_3 L \quad (15)$

- коэффициента выбр за зерновок при переходных режимах их транспортирования:

$$K_0 = -1994 - 0,0279L + 0,0328\alpha + 0,000583L \cdot \alpha \quad (16)$$

Статистическая оценка экспериментальных и расчетных данных проведенная по общепринятым методикам показала, что уравнения (13...16) при доверительной вероятности 0,95 и 5% доверительном интервале адекватно описывают область экспериментирования. Проверка адекватности математических моделей записанных с учетом полученных уравнений коэффициентов (13...16) проводилась путем сравнения расчетных и экспериментальных обобщенных аэродинамических характеристик процессов  $H = f(Q)$  взаимодействия зерно-воздушных потоков в самодетях при различных  $\alpha$ ,  $L$ , удельных производительностях и продуктах. Результаты сравнения подтвердили хорошее соответствие formalизованного представления процессов им реальным характеристикам и возможность использования математических моделей в качестве базы для методики расчета СА ТТЛ. Аprobация разработанных методик расчета СА ТТЛ в условиях производства подтвердила правильность проведенных теоретических изысканий и принятых при этом допущений и при реконструкции СА Истринского, Бориспольского, Заводского КХП позволила, при повышении качества работы СА, одновременно получить годовой экономический эффект более 257 тыс. руб.

#### Выводы:

1) Эксплуатируемые аспирационные системы, спроектированные по существующим типовым методикам работают не эффективно, так как не учитывают взаимосвязи между аспирационными, транспортными и технологическими потоками функционирующими одновременно в системе укрытий ТТЛ; 2) разработанные на базе результатов работы новые методики по расчету и проектированию АТС, основой которых являются математические модели процессов аспирации типовых ТТЛ элеваторов,

включающие в себя и описание процессов движения зерно-воздушных потоков в с. стеках, адекватно отражают количественные характеристики реальных производственных процессов аспирации, учитывают взаимосвязь аспирационных, транспортных и технологических потоков в ТТЛ и позволяют формализовано воссоздать функционирование АТТС с аэродинамическими взаимосвязями воздуха внутри укрытий оборудования ТТЛ; 3) апробация новой методики расчета АТТС в производственных условиях подтвердила ее хорошую работоспособность, то есть совпадение расчетных и фактических параметров работ, при одно-временно снижении материалоемкости и энергоемкости аспирационных систем, достигаемое путем использования самотечных материалопроводов одновременно как транспортных средств, воздухопроводов и эжекционных нагнетателей; 4) разработанные расчетный и графо-аналитический методы решения систем уравнений математических моделей позволяют оперативно, с использованием первого метода, решать задачи проектирования АТТС в проектных институтах, а с помощью второго в условиях производства; 5) на базе разработанных математических моделей процессов гравитационного транспортирования зерно-воздушных потоков в самотеках, можно создавать математические модели процессов аспирации любых ТТЛ функционирующих на элеваторах; 6) основными типовыми линиями в условиях элеватора можно выделить две, они представляют собой ТТЛ состоящие из: машины, самотека, машины; машины, самотека, машины, самотека, машины; 7) разработанные на основе результатов работы новые технические средства управления потоками позволяют эффективно регулировать устойчивость аэродинамических связей в ТТЛ и решать проблемы повышения надежности работы АТТС, при одновременном снижении их энергоемкости; 8) на величину коэффициента энергообмена между воздухом и зерном в самотеке определяющие влияние оказывает угол наклона самотека  $\alpha$ , а на коэффициент потерь энергии зернового потока  $L$  -- длина самотека и эквивалентный диаметр частиц  $d_z$ . На базе результатов работы выполнено 16 публикаций, получено 8 авторских свидетельств и 9 положительных решений на выдачу авторских свидетельств.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. А.С. 1507684 СССР, МКИ В 65 G 11/10. Гравитационный спуск / Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, О.И.Гапонюк, В.В.Краснова. - Заявл. 01.12.87 № 4363171/31-II. Опубл. в Б.И. № 34, 1989. -- 2 с.
2. А.С. 1504186 СССР, МКИ В 65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучих материалов / Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, О.И.Гапонюк. - Заявл. 20.10.87 № 4333728/31-II. Опубл. в Б.И. №32, 1989-2 с.

3. А.С. № 1562271 СССР, МКИ в 65 G 69/18. Устройство для загрузки емкостей сыпучими материалами / Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский - Заявл. 09.03.88 №44Г109/30-11. Опубл. в Б.И. № 17, 1990. - 2 с.
4. А.С. 1559203 СССР, МКИ В 65 G 21/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера / Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, О.И.Гапонюк, Т.Д.Бабич, Л.М.Гапонюк - Заявл. 26.01.88 №4385897/31-03. Опубл. в Б.И. № 15, 1990. - 5 с.
5. А.С. № 1585245 СССР, МКИ В 65 G 11/00. Гравитационный спуск / Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.В.Сопрунов - Заявл. 03.05.88 №4419040/31-11. Опубл. в Б.И. № 30, 1990 - 2 с.
6. А.С. 1622042 СССР, МКИ В 08 В 15/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера / Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский - Заявл. 23.08.88 № 4476908/12. Опубл. в Б.И. № 3, 1991 - 3 с.
7. А.С. № 1629235 СССР, МКИ В 65 G 65/30. Загрузочное устройство элеватора / Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский - Заявл. 06.01.89 № 4632766/15. С убл. в Б.И. № 7, 1991-2 с.
8. А.С. 1638090 СССР, МКИ В 65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучих материалов / Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, Р.В.Коновалова - Заявл. 27.04.89 №4711150/11. Опубл. в Б.И. №12, 1991-2 с.
9. Алгоритм расчета аэродинамических характеристик вертикального гравитационного движения зерно-воздушных потоков / Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, В.В.Краснова, М.Б.Бабич // Респуб. темат. науч. сборник "Пшечая промышленность". -Киев.-Урожай.-1991 - вып.37.
10. Аспирация плодородия для приема зерна / Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, О.И.Гапонюк // Хлебпродукты.-1989 - №5. - С.32-34.
11. Гапонюк О.И., Бабич М.Б. Графо-аналитический метод расчета аэродинамических характеристик перегрузочных узлов элеваторов // Тезисы докл. Всес. научн. конф. "Пути интенсификации технологических процессов и оборудования в отраслях агропромышленного комплекса". -М.-1988. -С.72-73.
12. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Бабич М.Б. и др. Совершенствование аспирационных систем зерноперерабатывающих предприятий // Тезисы докл. Республ. научн. конф. "Интенсификация технологий и совершенствование оборудования перерабатывающей отрасли АПК" - Киев.-1989.-С.78-79.
13. Дмитрук Е.А., Бабич М.Б., Гапонюк О.И. Новые принципы проектирования аспирационных транспортно-технологических систем зерноперерабатывающих на основе математического моделирования рабо-

- чих процессов // Тезисы докл. Всес. науч. конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения". - Черновцы. - 1990.
14. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Кононова Р.В., Бабич М.Б., Васи-  
лшин М.В. Паспортизация оборудования по гермет. лости - залог  
экологической чистоты воздушного бассейна зерноперерабатывающих  
предприятий // Тезисы докл. Всес. научн. конф. "Проблемы промыш-  
ленной экологии". - Черновцы. - 1991. - С. 11-12.
15. Дмитрук Е.А., Бабич М.Б., Гапонюк О.И. Применение методов ма-  
тематического моделирования в решении проблем охраны окружающей  
среды // Тезисы докл. УП Всес. конф. "Математические методы в  
химии". - Казань. - 1991. - С. 317-320.
16. Дмитрук Е.А., Бабич М.Б., Гапонюк О.И., Верещинский А.П. Аэро-  
динамические характеристики гравитационных зерно-воздушных по-  
токов элеваторов // Тезисы докл. У Всес. научн. конф. "Механика  
сыпучих материалов". - Одесса. - 1991. - С. 80.
17. Дмитрук Е.А., Бабич М.Б., Гапонюк О.И., Даниченко Н.В. Совер-  
шенствование методик расчета и повышение надежности функциони-  
рования аспирационных систем зерноперерабатывающих предприятий //  
Тезисы докл. Республ. научн. конф. "Разработка и внедрение высо-  
коэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и но-  
вых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающую отрас-  
ли АПК". - Киев. - 1991. - С. 64.
18. Дмитрук Е.А., Бабич М.Б., Василюшин М.В., Верещинский А.П. Аспи-  
рационные системы в решении проблем экологии и взрывобезопас-  
ности предприятий по хранению и переработке зерна // Тезисы докл.  
Всес. науч. конф. "Ученые и специалисты в решении социально-  
экономических проблем страны". - Ташкент. - 1991. - С. 175-176.
19. Исследование аэродинамических характеристик самостеков / М.Б. Бабич,  
В.К. Кришшин, Г.И. Желясков - Одесса, 1989. - 10 с. - Библиогр.: 2 назв. -  
Деп. в ЦНИИХлебобпродуктов № 7.
20. Математическая модель гравитационных двухфазных потоков с учетом  
эжекции / Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк. - Одесса, 1988. -  
12 с. - Библиогр.: 3 назв. - Деп. в ЦНИИХлебобпродуктов № 9.
21. Расчет энергетических характеристик самотечного транспорта  
элеваторов / Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабич // Сб. науч.  
труд. Современные технологии перерабатывающих предприятий АПК. -  
Киев. - Минвуз УССР. - 1991. - С. 55-59.

С. 6 16917

