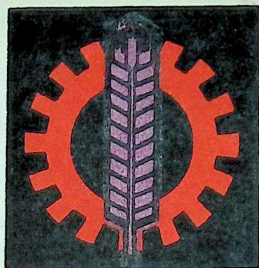


631.3(06)
4-419

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕХАНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



ТРУДЫ, ВЫПУСК 99

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ,
МЕХАНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПРОДУКЦИИ
НА ПРОМЫШЛЕННОЙ
ОСНОВЕ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

631.3(06)
У-419

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ,
МЕХАНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПРОДУКЦИИ
НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ОСНОВЕ

Труды, выпуск 99

ЧЕЛЯБИНСК, 1975

Одобрено редакционно-издательским советом института

Ответственный редактор — кандидат технических наук, доцент **Четыркин Б. Н.**
Заместитель ответственного редактора — кандидат экономических наук,
доцент **Панус Ю. В.**

Члены редколлегии:

доктор техн. наук, профессор *Басов А. М.*; доктор техн. наук, профессор
Изаков Ф. Я.; инженер *Каменир Э. А.*;
кандидат технических наук, доцент *Мякинин Е. Г.*; аспирант *Шмаков Б. В.*

АВТОРЫ

Бабаев Б. М.— инженер, ВНИИКОМЖ, г. Москва
Байдюк П. В.— доктор техн. наук, ТИИИМСХ
Белоковский И. Н.— старший преподаватель ТИИИМСХ
Бояршинов Л. Н.— инженер, г. Челябинск
Благих В. Т.— канд. техн. наук, доцент, ЧПИ
Борок А. М.— инженер, г. Челябинск
Бродский Л. Л.— канд. техн. наук, Гипроинисельпром
Варнавских А. Б.— канд. техн. наук, Таганрогский пединститут
Данилов В. Н.— канд. техн. наук, доцент, АЧИМСХ
Дондоков Д. Д.— аспирант, ЧИМЭСХ
Изаков Ф. Я.— доктор техн. наук, профессор, ЧИМЭСХ
Измайлов Н.— инженер ТИИИМСХ
Каменир Э. А.— инженер, ЧИМЭСХ
Кунгуров С. Л.— младший научный сотрудник, ЧИМЭСХ
Морев А. Д.— инженер, ЧИМЭСХ
Мякинин Е. Г.— канд. техн. наук, доцент, ЧИМЭСХ
Найденов В. Н.— канд. техн. наук, доцент, ЦНИПТИМЭЖ
Наливайко И. М.— инженер, Боровская птицефабрика
Немировский А. Е.— аспирант, ЧИМЭСХ
Новиков Ю. Н.— канд. техн. наук, доцент, Кубанский СХИ
Пелипенко А. М.— старший преподаватель, ТИИИМСХ
Плюхин П. С.— инженер, г. Тюмень
Раджабов А. Р.— канд. техн. наук, ТИИИМСХ
Степанов В. В.— аспирант, ЧИМЭСХ
Файн В. Б.— старший научный сотрудник, ЧИМЭСХ
Филиппов Р. Л.— кандидат техн. наук, ЧИМЭСХ
Фурсов В. И.— инженер, фирма «Полет», г. Челябинск
Царев А. С.— канд. техн. наук, Таганрогский пединститут
Числов В. А.— инженер, Боровская птицефабрика
Шамаков Б. В.— аспирант, ЧИМЭСХ
Шугуров М. М.— инженер, ВНИИКОМЖ, г. Москва

Изаков Ф. Я.

О НАПРАВЛЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ КАФЕДРЫ АВТОМАТИКИ

Дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства должно идти по линии его индустриализации. Производство продуктов питания только тогда обеспечит всевозрастающие потребности населения, когда оно будет организовано главным образом на промышленной основе. Именно поэтому во всех районах страны строятся крупные животноводческие комплексы, тепличные комбинаты, птицефабрики. Но все преимущества крупного промышленного производства могут быть использованы только при условии автоматизации как основных, так и вспомогательных операций, при условии комплексной механизации, электрификации и автоматизации технологических процессов, а в дальнейшем цехов и целых предприятий. Для успешного решения этой задачи необходимы кадры новой квалификации — инженеры-электромеханики по автоматизации сельскохозяйственного производства. Подготовка таких специалистов организована в пяти ведущих вузах страны, где созданы или создаются соответствующие выпускающие кафедры.

В Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства методическая работа по подготовке к выпуску специалистов нового профиля возложена на вновь организованную кафедру автоматики. Естественно, что становление и дальнейшее развитие такой кафедры невозможно без развертывания широкого фронта научных исследований. Коллектив новой кафедры сформировался на базе двух сложившихся кафедр, имеющих свои научные школы: кафедры применения электрической энергии в сельском хозяйстве и кафедры электротехники. В коллектив пришли научные работники со своей тематикой и своими научными интересами, в основном не связанными с проблемами автоматизации сельскохозяйственного производства. Предстояло наиболее безболезненным путем перевести их на новые рельсы, используя имеющийся задел, опыт и знания. Предстояло выбрать направление научной работы кафедры. Такое направление должно иметь определенный как производственный, так и научно-теоретический аспект. Без последнего научная работа кафедры может выродиться в решение инженер-

ных задач, без первого она будет оторвана от потребностей производства.

Научно-производственное направление кафедры — автоматизация технологических процессов производства сельскохозяйственной продукции на промышленной основе. Только такое направление обеспечит единство учебной и научной работы кафедры. Научно-теоретическое направление — автоматическая оптимизация технологических процессов. Дело в том, что большинство сельскохозяйственных машин, аппаратов и установок работают в режимах весьма далеких от оптимальных, а следовательно, с меньшей производительностью при недостаточном качестве. Сложность проблемы заключается в том, что большинство сельскохозяйственных процессов — процессы многофакторные, а изменения свойств материалов, параметров среды и других характеристик объектов управления носят случайный характер. Базой для развития этого направления послужат работы, выполненные нами еще на кафедре применения электрической энергии в сельском хозяйстве по вопросам планирования эксперимента и оптимизации процессов сепарации материалов. В настоящее время на кафедре развивается идея оптимизации технологических процессов методом целочисленного симплекс-планирования (о чем было сообщено в тезисах IV Всесоюзной конференции по планированию эксперимента), и совместно со старшим научным сотрудником кафедры теплотехники Крутасовым В. Д. разрабатывается идея логарифмических планов факторного эксперимента, весьма полезных на наш взгляд при оптимизации процессов по технологическим критериям.

Разработка методов многофакторной оптимизации, их сопоставление по техническим и экономическим критериям, создание методов оптимизации по нескольким критериям, разработка технических средств оптимизации, их сравнение по надежности и экономической эффективности — все это является главным содержанием всех теоретических и экспериментальных работ независимо от того, с каким объектом они связаны. Теперь предстоит схемная реализация идей оптимизации и конкретное их приложение к реальным производственным процессам сельскохозяйственного производства. Задача схемной реализации, как известно, состоит из двух этапов. На первом этапе изучаются статические и динамические характеристики объекта автоматизации, разрабатываются или подбираются датчики регулируемых величин, на втором осуществляется синтез систем автоматического управления (САУ). В настоящее время исследования находятся в начале первого этапа. При этом представляется целесообразным ограничить выбор теми технологическими процессами, которые лучше всего поддаются автоматизации или которые вообще не могут найти применения без автоматизации. К первым следует отнести процессы электронно-ионной технологии, т. к. в этих процессах существенное изменение регулируе-

мой величины достигается путем изменения электрических параметров, таких, как напряжение на электродах, частота, скважность и форма импульсов. Ко вторым следует отнести быстропротекающие процессы, с управлением которых человек в силу большой инерции справиться не может. Это системы высокоскоростного электропривода и скоростной СВЧ-сушки материалов. Разработка новых автоматизируемых технологических процессов будет в первые годы основным содержанием научно-исследовательской работы кафедры. Основная работа проводится коллективом кафедры в направлении автоматизации птицеводства — отрасли наиболее подготовленной и наиболее приспособленной к автоматизации.

Узким местом в технологии промышленного птицеводства является в настоящее время проблема утилизации помета. В содружестве со специалистами Боровской птицефабрики (Тюменская область) нами разработана новая технология, включающая в себе обезвоживание, сушку СВЧ и обеззараживание помета, это позволит использовать последний не только как удобрение, но и как кормовую добавку. Для отработки новой технологии разработано проектное задание на строительство экспериментального цеха. Большая работа по созданию лабораторной базы института по этой теме проведена старшим научным сотрудником Степановым В. В. Исследования, проведенные в производственных условиях, позволят накопить материал для разработки автоматизированной поточной линии, каждый агрегат которой и линия в целом будут настроены на оптимальный режим работы, оптимальный с точки зрения наибольшего экономического эффекта.

Интересные работы по ионизации воздуха в птичниках с клеточным содержанием кур-несушек ведутся старшим научным сотрудником Файном В. Б. Им предложена общая теория процесса осаждения заряженных частиц пыли, оригинальная методика измерения ее электрических свойств, исследуются различные конфигурации полей и конструкции электрокоронных аэроионизаторов. В производственных условиях поставлен эксперимент, позволяющий оценить влияние концентрации ионов на яйценоскость птицы и ее биологические показатели. Результаты этих экспериментов позволяют накопить материал, необходимый для автоматизации процесса, выявить оптимальный режим ионизации, его зависимость от других параметров микроклимата и связь между ними, установить статические и динамические характеристики объекта регулирования. Решению этих вопросов и разработке средств для измерения концентрации ионов посвящена исследовательская работа младшего научного сотрудника Кунгурова С. Л. Им же осуществлена модернизация счетчика ионов САГ-2М, что увеличило его надежность, снизило стоимость и упростило процесс измерения.

Вторая работа, связанная с применением электронно-ионной

технологии в птицеводстве, посвящена исследованию возможности применения заряженных аэрозолей для профилактики заболеваний птицы. Пребывание в тумане способствует эффективно-му проникновению лекарства через легкие и кровь. Аспирантом Дондоковым Д. Д. и инженером Бороком А. М. разработана конструкция дискового распылителя аэрозолей, которая испытана в производственных условиях Аргашской птицефабрики. Для надежной работы такого распылителя потребуются разработка системы автоматического управления подачей распыляемой жидкости. Необходим автоматический диспетчер, определяющий когда, в каком количестве и какое подавать лекарство.

В области автоматизации животноводства разрабатывается широкая программа исследований, цель которых существенно понизить себестоимость мяса и молока. Здесь главное направление — автоматизация микроклимата, а также процессов производства и раздачи кормов, как главных элементов структуры себестоимости. В области автоматизации теплично-парниковых хозяйств канд. техн. наук Карабашевым Г. П. ведутся исследования, связанные с применением электротракторов для осуществления транспортных работ и обработки почвы.

Кроме создания теплично-парниковых хозяйств специализация и концентрация производства в растениеводстве будет осуществляться путем создания крупных специализированных предприятий по производству семян трав, овощных и технических культур. На таких предприятиях достойное место займут технологические процессы, основанные на использовании достижений электронно-ионной технологии. Однако процессы электронно-ионной технологии отличаются многофакторностью, зависимостью от условий окружающей среды, особыми требованиями к величине и форме кривой питающего напряжения. Все это затрудняет внедрение, эксплуатацию и эффективное использование новых машин. Нам представляется, что указанные трудности можно преодолеть на пути автоматизации электрозерноочистительных машин. Исследованию машин как объектов автоматического управления посвящена работа аспиранта Шмакова Б. В. Им же ведется изучение возможности создания эффективных датчиков для определения засоренности зерна.

Среди перспективных технологических процессов растениеводства хотелось бы отметить также распыление заряженных ядохимикатов для защиты растений. Исследованиями аспиранта Дондокова Д. Д. установлена возможность качественного покрытия нижней стороны листьев и даже листьев, находящихся в кроне растений.

В мобильной технике автоматизация производственных процессов может идти разными путями. Один из таких путей — управление тракторами, тракторными агрегатами и комбайнами по радио. При этом с одного диспетчерского пункта можно будет управлять сразу несколькими машинами. Разработка систе-

мы радиоуправления тракторами осуществляется сонскателем кафедры инженером ЧФ НАТИ Хлоповым И. А.

Помимо выбора и изучения объектов автоматического управления на кафедре ведутся работы по созданию приборов и датчиков, предназначенных для работы в системе автоматического управления. Здесь особый интерес представляют приборы и датчики влажности, т. к. все сельскохозяйственные продукты содержат большой процент влаги. Такие датчики нужны для автоматизации поточных линий, управления сушкой, поливом, взаимных расчетов между поставщиком и потребителем. Необходим широкий класс приборов, предназначенных для измерения больших (зерно) и малых (жиры) влажностей, а также влажностей многокомпонентных смесей. На принципе влагомеров могут работать жиромеры молока. Исследования канд. техн. наук Филиппова Р. Л. показали, что наиболее точные измерения возможны на сверхвысоких частотах при использовании резонансных свойств воды. К сожалению, поглощение энергии СВЧ зависит не только от влажности, но и от температуры материала. Кроме того, на показания прибора влияет содержание третьего компонента: в молоке — сухого молочного остатка в жирах — фосфатидов, в мерве — воска. Разработка схем температурной компенсации с одновременным учетом влияния третьих компонентов — задачи исследований, которые ведет сонскатель кафедры Л. Н. Бояршинов.

Глубокое изучение сельскохозяйственных объектов автоматизации и разработки средств автоматического измерения параметров технологических процессов позволит коллективу кафедры разработать эффективные и надежные системы автоматического управления, внести свой вклад в дело дальнейшего подъема сельскохозяйственного производства.

Изаков Ф. Я., Каменир Э. А.

ПРИНЯТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Экономическая эффективность внедрения некоторых достижений науки и техники в сельскохозяйственное производство, например таких, как применение энергии электромагнитного поля для улучшения посевных и урожайных качеств семян, аэрионизации в животноводстве и ветеринарии, фильтрации воздуха для биологической защиты в птицеводстве, не всегда может быть определена типовыми методиками, так как последние предполагают полную определенность (детерминированность) событий. Принятие решения о применении этих и подобных им процессов происходит в условиях неполной информации о всех факторах, которые могут влиять на конечный результат, т. е. в условиях неопределенности [1].

Существуют два рода неопределенности [2]. Неопределенность 1-го рода характеризуется необходимостью выбора одного из нескольких решений, каждое из которых приводит к одному из возможных частных исходов с известной вероятностью появления. Неопределенность 2-го рода возникает, когда вероятности вышеупомянутых исходов неизвестны. Этот случай в статье не рассматривается.

Если имеется ситуация A_1 , в которой может наступить один из возможных исходов, каждый из которых оценивается в $a_1, a_2, \dots, a_n$ единиц выбранного критерия эффективности (полезности), а вероятности их наступления соответственно $P_1, P_2, \dots$ где все P_i лежат между 0 и 1 (включая границы), $\sum_{i=1}^n P_i = 1$, то полезность этой ситуации может быть представлена в виде

$$U(A) = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \dots + a_n p_n. \quad (1)$$

Если есть и другие ситуации — $U(A_2), U(A_3)$ — тогда из них следует выбрать то действие, для которого значение функции полезности больше.

Рассмотрим следующий случай. Хозяйству предполагается покупка новой машины за A тыс. руб. Разработчиком в процессе длительных испытаний установлено, что вероятность получения дохода в K тыс. руб. — p . Фонд хозяйства на покупку новой техники составляет Φ тыс. руб., где $\Phi > A$. По опыту прошлых

лет хозяйство знает, что каждая вложенная тысяча рублей в производство давала в среднем прибыль в B тыс. руб. Принять или не принять предложение?

Обозначим принятие решения о покупке машины A_1 , а вложение средств на реализацию другого предложения A_2 . Тогда согласно уравнения (1) полезность первого решения будет

$$U(A_1) = U(K)p + U(A)(1 - p), \quad (2)$$

а полезность второго

$$U(A_2) = U(A \cdot B) \cdot 1. \quad (3)$$

Как видно, каждому из предполагаемых действий поставлена определенная полезность, оцениваемая конкретным некоторым числом.

В настоящее время построение функции полезности является весьма сложным вопросом как в теоретическом, так в экспериментальном плане [3, 4]. В экономических задачах, где оценочными параметрами в основном являются эффективность, прибыль, сумма приведенных затрат и т. д., выраженные в деньгах, эта сложность заключается в трудности установления связи полезности с данным показателем.

Рассмотрим с этой точки зрения ранее приведенный пример. Ответ предприятия на предложение и приобретение машины будет зависеть от имеющихся фондов на покупку новой техники, т. е. ценность этого предложения для каждого предприятия будет различной.

Действительно, трудно допустить, что принимающие решения, имея начальные фонды Φ_1 , Φ_2 и т. д., где, например, $\Phi_1 \gg A$, $\Phi_2 \approx A$, будут считать получение дохода в K руб. одинаково полезным, а потерю в A руб. одинаково убыточной. Все будет определяться сопоставимостью имеющегося фонда (Φ) с суммой предполагаемых расходов, и если $\Phi \gg A$, то предприятие может приобрести машину, а при $\Phi \approx A$ ответ, наверняка, будет отрицательным. Уже на таком простом примере видно, что одна и та же сумма расхода и дохода для принимающих решение, имеет различное внутреннее содержание (ценность).

Разумно предположить, что внутренняя ценность дохода увеличивается с ростом суммы, но в уменьшающейся степени. Функциями с таким свойством являются: степенная функция $y = x^n$, где n — положительная правильная дробь; положительные значения корня из линейного двучлена $y = \sqrt[n]{ax + b}$, где $a > 0$; логарифмическая функция $y = \log_a x$ и ряд других специальных функций. Выбор любой из них представляется возможным и зависит от конкретной ситуации. При решении задач, где оценочным параметром является сумма затрат, выраженная в деньгах, за основу может быть принята логарифмическая функция. Рассмотрим это для ранее сформулированной задачи. Будем считать, что предприятие, имеющее фонды по новой технике, оценивает

их в одну единицу полезности $U(\Phi) = 1$, но 1 — это логарифм числа по этому же основанию. Следовательно,

$$U(\Phi) = \log_{(\Phi+1)}(\Phi + 1). \quad (4)$$

В случае полного израсходования фонда без его возмещения полезность будет равна нулю, т. е. при $\Phi = A$

$$U(0) = U(\Phi - A) = \log_{(\Phi+1)}(\Phi - A + 1), \quad (5)$$

$\Phi - A = \Phi'$ — величина фонда после принятия предложения, тогда $U(A) = \log_{\Phi+1} \Phi'$

График этой функции представлен на рис. 1.

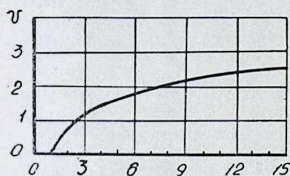


Рис. 1. График функции полезности

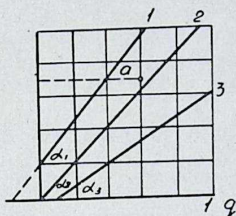


Рис. 2. Границы областей предпочтительности предложений

Если машина будет приобретена, то с вероятностью p доход составит K руб. чему соответствует полезность

$$U_1 = U(\Phi - A + K) = \log_{(\Phi+1)}(\Phi + 1 - A + K), \quad (6)$$

или с вероятностью $1 - p$

$$U_2 = U(\Phi - A) = \log_{(\Phi+1)}(\Phi + 1 - A). \quad (7)$$

Тогда полезность предложения определится по формуле (2), и при $I(\Pi) > I(\Phi)$, т. е. при $I(\Pi) > 1$, предложение имеет смысл принять.

При построении функции полезности можно ввести ряд ограничений. Например, при потере всего фонда полезности необходимо оценить отрицательным числом, а части фонда 0 единиц и т. д. Однако это не отразится на общей схеме принятия предложения. Принимающему решение в условиях риска, кроме знания полезности возможных исходов желательно определить границы областей их предпочтительности. Для этого воспользуемся дискриминантной функцией

$$D = U(\Pi_1) - U(\Pi_2) = pU_1 + (1 - p)U_2 - gU_3 - (1 - g)U_4, \quad (8)$$

где p и g — вероятности положительных исходов соответственно 1-го и 2-го предложений.

I_1, I_2, I_3, I_4 — полезности исходов соответственно 1-го и 2-го предложений.

При использовании уравнения (8) в качестве прогностического в него следует подставить известные значения p и g . Если $D > 0$, то большей полезностью обладает исход с вероятностью p . Если $D < 0$, то большей полезностью будет обладать исход с вероятностью g . Приравняв дискриминантную функцию нулю, получаем

$$D = pU_1 + (1 - p)U_2 - gU_3 - (1 - g)U_4 = 0. \quad (9)$$

Решив уравнение (9) относительно p или g получим уравнение

$$p = \frac{U_3 - U_4}{U_1 - U_2} g + \frac{U_4 - U_2}{U_1 - U_2} = a_0 g + b_0. \quad (10)$$

Это уравнение прямой, которая представляет собой границу полезности областей двух исходов при постоянных значениях U_1, U_2, U_3, U_4 .

Нетрудно видеть, что отношение $\frac{U_3 - U_4}{U_1 - U_2}$ всегда положительно и определяет угол наклона прямой, а $\frac{U_4 - U_2}{U_1 - U_2}$ определяет начало этой прямой. Область более высшей полезности исхода с вероятностью p по отношению к исходу с вероятностью g лежит выше прямых 1, 2, 3 и наоборот (рис. 2). Например, если $p = 0,7$ и $g = 0,6$, то для 2-й и 3-й прямых исход с вероятностью p имеет большую полезность (точка d), а для первой прямой большую полезность имеет альтернатива с вероятностью g .

Приведем пример использования рассмотренной методики в реальных условиях.

Пример. Разработана машина для предпосевной обработки семян пшеницы в электрическом поле. В результате проверки, проведенной в одном из хозяйств Северного Казахстана (Целинная МИС), установлено, что при средней урожайности 10 ц/га применение предпосевной обработки позволяет повысить урожай на 1 ц/га. При этом математическая обработка результатов многолетних испытаний показала, что получение указанной прибавки достоверно с вероятностью 0,85. Стоимость машины при индивидуальном изготовлении 3500 руб. Посевные площади хозяйства 10000 га. Эксплуатационные расходы на обработку пшеницы для засева 10000 га 500 руб. Фонд хозяйства на приобретение новой техники 33000 руб. Установить целесообразность приобретения указанной машины. Согласно существующей методике, применение предлагаемой машины целесообразно только при достоверности результата $p = 0,95$, а величина прибавки будет учитываться только при расчете экономической эффективности.

Следовательно, мы имеем альтернативу: остаться на прежнем уровне полезности или попытаться его увеличить.

Подставляя значения $\Phi = 33$ тыс. руб. $A = 4$ тыс. руб.

$K = (10000 \cdot 1 \cdot 6,4)$ руб. в формулы (4, 6, 7), получаем $U_1 = 1$; $U_2 = 11$, $U_3 = 0,99$. Тогда полезность предложения согласно формулам (1, 2) будет

$$U(P_1) = U_2 \cdot 0,85 + U_3 \cdot 0,15 > 1, \quad (11)$$

т. е. приобретение машины целесообразно.

Анализ показывает, что полезность применения машины для посевной обработки семян возрастает с увеличением размера посевных площадей; при большей разности между фондами по новой технике и стоимостью машины возможен риск при малой вероятности благоприятного исхода, с возрастанием стоимости выходного продукта полезность приобретения машины увеличивается.

Таким образом, для выбранной функции полезности приведены несложных вычислений получен точный ответ о целесообразности тех или иных действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изаков Ф. Я. Каменер Э. А.* Анализ результатов испытаний сельскохозяйственных машин в условиях неопределенности. Тезисы к научно-технической конференции по применению математических методов и электронно-вычислительной техники при испытании тракторов и сельскохозяйственных машин. М., Изд. ЦНИИТЭИ, 1971.
2. *Чернов Г., Мозес Л.* Элементарная теория статистических решений. М., «Советское радио», 1968.
3. *Льюс Р. Д., Райфа Х.* Игры и решения. М., «Иностранная литература», 1961.
4. *Дж. фон Нейман, Моргенштейн О.* Теория игр и экономическое поведение. М., «Наука», 1970.

Мякинин Е. Г., Немировский А. Е.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ И ОЦЕНКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Изоляция двигателей увлажняется неодинаково: в лобовых частях она подвержена большему увлажнению, чем в пазу, доступ влаги к которому затруднен. Корпусная, а также междуфазовая изоляция соседних фаз при значительных увлажнениях

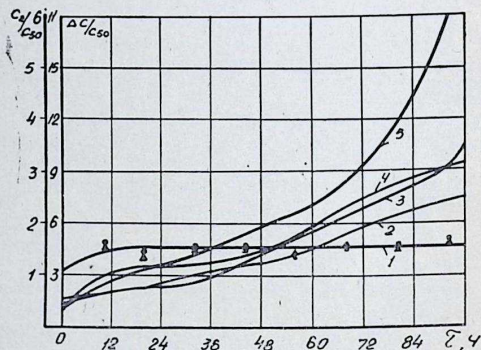


Рис. 1. Зависимость C_2/C_{50} и $\Delta C/C_{50}$ от времени увлажнения для различных частей изоляции двигателя:

1 — C_2/C_{50} для корпусной изоляции двигателя АОЛ2-21-4; 2, 4 — $\Delta C/C_{50}$ для корпусной изоляции фаз А и В двигателя АОЛ2-21-4Т; 3, 5 — $\Delta C/C_{50}$ для междуфазовой изоляции фаз А — С, В — С двигателя АОЛ2-21-4Т; ● — значения C_2/C_{50} для корпусной изоляции, рассчитанные по формулам; ▲ — то же, полученное экспериментально

могут увлажняться неравномерно. На рис. 1 приведена зависимость $\Delta C/C_{50}$ от времени увлажнения для пазовой и междуфазовой изоляции двух рядом лежащих фаз для двигателя АО2-СХ с изоляцией стекломиканит со стеклолакотканью, прошедшего тепловое старение. Из кривых видно, что при длительных увлажнениях проникновение влаги в две соседние фазы

происходит различно. Это, видимо, следует объяснить неравномерностью обтекания потоком влажного воздуха изоляции, расположенной в различных частях двигателя, неодинаковым подсыханием электродвигателя в процессе работы или сушки, различной степенью старения и т. д.

В практике уже встречался метод измерения $\operatorname{tg} \delta$ только лобовых частей с исключением влияния емкости пазовой части статора [1].

На рис. 2(а) предложена схема замещения изоляции двигателя, на которой полные сопротивления фазовых и междуфазовых

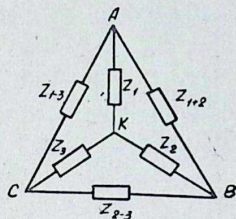
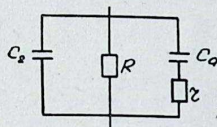


Рис. 2. а) Схема замещения асинхронного двигателя

z_1, z_2, z_3 — комплексные сопротивления корпусной изоляции фаз А, В, С; z_{12}, z_{13}, z_{23} — комплексные сопротивления междуфазовой изоляции фаз А—В, А—С, В—С

б) Схема комплексных сопротивлений

C_g — геометрическая емкость изоляции; R — сопротивление сквозной проводимости; C_a — абсорбционная составляющая емкости изоляции; γ — активные потери, связанные с поляризацией диэлектрика



частей изоляции показаны в виде комплексных. Каждое из комплексных сопротивлений представлено на рис. 2(б). Все элементы схемы, кроме геометрической емкости, зависят от различных эксплуатационных факторов, в частности, от степени увлажнения.

При измерении емкости или сопротивления изоляции любой из фаз или междуфазовых частей двигателя по обычной схеме измерения: фаза — корпус, фаза — фаза, мы не можем получить истинных значений этих величин, вследствие взаимной связи и влияния других фаз или междуфазовых частей изоляции.

Поэтому возникает необходимость достоверной оценки емкостей и сопротивлений отдельных частей изоляции.

Путем ряда последовательных преобразований схемы рис. 2 (а) можно получить систему уравнений, в которых величины $R_A, R_B, R_C, R_{AB}, R_{AC}, R_{BC}$, измеренные прибором, будут связаны с неизвестными $R_1, R_2, R_3, R_{12}, R_{13}, R_{23}$, являющимися истинными активными сопротивлениями различных лобовых и пазовых частей изоляции.

Таким же образом можно связать между собой геометрические или абсорбционные емкости. Система уравнений, записанная для активных сопротивлений имеет вид:

$$\left\{ R_A = \frac{D}{E} R_B = \frac{F}{G} R_C = \frac{H}{S} R_{AB} = \frac{K}{L} R_{AC} = \frac{M}{N} R_{CB} = \frac{P}{Q} \right\} \quad (1)$$

где:

$$D = R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_{23}) \cdot \{ R_3 \cdot R_{23} \cdot (R_2 + R_{12}) + R_2 \cdot R_3 \cdot (R_{13} + R_{12}) + R_{13} \cdot [R_{12} \cdot (R_2 + R_3 + R_{23}) + R_{23} \cdot R_2] \};$$

$$E = (R_2 + R_3 + R_{23}) \cdot \{ R_1 \cdot [(R_2 + R_3 + R_{23}) \cdot (R_{13} + R_{12}) + R_{23} \cdot (R_2 + R_3)] + R_3 \cdot [R_{23} \cdot (R_2 + R_{12}) + R_2 \cdot (R_{13} + R_{12})] + R_{13} \cdot [R_{12} \cdot (R_2 + R_3 + R_{23}) + R_2 \cdot R_{23}] \};$$

$$M = (R_1 + R_3) \cdot R_2 \cdot R_{13} \cdot \{ (R_1 + R_3) \cdot R_2 \cdot [2R_1 \cdot R_3 \cdot (R_{12} + R_{23}) + R_3 \cdot R_{23} \cdot (R_1 + R_{12}) + R_1 \cdot R_{12} \cdot (R_3 + R_{23})] + (R_{12} + R_{23}) \cdot [(R_1 + R_3)^2 \cdot R_2^2 + R_1^2 \cdot R_3^2] \} + R_{13} \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot [2R_2 \cdot (R_1 + R_3) + R_1 \cdot R_3] \times \\ \times [R_3 \cdot R_{23} \cdot (R_1 + R_{12}) + (R_3 + R_{23}) \cdot R_1 \cdot R_{12}];$$

$$N = [R_2 \cdot (R_1 + R_3) + R_1 \cdot R_3] \cdot \{ [R_2 \cdot (R_1 + R_3 + R_{13}) + R_1 \cdot R_3] \times \\ \times [R_2 \cdot (R_1 + R_3) \cdot (R_{12} + R_{23}) + R_3 \cdot R_{23} \cdot (R_1 + R_{12}) + R_1 \cdot R_{12} \times \\ \times (R_3 + R_{23})] + [R_3 \cdot (R_1 + R_{12}) + R_2 \cdot (R_1 + R_2)] \cdot R_{13} \cdot [R_2 \cdot (R_1 + R_3) + R_1 \cdot (R_3 + R_{23})] \}$$

Выражения F, G, H, S составлены аналогично выражениям D и E, а K, L, P, Q выражениями M и N. Изменяются лишь индексы неизвестных величин.

Аналитическое решение системы (1) найти затруднительно, но система разрешима с помощью ЭЦВМ. В частном случае, т. е. при равномерном увлажнении изоляции двигателя имеем:

$$R_1 \approx R_2 \approx R_3 = R_n; \quad R_{12} \approx R_{13} \approx R_{23} = R_m;$$

$$R_A \approx R_B \approx R_C = R_1; \quad R_{AB} \approx R_{AC} \approx R_{BC} = R_2$$

Система уравнений (1) примет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} R_1 &= \frac{2R_n^3 + 3R_n^2 \cdot R_m + R_n \cdot R_m^2}{6R_n^2 + 5R_n \cdot R_m + R_m^2} \\ R_2 &= \frac{2R_n \cdot R_m}{R_m + 3R_n} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решениями системы (2) будут:

$$R_n = 3R_1 - R_2; \quad R_m = \frac{(3R_1 - R_2) \cdot R_2}{2R_1 - R_2} \quad (3)$$

Для емкости эти выражения запишутся следующим образом:

$$C_n = \frac{C_1 \cdot C_2}{3C_2 - C_1}; \quad C_m = \frac{C_2 \cdot (2C_2 - C_1)}{3C_2 - C_1} \quad (4)$$

где C_n и C_m — истинные емкости соответственно пазовой и междуфазовой частей изоляции;

C_1 и C_2 — измеренные емкости пазовой и междуфазовой частей изоляции.

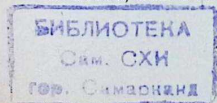
При определении истинных активных сопротивлений R , геометрических c_r или абсорбционных c_a емкостей изоляции пазовой части и между фазами в формулы (3), (4) должны быть подставлены значения R_1, R_2, C_1, C_2 , измеренные приборами. Для проверки правильности формул (3) и (4), а также системы уравнений (1) производились следующие опыты.

1. Собирались модели, соответствующие схеме замещения изоляции двигателя, набранные из конденсаторов и высокоомных активных сопротивлений. Приборами измерялись значения $R_{ав}, R_{вс}, R_{ас}, C_{ав}, C_{вс}, C_{ас}$. С помощью системы уравнений (1) просчитывались значения $R_1, R_2, R_3, R_{12}, R_{13}, R_{23}, C_1, C_2, C, C_{12}, C_{13}, C_{23}$, соответствующие истинным значениям сопротивлений и емкостей пазовых и междуфазовых частей изоляции двигателя. Производилось сравнение полученных результатов с известными номиналами высокоомных сопротивлений и конденсаторов, из которых собиралась схема замещения.

2. На двигателе типа АОЛ2-21-4 с пазовой изоляцией — пленкокартон и междуфазовой — асбокартон — предварительно производился расчет истинных значений емкости и сопротивления пазовых частей изоляции обмоток. Затем лобовая часть обмотки вырезалась и измерялись емкости и сопротивления изоляции пазовой части, которые сравнивались с расчетными.

3. Тип двигателя, указанный выше, увлажнялся в камере влажности в течение 4 суток при $98\% \pm 2$ влажности без конденсации влаги и температуре 30°C . Согласно результатов измерений увлажнение изоляции было относительно одинаковым, поэтому в этом случае для расчетов можно было воспользоваться формулами, полученными из системы уравнений (2). В процессе увлажнения с помощью прибора контроля влажности ПКВ-7 снималась зависимость C_2/C_{50} для корпусной изоляции производились между корпусом (на рис. 26 точка К) и тремя фазами, замкнутыми между собой накоротко. Следует сразу отметить, что такой способ измерения подходит лишь при равномерном увлажнении изоляции фаз. Та же зависимость снималась по обычной схеме: фаза-фаза, корпус-фаза. Для данных, полученных при измерении по обычной схеме, производился расчет C_2 и C_{50} по формулам (4) и вычислялось их отношение. На рис. 1 представлена расчетная кривая и точками показаны значения C_2/C_{50} , полученные экспериментально.

В итоге, как в случае модернизации схемы замещения, так



и в эксперименте с серийными двигателями формулы (3) — (4), а также система уравнения (1) дали хорошее совпадение результатов с величинами, полученными экспериментально. Для сравнения истинных и измеренных абсорбционных характеристик проводился эксперимент с двигателем типа 4AX 90L4Y3 с пазовой изоляцией на полиэтилентерефталатной пленке и междуфазовой на стеклолакоткани, склеенной с пленкой. На рис. 3 приведены измеренные прибором и рассчитанные по формулам (4) зависимости C_2/C_{50} и $\Delta C/C_{50}$ от времени увлажнения. Как видно из

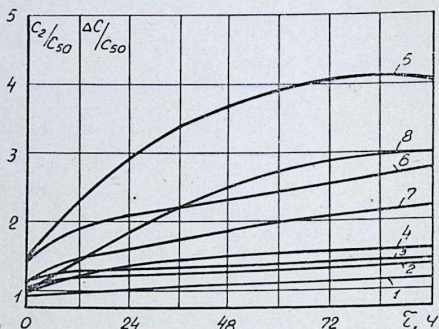


Рис. 3. Зависимости C_2/C_{50} и $\Delta C/C_{50}$ от времени увлажнения для двигателя 4AX90L4Y3:

1, 2 — расчетные $\Delta C/C_{50}$ и C_2/C_{50} для пазовой изоляции; 3, 4 — экспериментальные C_2/C_{50} и $\Delta C/C_{50}$ для пазовой изоляции; 5, 6 и 7, 8 — аналогично для междуфазовой изоляции

C_2/C_{50} и $\Delta C/C_{50}$ для корпусной изоляции, вычисленные по формулам находятся ниже, чем измеренные прибором по обычной схеме. Для междуфазовой изоляции те же значения находятся выше. Кривая 5 построена по показаниям прибора, а кривая 6 согласно расчетов по выше приведенным формулам. Значения последней в целом почти на 40% превышают значения кривой 5, полученные экспериментально с помощью прибора. Таким образом, полученные результаты указывают на искажение реальной картины увлажнения двигателя при контроле его изоляции прибором по обычной схеме.

ВЫВОДЫ

1. Изоляция асинхронного двигателя может увлажняться неравномерно, вследствие влияния ряда эксплуатационных и конструктивных факторов.

2. Контроль двигателя по обычной схеме: фаза-корпус, фаза-фаза дает искаженную картину увлажнения изоляции по причине взаимного влияния различных частей схемы изоляции двигателя.

3. Предложенные формулы дают возможность определить истинные значения параметров увлажнения различных частей изоляции, что уточняет сведения об увлажнении двигателя и может позволить предотвратить включение увлажненного двигателя под напряжение; а также дает возможность правильно контролировать сушку изоляции.

4. Истинные значения абсорбционных характеристик, полученных расчетным путем полнее подчеркивают основную роль лобовых частей в увлажнении изоляции двигателя и показывают, что ошибка оценки увлажнения междупазовой изоляции при измерении по обычной схеме, может достигать 40%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лысаковский Г. И.* Новый метод оценки степени увлажненности изоляции электрических машин. «Электрические станции», № 6, 1959.

Шмаков Б. В.

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Существующая система зерноочистительных машин находится на той стадии развития, когда эффективность дальнейших вложений в нее начинает снижаться. Для дальнейшего развития механизации послеуборочной обработки зерна необходим переход от количественных накоплений к качественным изменениям. Смысл их состоит в том, что появляются машины, являющиеся средством подъема урожайности, что делает возможным дальнейшее развитие механизации послеуборочной обработки зерна на более высокой основе.

Исследования показали, что повышение урожайности возможно при более тщательном отборе жизнеспособных семян, в частности при их разделении по совокупности механических, электрических и других свойств, при специальной обработке семян, повышающей их жизнедеятельность, урожайность. Оба эти условия возможно выполнить при использовании электрозерноочистительных машин (ЭЗМ). Наложение электрического поля коронного разряда позволяет при сепарации учитывать электрические, механические и биологические свойства семян. Последнее обуславливает наличие у ЭЗМ ряда преимуществ перед существующими:

становится возможным отделение от ряда трудноотделимых сорняков;

обеспечивается сортировка семян с учетом посевных качеств; активизируется жизнедеятельность семян;

улучшаются их технологические свойства;

упрощается обслуживание машин при переходе с одной культуры на другую;

высокая подготовленность к автоматизации;

в наибольшей степени удовлетворяются требования автоматизации.

Вышеперечисленные достоинства ЭЗМ позволяют сделать заключение о том, что появилась новая технология, способная дать толчок к дальнейшему развитию механизации послеуборочной обработки зерна. Однако следует отметить ряд трудностей, препятствующих широкому внедрению ЭЗМ. Основными из них являются следующие:

относительно большое время, необходимое для определения оптимального режима работы;

зависимость качества разделения от параметров окружающей среды (влажности, температуры) и исходного материала (гранулометрического состава и влажности);

низкая квалификация обслуживающего персонала..

Влияние этих факторов можно свести к минимуму при создании системы автоматического управления (регулирования) качеством сепарирования, способной производить поиск оптимального режима работы. Разработка конкретных технических средств автоматики предполагает тщательное исследование технологических и технико-экономических основ автоматизации, определения рациональной очередности автоматизации с учетом производственных возможностей, достаточного уровня производства и квалификации обслуживания персонала.

Изучение технологических основ необходимо для получения динамических характеристик ЭЗМ и в конечном итоге определения взаимосвязей отдельных технологических параметров и выбора из них наиболее характерных, значимых и определяющих которые можно принять в качестве регулируемых параметров в системе автоматизации. К особенностям технологического процесса ЭЗМ и вообще электронно-ионной технологии (ЭИТ) следует отнести наличие нескольких регулируемых параметров. Изменении возмущающих факторов (условий окружающей среды, состава и состояния исходного материала и т. д.) случайным образом влияет на качество готового продукта (выход). Влияние возмущений на выход компенсируется рядом регулируемых параметров, обозначенных на рис. 1 $X_1 \div X_2$, где ЭЗМ представлена в виде «черного ящика». Большое количество параметров, зависимость качества от изменяющихся во времени случайных величин создает определенную трудность выявления оптимальных режимов. Все это требует применения автоматических средств для настройки и регулирования технологического процесса ЭЗМ. Только автоматизация позволит широко внедрить новую, прогрессивную технологию, повысить эффективность послеуборочной и предпосевной обработки зерна. Применение автоматизации выдвигает задачу определения наиболее эффективных параметров регулирования машины, а также выявления такого критерия оптимизации, который бы отражал эффективность технологического процесса и мог бы быть определен недорогостоящими, простыми по конструкции устройствами.

Наиболее важной характеристикой зерна при разделении является засоренность его сорными и культурными растениями, т. е. процентное содержание засорителей в готовом продукте, границы которого устанавливаются ГОСТ в зависимости от класса культуры. Эти границы необходимо учитывать при создании САУ. Величина, характеризующая удаленную из зернового материала часть сорняков, называется степенью очистки. Она

отражает качество работы машины и в какой-то степени является критерием агротехнической оценки. Степень очистки используется при сравнении режимов работы машин и систем. Для характеристики процесса в целом применяются критерии, характеризующие технологическую, производственную и экономическую эффективность. Эти критерии неравноценны. По нашему мнению, критерий технологической эффективности должен применяться при определении наиболее эффективного технологического процесса очистки, при сепарации весьма ценных семян или семян, необходимое количество которых для посева невелико, и когда качество сепарации не зависит от производительности.

Критерий производственной эффективности должен применяться при выборе оптимального режима для определенной машины и культуры, особенно на промежуточных стадиях очистки:

$$\Theta_0 = \varepsilon \frac{\Pi}{\Pi_0},$$

где Θ_0 — производственная эффективность;

ε — технологическая эффективность;

$\frac{\Pi}{\Pi_0}$ — производительность машины в относительных единицах.

В конечном итоге все решает экономический эффект, поэтому критерий экономической эффективности является наиболее приемлемым. Экономический эффект автоматизации ЭЗМ складывается из повышения качества разделения исходного материала, повышения производительности машины при поддержании качественных показателей выхода в пределах, допустимых ГОСТом, поддержания оптимального режима при любых возмущающих воздействиях, увеличения урожайности за счет обработки семян в электрическом поле. Однако его реализация в САУ затруднена из-за отсутствия дешевых, малогабаритных ЭВМ.

Трудность реализации вышеперечисленных критериев в САУ привело к поискам и использованию косвенных критериев, таких, как проход на конечном участке подсева решета или свойства семян первой фракции (удельный вес, емкость, сопротивление, угол диэлектрических потерь и др.) [1, 2, 3]. Однако в последнее время появились работы, в которых указывается на необходимость непосредственного измерения критериев очистки любого продукта [1]. При изучении технологических процессов сепарирования зерновой смеси на ЭЗМ применяется как физическое, так и математическое моделирование. Однако первое представляет существенную трудность с точки зрения отыскания модели, процессы в которой описывались бы теми же уравнениями, что и в реальной машине. При математическом моделировании применяются методы планирования эксперимента. Наибольшее распространение в теории сепарации нашли дробные факторные эксперименты, планы Хартли и симплекс-планирование. Доказа-

на возможность создания математической модели электросепаратора с целью его последующей автоматизации. При математическом моделировании следует помнить, что модель должна быть вероятностной, т. к. все возмущающие и входные параметры являются случайными величинами. Поэтому ставится задача учета случайного характера протекания процессов при создании математической модели. В результате моделирования получаем математическое ожидание выхода, причем тем точнее, чем полнее будут учтены факторы, влияющие на процесс. В работе [4] выявлен характер воздействия возмущающих факторов на критерий оптимизации, в качестве которого принята технологическая эффективность.

При увеличении влажности окружающей среды в межэлектродном промежутке уменьшается количество свободных ионов, что ведет к уменьшению заряда и, как следствие, к уменьшению электрических сил. Последнее приведет к смещению функции распределения абсцисс точек приземления к началу отсчета, что уменьшит четкость разделения [5]. Аналогичным образом воздействуют и другие факторы: влажность и температура исходного материала, его засоренность и т. д.

Анализ воздействия факторов на технологическую эффективность позволил наметить пути автоматизации ЭЗМ. Предполагается два основных направления. Первое направление — стабилизация параметров, в частности стабилизация микроклимата в рабочем пространстве машин для предпосевной обработки семян, стабилизация сил, действующих на частицы. При этом САР является системой стабилизации по многим параметрам. Суть второго направления в следующем: исследования процессов разделения свидетельствуют о наличии экстремальных зависимостей между некоторыми критериями оптимизации и регулируемыми параметрами. При возмущающих воздействиях факторов экстремум дрейфует. Поэтому второй путь автоматизации ЭЗМ — создание систем экстремального регулирования (СЭР). Применение СЭР является наиболее эффективным, поскольку производится автоматический поиск оптимального режима при изменении внешних условий и характеристик стабилизации (САС) и СЭР предполагает необходимость разработки системы датчиков, способных контролировать изменение параметров, а также определяющих качество очистки.

Поскольку технологический процесс является стохастическим, т. е. при случайном изменении возмущающих факторов также случайно изменяется в режиме работы машины, то возникает необходимость разработать методы поиска оптимума. Поиск оптимума для многофакторной модели (рис. 1) возможен несколькими методами математического моделирования. Необходимы исследования в этой области и определение наиболее эффективного с точки зрения точности, скорости и возможности реализации в приборе. Необходима разработка специальных многомер-

ных экстремальных регуляторов, способных производить поиск оптимального режима.

Решение поставленных задач позволит значительно повысить стабильность работы, качество получаемой продукции и производительность ЭЗМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна.— Тезисы докладов II Всесоюзного научно-технического совещания. М., 1973 г.
2. Громов А. Г. Обоснование косвенного способа автоматического контроля работы сепарирующих органов. Труды ЧИМЭСХ вып. 62, 1971 г.
3. Григорьев С. М. и др. К вопросу создания семеочистительных машин с автоматическим поиском оптимального режима работы решет. Труды Ленинградского СХИ, т. 108, вып. 1, Л., 1966 г.
4. Изаков Ф. Я. Теория и вопросы оптимизации процессов обработки семян в электрическом поле коронного разряда. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Челябинск, 1969 г.
5. Каменир Э. А. К определению статических закономерностей сепарации материалов в поле коронного разряда.— В кн.: «Электротехнология в сельском хозяйстве». Труды ЧИМЭСХ, вып. 75, Челябинск, 1974 г.

Изаков Ф. Я., Шмаков Б. В.
Каменир Э. А.

ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН (ЭОМ)

Одним из условий успешного внедрения новых технологий в сельскохозяйственное производство является возможность автоматического контроля и управления процессом. Не является исключением в этом смысле и электронно-ионная технология, которая находит применение в процессах предпосевной и послеуборочной обработки семян и зерна сельскохозяйственных культур. Опыт внедрения созданных для выполнения указанных процессов электрообрабатывающих машин (ЭОМ) показал, что одним из необходимых условий их успешной эксплуатации является создание систем автоматического регулирования (САР). Вместе с тем, вопросами автоматического управления ЭЗМ исследователи практически не занимались.

При всем многообразии функций, выполняемых ЭОМ (табл. 1), могут быть найдены общие этапы и пути их автоматизации. Как и к серийно выпускаемым машинам [1], к ЭОМ целесообразно применить принцип стадийности, т. е. автономное рассмотрение состояния обрабатываемого материала и режима его преобразования

Наиболее целесообразно выделять стадии по рабочим органам или их группам в соответствии с признаками разделения зерновой смеси и условиями работы. Технологический процесс обработки зерна на ЭОМ может быть разбит на две части: 1) подготовка материала; 2) разделение. В подготовку материала

Таблица 1

Наименование операции	Оценка операции
Стимуляция посевных и урожайных качеств	Урожай, ц/га
Сортирование	Полевая всхожесть, %
	Масса 1000 зерен, г
	Урожай, ц/га
Очистка от посторонних примесей	Содержание основной культуры, %
	Содержание сорняка, %
Очистка от трудноотделимых сорняков	Содержание основной культуры, %
	Содержание сорняка, шт/кг

включаются операции формирования потока, обработка его различными видами энергии (тепловой, ультрафиолетовыми лучами, электрического поля и т. д.) с целью интенсификации последующего разделения. Технологический процесс обработки зерна в виде динамической системы, состоящей из двух стадий, представлен на рис. 1. Каждая стадия содержит ряд звеньев, осуществляющих цепенаправленное изменение состояния материала. Отнесение звеньев к той или другой стадии произведено на ос-

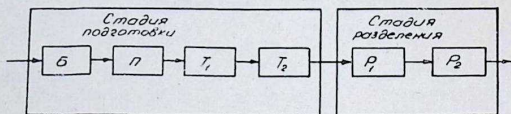


Рис. 1. Структурная схема:

Б — бункер; П — питатель; T_1 — устройство предварительной обработки; T_2 — устройство предварительной зарядки; P_1 — зона разрядки и распределения продукта; P_2 — регулируемый приемник фракций

нове анализа технологического процесса. При этом ЭОМ была представлена в виде обобщенной машины, блок-схема которой (рис. 2) содержит все элементы, встречающиеся в различных ЭОМ. В отличие от механических зерноочистительных машин (ЗОМ) в ЭОМ рабочая поверхность или ее часть помещается в

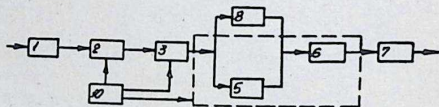


Рис. 2. Обобщенная схема блок-схема ЭЗМ:

1 — бункер, 2 — питатель, 3 — устройство предварительной обработки, 4 — механический рабочий орган, 5 — зона зарядки, 6 — зона разрядки и предварительного распределения, 7 — электрическое поле, 8 — регулируемый приемник фракций, 9 — источник высокого напряжения, 10 — электропривод

электрическом поле 8. Для интенсификации процесса применяются устройства предварительной обработки 3. Кроме того, в ЭОМ формирование фракции, т. е. ее качественный состав, зависит от положения регулируемого приемника фракции 7. В отдельных конструкциях в зоне распределения зернового потока создается электрическое поле, способствующее формированию фракции. Поскольку отдельные части рабочего органа находятся в неодинаковых условиях и выполняют различные функции, то его можно рассматривать состоящим из двух зон: зарядки 5 и распределения продукта 6. Первая зона относится к стадии подготовки материала, а вторая — к стадии разделения.

Из анализа функций, выполняемых отдельными органами машины, можно сделать заключение, что стадия подготовки продукта объединяет звенья: емкостные (бункер Б); транспортирующие (питатель П); формирующие (устройство предварительной обработки T_1) и устройство предварительной зарядки (зона зарядки T_2), которые являются также транспортными звеньями. Однако они отнесены к формирующим, поскольку в них происходит качественное изменение состояния материала. Стадия разделения охватывает звено P_1 (зона разрядки и распределения продукта) и звено P_2 (регулируемый приемник фракций).

Вся информация о ходе технологического процесса, о качественных и количественных изменениях обрабатываемого материала заключена в самом материале, который последовательно переходит из одной стадии в другую. Выходные параметры первой стадии являются входными для последующей. Объектом автоматического регулирования могут являться отдельные звенья в стадии, совокупность звеньев образующих стадию и машина в целом. В зависимости от объекта автоматизации будет зависеть и тип САР.

Каждая стадия характеризуется значением ее параметров на входе и выходе. Всю совокупность факторов, характеризующих технологический процесс можно разбить на три группы [1]:

1. факторы, характеризующие условия работы и исходное состояние материала;
2. факторы, характеризующие процесс движения материала по сепарирующей поверхности;
3. факторы, характеризующие режим работы,
 - а) непосредственно воздействующие на процесс движения и конечное состояние потока (управляемые факторы),
 - б) заданные в конструкции и определяющие количество и качество готового продукта.

Для автоматического регулирования большой интерес представляют факторы третьей группы, особенно подгруппы «а». Последнее открывает большие возможности для автоматического регулирования ЭОМ по сравнению с традиционными ЗОМ. Для определения значимости различных факторов был произведен анализ воздействия их на стадии и звенья ЭОМ. Результаты анализа приведены в табл. 2, где знак «—» означает, что фактор не действует на данное звено, а «+» означает существенное воздействие. Из табл. 2 видно, что наиболее общими факторами третьей группы являются следующие: напряженность электрического поля; напряжение на электродах; сопротивление заземления рабочего электрода; скорость перемещения материала; параметры кривой напряжения.

Кроме общих факторов, действующих независимо от типа машины, действие отдельных факторов связано с определенным

Таблица 2

Факторы	Стадия подготовки материала			Стадия разделения	
	Б	П	Т ₁ Т ₂	Р ₁	Р ₂
I. Внешние возмущения	—	+	+	+	+
Влажность воздуха	—	—	+	+	+
Температура воздуха	—	—	+	+	+
Внешние возмущающие источники энергии	+	+	+	+	+
Влажность материала	—	—	+	+	+
Температура материала	—	+	+	+	+
Исходная засоренность	—	+	—	+	+
Плотность	+	+	—	+	+
Абсолютный вес зерна	+	+	—	+	+
Состояние поверхности зерен	—	+	+	+	+
Биологическое состояние зерна	—	—	+	+	+
Начальная скорость зерен	—	+	+	+	—
Колебания напряжения в сети	—	+	+	+	+
II. Внутренние связи					
Положение зерна	—	—	+	+	—
Относительная скорость перемещения	+	+	—	+	+
Положение зернового слоя	+	+	+	+	—
Взаимное расположение зерен	—	—	+	+	—
Уровень материала	+	—	—	—	—
III. Управляемые факторы					
а) Непосредственно воздействующие в любых ЭЗМ					
Нагрузка	—	+	—	+	—
Напряженность электрического поля	—	—	+	+	+
Напряжение на электродах	—	—	+	+	+
Сопротивление заземления рабочего электрода	—	—	+	+	+
Микроклимат в рабочей зоне	—	—	+	+	—
Форма кривой напряжения	—	—	+	+	—
Частота импульсов	—	—	+	+	—
Скорость перемещения материала	+	+	+	+	+
Состояние поверхности некоронирующего электрода	—	—	+	+	+
б) Конструктивные факторы общие для всех ЭЗМ					
Тип электродов	—	—	+	+	+
Конструкция электродов	—	—	+	+	+
Величина конструктивного промежутка	—	—	+	+	—
Взаимное расположение конструктивных частей	—	+	+	+	++

типом ЭОМ, их влияния на отдельные звенья показано в табл. 3.

Анализ табл. 2, 3 свидетельствует о значительном влиянии микроклимата, напряженности электрического поля, скорости перемещения материала и др. на технологический процесс. Стабилизация параметров этой группы факторов на оптимальном уровне, очевидно, является одним из возможных путей автоматизации ЭОМ. Как показывает опыт, работа ЭОМ также, как и механических зерноочистительных машин, зависит от нагрузки

Таблица 3

Факторы	Стадия подготовки материала			Стадия разделения	
	Б	П	Т ₁ Т ₂	Р ₁	Р ₂
а) Камерная машина					
Скорость воздушного потока	—	+	—	+	+
Угол наклона электродов	—	—	—	+	—
Координата точки подачи	—	—	—	+	—
Размеры ячейки электродов	—	—	—	+	—
б) Транспортная машина					
Градиент напряженности в зоне разрядки	—	—	—	—	+
Длина зоны разрядки	—	—	—	—	+
Размер перфорационной ячейки	—	—	+	+	+
в) Электрогорка					
Угол наклона электродов	—	—	—	+	+
Координата точки подачи	—	—	—	+	—
Решетная со статическим полем					
Частота и амплитуда колебания	—	—	+	+	—
Размер отверстий	—	—	—	+	—
Направленность колебаний	—	—	+	+	—
д) Электростатическая машина с разделением по напряженности отрыва					
Время зарядки	—	—	+	+	—
Напряженность в зоне разделения	—	—	—	+	—
Частота и амплитуда вибрации	—	—	+	+	—
е) Электростатическая машина с разделением по напряженности ориентировки					
Скорость отвода сорентированных частиц	—	—	+	—	+
Координата и размер отводящего устройства	—	—	—	—	+

на рабочие органы. Для ЭОМ, где электрическое поле является интенсифицирующим фактором, влияние нагрузки существенно сказывается на качестве готового продукта. Для этих машин возможны все направления автоматизации ЗОМ. ЭОМ, в которых электрическое поле выступает в виде основного разделяющего фактора, характеризуются незначительным влиянием нагрузки на протекание технологического процесса при распределении материала в один слой по рабочей поверхности и резким ухудшением при двух и более слойной подаче. Основным условием нормальной работы этих машин является обеспечение однослойной подачи материала по ширине рабочей поверхности. Для машин этого класса перспективны следующие пути автоматизации:

экстремальное регулирование эффективности сепарации в зависимости от регулируемых параметров;

автоматическая оптимизация максимума загрузки при минимально допустимой полноте разделения. Следовательно, автоматизация первой стадии сводится к стабилизации основных факто-

ров, либо к их изменению по определенному закону (следящие системы и программное управление). На второй стадии возможны два пути: либо создание систем экстремального управления [2], либо оптимизация по основному ряду факторов. В связи с этим определенный интерес представляет создание САР с камерой, моделирующей в основном технологическом промежутке. Отсутствие в настоящее время датчиков прямого и надежного косвенного контроля качества выходного продукта позволяет рекомендовать в первую очередь автоматизацию звеньев первой стадии.

Ограниченный размер статьи не позволил провести анализ машин различных конструкций, были выбраны наиболее характерные машины, характеризующие целую группу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кубышев В. А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна. Труды ЧИМЭСХ, вып. 36, 1969.
2. Каменир Э. А. К выбору САР процессом сепарации зерна в электрических полях. Труды ЧИМЭСХ, вып. 67, 1971.

Изаков Ф. Я., Дондоков Д. Д.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ АЭРОЗОЛЯ ДИСКОВОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Зная закономерность изменения скорости движения заряженных частиц в зависимости от параметров электростатического распылителя, можно оптимизировать процесс электроосаждения. При этом важно установить взаимосвязь между параметрами установки и отдельными параметрами технологического процесса. Например, вертикальная составляющая скорости движения частиц при использовании электростатического распылителя на защите растений определяет проникновение аэрозоля в глубь кроны, а горизонтальная составляющая — ширину обрабатываемой полосы (рассматривается случай, когда дисковый электростатический генератор проходит над растением, а распыливающий диск располагается горизонтально).

На заряженную частицу при ее движении во внешнем электрическом поле действуют:

F_d — сила тяжести,

F_c — сила сопротивления среды,

F_e — сила электрического поля,

F_n — пондеромоторная сила,

$F_{вз}$ — сила взаимодействия частиц,

F_z — сила зеркального отображения.

Сила зеркального отображения заметно проявляет себя лишь на заключительном этапе траектории, всего на расстоянии 0,1 мм от объекта обработки [3].

Авторы работ [2, 3] считают, что для заряженных частиц со средним диаметром, например 20 мкм, и при напряженности внешнего поля не менее 1 кВ/см сила F_e приобретает определяющее значение. Для определения скорости движения достаточно учесть еще силу тяжести и сопротивление среды, а остальными пренебречь из-за их незначимости [2, 3, 4]. В пользу таких допущений говорят параметры электроаэрозолей исследуемого распылителя: размеры частиц 40—60 мкм, заряд 10^6 эл. зар., счетная концентрация порядка 100 частиц/см³. Если смоделировать поверхность растения плоскостью, то электрическое поле между ней и внешним электродом считаем однородным. Тогда F_e — величина постоянная и направлена к растению.

Уравнение движения по горизонтальной (ось X) и вертикальной (ось Z) составляющим имеет вид:

$$m \frac{dV_x}{dt} = -F_{cx}; \quad (1)$$

$$m \frac{dV_z}{dt} = mg - F_{cz} + F_{\text{э}}, \quad (2)$$

где V_x и V_z — горизонтальная и вертикальная составляющие скорости;

F_{cx} и F_{cz} — сила сопротивления движению в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Рассмотрим решение уравнения (2). На основе расчетов работы [5] можно считать, что движение удовлетворяет закону Стокса. Тогда $F_{cz} \equiv 6\pi\eta r V_z$. После некоторых преобразований и интегрирования получаем выражение скорости по составляющей Z в виде

$$V_z = ag(1+K) \left[1 - e^{-\frac{t}{a}} \right], \quad (3)$$

где η — вязкость воздуха;

r — радиус частицы;

g — ускорение силы тяжести;

$a = \frac{d^2 \rho_{\text{ж}}}{18 \nu_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}$ — коэффициент, имеющий размерность времени (1);

$K = \frac{F_{\text{э}}}{P}$ — кратность электрической силы;

d — диаметр частицы;

$\rho_{\text{ж}}, \rho_{\text{в}}$ — плотность жидкости и воздуха;

$\nu_{\text{в}}$ — кинематическая вязкость воздуха.

Рассмотрим решение уравнения (1). Начальная скорость определяется окружной скоростью края вращающегося диска и может иметь численные значения (80÷100) м/с для дисковых распылителей. Для таких скоростей, естественно, нельзя применять формулу Стокса. Существует эмпирическая формула Клячко (4), которая дает довольно хорошие результаты при $3 < \text{Re} < 400$ (отклонение $\approx 2\%$). С учетом этой формулы силу сопротивления движению частицы по направлению X выразим уравнением

$$F_{cx} = \left(\frac{24\nu_{\text{в}}}{V_{\text{xd}}} + 4 \sqrt[3]{\frac{\nu_{\text{в}}}{V_{\text{xd}}}} \right) \frac{\rho_{\text{в}} V_x^2}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4}. \quad (4)$$

После подстановки выражения (4) в уравнение (1) получаем

$$e^{-\frac{2t}{a}} = \frac{V_x^2}{V_{\text{ox}}^2} \left(\frac{1 + 3b \sqrt[3]{V_{\text{ox}}^2} + 3b^2 V_{\text{ox}}}{1 + 3b \sqrt[3]{V_x^2} + 3b^2 V_x} \sqrt[3]{\frac{V_{\text{ox}}}{V_x} + b^3 \frac{V_{\text{ox}}^2}{V_x^2}} \right), \quad (5)$$

$$\text{где } b = \frac{\left(\frac{d}{v_n}\right)^2}{6} [1].$$

Из полученного выражения невозможно определить V_x интегрированием. Поэтому было принято решение аппроксимировать уравнение (5), используя численный эксперимент. С этой целью в уравнении (5) выделяем факторы, от изменения которых зависит выход в численном эксперименте. Такими факторами приняты $K_v = \frac{V_x}{V_{ox}}$, V_{ox} , b . Уровни варьирования определены, исходя из возможных условий проведения опыта, и занесены в

Таблица 1

	x_1	x_2	x_3	K_v	V_{ox}	b	y	$\hat{y}$
1	+	+	+	1	80	0,7	1	0,996
2	+	—	—	1	40	0,1	1	0,996
3	—	+	—	0,2	80	0,1	0,004	0,004
4	—	—	+	0,2	40	0,7	0,565	0,564
5	0	0	0	0,6	60	0,4	0,848	0,835
6	—	0	0	0,2	60	0,4	0,488	0,492
7	+	0	0	1	60	0,4	1	1,004
8	0	—	0	0,6	40	0,4	0,812	0,811
9	0	+	0	0,6	80	0,4	0,869	0,867
10	0	0	—	0,6	60	0,1	0,540	0,543
11	0	0	+	0,6	60	0,7	0,903	0,903

соответствии с матрицей плана Хартли для 3-х факторов (табл. 1).

Получено уравнение регрессии:

$$y = 0,835 + 0,256x_1 + 0,028x_2 + 0,18x_3 - 0,168x_{13} + \\ + 0,1x_{23} - 0,087x_1^2 + 0,004x_2^2 - 0,112x_3^2 \quad (6)$$

Расчеты по формулам (5) и (6) помещены в таблице соответственно по столбикам y и $\hat{y}$. Как видно из сравнения, их уравнение (6) является весьма точной математической моделью уравнения (5). После перехода к абсолютным единицам окончательно получено

$$0,015V_x^2 + AV_x + B - v_{ox}^2 - e^{-\frac{2t}{a}} = 0, \quad (7)$$

где

$$A = 0,32V_{ox}^2 + 0,02BV_{ox} + 20V_{ox};$$

$$B = V_{ox}^2 (35b - 0,66V_{ox} - 1,6V_{ox}^2 + 192V_{ox} + 0,01B^2 - 5763).$$

Таким образом, горизонтальная составляющая скорости выражается формулой

$$V_x = 33,3 \left(-A + \sqrt{A^2 - 0,06B - 0,06v_{ox}^2 e^{-\frac{2t}{a}}} \right) \quad (8)$$

(физический смысл имеет положительный квадратный корень уравнения). При осаждении заряженной частицы во внешнем электрическом поле вертикальная составляющая скорости увеличивается в $(1 + K)$ раз. $K = 40$ при $E = 1 \frac{KV}{cm}$. Следовательно, составляющая F_z в основном определяется напряженностью внешнего поля и зарядом частицы.

Расчеты на ЭВМ показали, что на горизонтальную составляющую в исследуемом диапазоне практического влияния не оказывает величина коэффициента b . Значение этой составляющей определяется начальной скоростью V_{ox} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Н. В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук «Исследование процесса монодисперсного распыления жидкости вращающимся диском и разработка лабораторной и полевой аппаратуры с дисковыми распылителями», М., 1970.
2. Какабаев С. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук «Исследование основных параметров устройств для электростатического осаждения аэрозоля ядохимикатов». Ашхабад, 1968.
3. Рыбинский Ю. В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. «Исследование аэрозольного метода опрыскивания для химической защиты растений». М., 1974.
4. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М., 1955.
5. Китаев А. В. О системе параметров для электроаэрозольного метода защиты растений.— В сб. научных трудов МИИСП, вып. 3, ч. 1, т. IX, М., 1972.

Файн В. Б.

ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОРОННОГО РАЗРЯДА ПРИ НАЛИЧИИ ПЛОХО ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ НА НЕКОРОНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОДЕ

Во многих процессах электронно-ионной технологии (ЭИТ) на некоронирующем электроде имеется плохо проводящий слой. Чаще всего он является неизбежным условием протекания процесса, например слой пыли на осадительном электроде электрофильтра [1]; слой грунтовки или шпаклевки при электроокраске [2]; материал пола, потолка и стен помещения при аэроионизации [3]. Иногда этот слой создают специально для улучшения качества процесса, например в электросепарации [4]. Но в любом случае наличие слоя заметно влияет на характеристики короны, в частности на ее вольт-амперную характеристику (ВАХ), и тем самым на протекание технологического процесса. Поэтому важно уметь рассчитывать ВАХ короны в этом случае.

Расчет ВАХ коронного разряда при наличии плохо проводящего слоя на некоронирующем электроде выполнен с учетом следующих допущений:

- 1) обратная корона на слое отсутствует;
- 2) толщина слоя намного меньше длины разрядного промежутка. Первое допущение предполагает монолитную структуру слоя, т. е. отсутствие в нем пор и включений. В случае пористых слоев это допущение ограничивает применимость полученной ниже формулы диапазоном напряжений, меньших напряжения появления обратной короны. Второе допущение обычно выполняется и позволяет пренебречь изменением геометрии разрядного промежутка.

Напряжение на слое равно

$$U_{\text{сл}} = E_{\text{сл}} d = j \rho d, \quad (1)$$

где $E_{\text{сл}}$ — средняя напряженность электрического поля в слое;

d — толщина слоя;

j — средняя плотность тока на поверхности некоронирующего электрода;

ρ — удельное объемное электрическое сопротивление слоя.

Очевидно, что

$$U_{\text{сл}} = U - U_{\text{к}}, \quad (2)$$

где U — напряжение, приложенное между коронирующим и некоронирующим электродами;

U_k — напряжение, приложенное собственно к коронирующему промежутку.

ВАХ коронного разряда, как известно [5], имеет вид

$$I = cU_k(U_k - U_0), \quad (3)$$

где I — ток короны, потребляемый аппаратом ЭИТ;

c — некоторая постоянная для данного аппарата величина,

U_0 — начальное напряжение короны.

Постоянная c может быть рассчитана теоретически или определена экспериментально по редуцированной ВАХ аппарата [5]. В силу допущения 2 величины постоянной c при наличии и отсутствии слоя могут быть приняты равными друг другу.

Из формулы (3) можно получить

$$U_k = \frac{U_0}{2} + \sqrt{\frac{U_0^2}{4} + \frac{I}{c}}. \quad (4)$$

Поскольку

$$j = \frac{I}{S}, \quad (5)$$

где S — площадь поверхности некоронирующего электрода, то подставляя выражение (5) в формулу (1), а выражения (1) и (4) в формулу (2), получим

$$\frac{I_0 d}{S} = U - \frac{U_0}{2} - \sqrt{\frac{U_0^2}{4} + \frac{I}{c}}. \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно I , получим формулу ВАХ коронного разряда при наличии слоя на некоронирующем электроде:

$$I = \frac{\frac{1}{c} + (2U - U_0)R - \sqrt{\left[\frac{1}{c} + (2U - U_0)R\right]^2 - 4(U^2 - UU_0)R^2}}{2R^2}, \quad (7)$$

где $R = \rho \frac{d}{S}$ — электрическое сопротивление слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М., «Химия», 1967.
2. Верещагин И. П., Левитов В. И., Мирзабекян Г. З., Пашин М. М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М., «Энергия», 1974.
3. Лившиц М. Н. Технические средства для искусственной ионизации воздуха и приборы для измерения концентрации ионов. — В сб. трудов научно-исследовательской лаборатории по ионизации и кондиционированию воздуха. Вып. 1. М., Стройиздат, 1965.
4. Басов А. М. и др. Электрoзерноочистительные машины. М., «Машиностроение», 1968.
5. Капцов Н. А. Коронный разряд. М., Гостехиздат, 1947.

Файн В. Б.

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ ПРИ АЭРОИОНИЗАЦИИ

Эффект очистки воздуха в помещении от пыли и микробов при аэроионизации был впервые установлен и исследован А. Л. Чижевским в 1933—1934 гг. [1].

Дальнейшее развитие экспериментальные исследования в этом направлении получили в работах [2—11]. Первая попытка дать математическое описание данного процесса была предпринята в [10, 11], где рассматривалось осаждение аэрозоля в закрытом помещении при наличии в нем источника ионов. Электростатическое рассеяние униполярно заряженного аэрозоля не учитывалось. Предполагалось, что осаждение частиц обусловлено только электрическим полем, созданным в помещении пространственным зарядом ионов. В работе [12] решена задача об осаждении пыли под действием электрического поля аэроионизатора в вентилируемом помещении с пылевыведением при наличии рециркуляции вентиляционного воздуха. Электростатическое рассеивание также не учитывалось. В работе [12] были допущены опечатки. Формула (10) получена при начальных условиях $t = 0$, $c = c_0$ и должна выглядеть следующим образом:

$$c = \frac{NVc_1(1-\alpha)(1-\eta_1) + x}{NV[1-\alpha(1-\eta_1)(1-\eta_2)] + WS} \left\{ 1 - \frac{-t \frac{WS}{V} + N[1-\alpha(1-\eta_1)(1-\eta_2)]}{1 + (1-\eta_1)(1-\eta_2) \frac{LF}{V}} \right\} + c_0 e^{-t \frac{WS}{V} + N[1-\alpha(1-\eta_1)(1-\eta_2)]}{1 + (1-\eta_1)(1-\eta_2) \frac{LF}{V}}.$$

В формуле (12) после выражения $\lim_{t \rightarrow \infty} c$ должен стоять не минус, а знак равенства.

Ниже развита теория обеспыливания при аэроионизации в вентилируемом помещении, учитывающая осаждение заряженных частиц пыли как за счет их дрейфа в электрическом поле аэроионизатора, так и за счет их электростатического рассеивания.

В помещении объемом V и площадью внутренней поверхно-

сти S поступает приточный вентиляционный воздух с массовой концентрацией пыли c_1 . Кратность воздухообмена равна N . Массовое пылевыведение в помещении составляет x . В момент времени $t=0$, когда средняя концентрация пыли в помещении равна c_0 , включается аэроионизатор. Требуется найти закон изменения во времени средней концентрации пыли в помещении (кинетику обеспыливания), а также получить формулы для конечных показателей очистки воздуха.

При решении задачи примем следующие допущения:

1. Концентрация пыли в данный момент времени одинакова во всех точках внутри помещения.

2. Диффузия, силы инерции, термофорез не учитываются.

3. Движение частиц подчиняется закону Стокса с поправкой Кеннингема.

4. Частица, осевшая на поверхность, не уносится с нее обратно.

5. Приточный воздух и воздух помещения имеют одинаковую температуру.

6. Пыль химически однородна и монодисперсна. Пылинки имеют сферическую форму.

7. Коагуляция частиц отсутствует.

8. Заряд приобретает пылинкой мгновенно и остается постоянным в течение всего времени пребывания ее в помещении.

9. Пондеромоторные силы пренебрежимо малы.

10. Кратность воздухообмена и пылевыведение не изменяются во времени.

11. Дисперсная фаза не оказывает запирающего действия на коронный разряд.

12. Пылевыведение не зависит от кратности воздухообмена.

13. Электрический ветер не учитывается.

Анализ показал, что в обычных условиях применения аэроионизаторов механизм гравитационного осаждения практически не оказывает влияния на процесс.

Дифференциальное уравнение осаждения пыли при этом условии имеет вид:

$$\frac{dc}{dt} = d + bc + ac^2, \quad (1)$$

где c — мгновенное значение средней концентрации пыли в помещении,

$$d = c_1 N + \frac{x}{V}, \quad (2)$$

$$b = -\left(\frac{WS}{V} + N\right), \quad (3)$$

$$a = -\frac{1}{8} \frac{Q^2 \left(1 + A_1 \frac{l}{r}\right)}{\pi^2 r^4 \gamma \mu \epsilon_0}, \quad (4)$$

В формуле (3) W — это среднее по всей поверхности осаждения значение нормальной (к поверхности) составляющей скорости движения заряженной частицы у поверхности под действием внешнего электрического поля.

$$W = \frac{E_n Q \left(1 + A_1 \frac{l}{r}\right)}{6\pi\mu r}, \quad (5)$$

где E_n — среднее по всей поверхности осаждения значение нормальной составляющей напряженности электрического поля;

Q — заряд пылинки;

μ — динамическая вязкость воздуха;

r — радиус пылинки;

l — средняя длина свободного пробега молекул воздуха;

A_1 — коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности частицы ($A_1 = 0,815-1,6$).

В формуле (4) ϵ_0 — электрическая постоянная, равная $8,85 \times 10^{-12}$ ф/м; γ — плотность пыли.

Уравнение (1) представляет собой уравнение материального баланса пыли в воздухе помещения, записанное для элементарного интервала времени ($t_1 + dt$). В правой части уравнения (1) первый член учитывает увеличение концентрации пыли в воздухе помещения за счет поступления ее с приточным воздухом и внутреннего пылевыделения, второй член — уменьшение концентрации пыли за счет действия вытяжной вентиляции и осаждения заряженных пылинок электрическим полем аэроионизатора, третий член — уменьшение концентрации пыли за счет электростатического рассеяния униполярно заряженного аэрозоля.

Составление выражений (2) и (3) для первых двух членов правой части (1) подробно дано в работе [12].

Решение уравнения (1) при начальных условиях $t = 0$, $c = c_0$ дает уравнение кинетики обеспыливания в виде

$$c = \frac{F_1 - F_2 \text{pet } \sqrt{D}}{1 - \text{pet } \sqrt{D}}, \quad (6)$$

где

$$F_1 = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a}; \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}; \quad (8)$$

$$p = \frac{2ac_0 + b - \sqrt{D}}{2ac_0 + b + \sqrt{D}}; \quad (9)$$

$$D = b^2 - 4ad. \quad (10)$$

Входящий в теоретические формулы заряд пылинки Q с достаточной для практики точностью может быть определен как сумма зарядов, рассчитанных по теориям ударной и диффузионной зарядки [13]:

$$Q = 4\pi\epsilon_0 r \left(\frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} E_3 r + \frac{k_B T}{e} A \right), \quad (11)$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость материала частицы;

E_3 — напряженность электрического поля в месте нахождения частицы;

k_B — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура воздуха;

e — заряд электрона;

A — функция произведения концентрации ионов на время зарядки, определенная графиком в работе [13].

Качество обеспыливания воздуха при аэроионизации удобно характеризовать с помощью показателей: эффективности

$$\eta = \frac{c_0 - c}{c_0} \quad (12)$$

и предельной эффективности

$$\eta_\infty = \frac{c_0 - c_\infty}{c_0}, \quad (13)$$

где c_∞ — значение концентрации пыли, установившейся в помещении под действием аэроионизатора.

Первый показатель характеризует степень очистки воздуха за произвольное конечное время, второй — за время, равное или большее длительности «переходного» процесса обеспыливания (теоретически — за бесконечное время).

Предположим, что включение аэроионизатора происходит после достижения установившейся концентрации пыли, соответствующей данной кратности воздухообмена.

Дальнейшее снижение концентрации пыли будет происходить только за счет аэроионизации. Формула для предельной эффективности аэроионизатора получается для этого случая в виде

$$\eta_\infty = 1 + \frac{2N}{b - \sqrt{D}}. \quad (14)$$

Наряду с эффективностью, важным показателем для оценки гигиенического действия аэроионизатора является также и скорость процесса очистки, которую можно характеризовать, например, временем 95%-ного осаждения T_{95} , т. е. временем достижения эффективности, равной 95% от предельной ($\eta \equiv 0,95\eta_\infty$).

Формула для времени 95%-ного осаждения

$$T_{95} = \frac{1}{\sqrt{D}} \ln \frac{b - 39\sqrt{D} + \frac{2ad}{N}}{b - \sqrt{D} + \frac{2ad}{N}}. \quad (15)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Чижевский А. Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М., Госпланиздат, 1960.
2. Киселев Н. Д. Электрофизические методы исследования очистки воздуха от высокодисперсной пыли в промышленных предприятиях. М., ВЗПИ, 1968.
3. Киселев Н. Д. Очистка воздуха от высокодисперсной пыли методом искусственной ионизации. М., «Машиностроение», 1966.
4. Лившиц М. Н. и Вронский А. И. Новые способы и технические средства электроочистки воздуха. В сборнике трудов научно-исследовательской лаборатории по ионизации и кондиционированию воздуха Союзглавсантехпрома. Вып. 1, М., Стройиздат, 1965.
5. Лебедев Е. Ю. Использование искусственной ионизации воздуха для осаждения микроорганизмов. Там же.
6. Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966. Ленинградский НИИ гигиены труда и профзаболеваний.
7. Материалы научной конференции по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда», Л., 1963. Ленинградский НИИ гигиены труда и профзаболеваний.
8. Хренов Н. М. Влияние аэроионизации на микрофлору воздуха животноводческих помещений — «Ветеринария», 1970, № 1.
9. Хренов Н. М. Аэроионизация снижает запыленность воздуха в коровниках. «Ветеринария», 1970, № 4.
10. Whitby K. T., Mc Farland A. R. The decay of unipolar small ions and homogeneous aerosols in closed spaces and flow systems. Proc. Intern. Conf. Air. P.P. VII — 1 — 30. Franklin Inst, Oct. 16—17 (1961).
11. Whitby K. T., Lin B. V. H., Peterson C. M. Charging and decay of monodispersed aerosols in the presence of unipolar ion sources. J. Coll. Sci. 20, 585—601 N 6, (1965).
12. Изаков Ф. Я. Файн В. Б. К расчету системы очистки воздуха от пыли в вентилируемых животноводческих помещениях — труды ЧИМЭСХ, 1974, 81.
13. Мирзабекян Г. З. Зарядка аэрозолей в поле коронного разряда. В сб.: Сильные электрические поля в технологических процессах. М., «Энергия», 1969.

Кунгуров С. Л.

ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВОК ИСКУССТВЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА В ПТИЦЕВОДСТВЕ

Одним из путей повышения производительности сельскохозяйственного труда, снижения себестоимости и улучшение качества продукции является использование средств автоматики. Системы автоматического управления создаются для того, чтобы автоматически, без непосредственного участия человека, поддерживать необходимый режим работы различных обслуживаемых этими автоматами объектов. Цель автоматизации — существенное улучшение качества работы, сокращение обслуживаемого персонала. Последовательная интенсификация сельского хозяйства на базе механизации, электрификации и химизации предполагает создание оптимального микроклимата в птицеводческих помещениях. Одним из существенных параметров микроклимата является электрический состав воздуха.

Установлено, что искусственная аэроионизация оказывает непосредственное стимулирующее действие на организм легкими отрицательными ионами кислорода и косвенное через освобождение воздушной среды от пыли и микробов [1]. Эффективность искусственной ионизации воздушной среды зависит от режима работы источника ионизации. В зависимости от режима искусственной ионизации птица получает разную дозу аэроионов. При аэроионизации малыми дозами наблюдается повышение яйценоскости, снижение отхода, увеличение живого веса, увеличение гемоглобина в крови [2]. Большие дозы аэроионов не оказывают столь благоприятного воздействия на кур [1]. По-видимому, максимальная эффективность получается при какой-то определенной дозировке. Если это так, то требуется дальнейшее подтверждение. Зависимость повышения яйценоскости от дозы ионов можно показать экстремальной зависимостью. Экстремум соответствует оптимальному режиму искусственной ионизации (рис. 1).

На концентрации легких отрицательных ионов оказывают влияние влажность, запыленность, температура воздуха, кратность воздухообмена, давление, газовый состав воздуха. Характер изменения концентрации ионов от этих воздействий неизвестен или известен частично. Так, например, известно, что при повышении влажности на 15% (с 56 до 71%) число легких аэроионов уменьшается в два раза (270 тыс.— 142 тыс. ионов)

см²), что объясняется образованием тяжелых аэроионов за счет оседания легких аэроионов на микроскопических капельках воды [1]. Запыленность воздуха также уменьшает концентрацию легких аэроионов. Уменьшение температуры воздуха ведет к уменьшению плотности аэроионов [1]. Все это показывает, что число аэроионов в 1 см³ является неустойчивой динамической величиной. Поэтому при построении зависимости яйценоскости от дозы аэроионов концентрация бралась как среднее значение от нескольких измерений при различных влажностях, температурах, запыленностях, давлениях и скоростях движения воздуха.

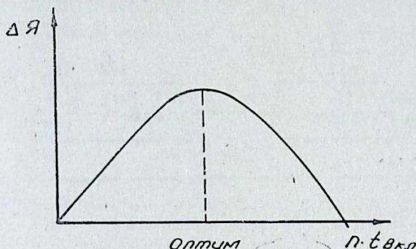


Рис. 1. Зависимость повышения яйценоскости от дозы аэроионов

Широкий диапазон изменения возмущающих факторов может привести к систематическому снижению эффективности искусственной аэроионизации. Поэтому для получения максимальной эффективности использования искусственной ионизации необходимо применять системы автоматического регулирования (САР), поддерживающие постоянный режим искусственной аэроионизации. В общем случае система автоматического регулирования (САР) состоит из объекта регулирования (птичник) и автоматического регулятора с источником ионизации, при помощи которого поддерживается постоянный режим искусственной ионизации (рис. 2). Система этого вида всегда содержит замкнутую цепь воздействий регулятора на объект и объекта на регулятор (обратная связь). На систему регулирования воздействует как управляющие (задающие воздействия q), так и различного рода нагрузки и помехи f_1 и f_2 , называемые возмущающими воздействиями, которые нарушают равновесие системы и изменяют значения регулирующих параметров.

В нашем случае постоянство дозы искусственной ионизации можно поддерживать двумя путями:

1. поддерживать концентрацию легких отрицательных ионов постоянной при помощи САР при строго определенном времени включения источника ионизации;

2. не регулировать концентрацию легких отрицательных ионов, которая изменяется под действием внешних факторов, а отключать источник ионов при достижении определенной дозы искусственной аэроионизации.

Эти две системы отличаются принципами регулирования. У первой САР должна быть стабилизация концентрации ионов по отклонению регулируемого параметра от заданного значения при постоянном времени включения источника ионизации воздуха. Вторая система должна иметь интегрирующее устройство, которое при достижении определенной дозы, определяемой настройкой системы, отключает источник ионизации. Для этих

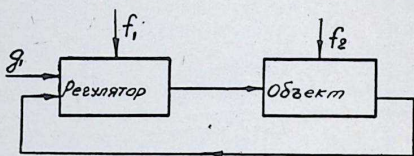


Рис. 2. Принципиальная схема системы автоматического регулирования дозы аэроионов

систем необходимы датчики, характеризующие концентрацию легких отрицательных аэроионов в воздухе. К этим датчикам предъявляются следующие требования:

- 1) непрерывность выходного сигнала;
- 2) безопасность обслуживающего персонала;
- 3) надежность в работе (по возможности не иметь подвижных частей);
- 4) герметичная защита от вредных влияний агрессивной среды в птичнике;
- 5) относительная простота и малая стоимость датчика.

ВЫВОДЫ

Для разработки системы автоматического регулирования искусственной ионизации необходимо:

- 1) исследовать объект регулирования с точки зрения автоматизации, снять его статические и динамические характеристики;
- 2) выбрать принцип регулирования дозировки аэроионов;
- 3) разработать датчики непрерывного контроля измерения концентрации аэроионов в воздухе и отсчета дозы ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чижевский А. Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М., Госплан-издат, 1960.
2. Семенов К. П. Биологический эффект искусственной ионизации воздуха в птичнике для кур-несушек. Труды ВИЭВ, т. 32, 1966.

Дондоков Д. Д.

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ

Основные свойства аэрозолей в сильной степени зависят от их дисперсности. При обработке растений для достаточного отложения химиката на листьях лучше применять частицы в диапазоне дисперсности $20 \div 50$ мкм [1], при аэрозольной дезинфекции и дезинфекции помещений — $5 \div 25$ мкм, при ингаляционной терапии и аэрогенной вакцинации — $1 \div 5$ мкм [2]. Чрезвычайно важно, чтобы аэрозольные генераторы были снабжены регуляторами дисперсности. В этом отношении ценным считается дисковый распылитель жидкости, так как изменение частоты вращения приводит к изменению размеров частиц, при постоянстве скорости поддерживается относительно хорошая монодисперсность [3].

Для расчета диаметра частиц дискового распылителя в зависимости от его параметров и свойств жидкости в работе [3] приводится формула

$$\omega d \left(\frac{\rho D}{\alpha} \right)^{\frac{1}{2}} = 3,3,$$

где D — диаметр диска;

d — диаметр частицы;

ω — частота вращения диска;

ρ — плотность жидкости;

α — коэффициент поверхностного натяжения;

3,3 — коэффициент, принятый при вращении диска электродвигателем.

Согласно этой формулы получена зависимость размеров частиц воды от частоты вращения диска. Диаметр диска принят 0,25 м. Как видно из графика (рис. 1), для получения аэрозолей с частицами 40 мкм требуется частота вращения порядка 13000 об/мин. Естественно, такая высокая скорость вращения представляет определенную техническую трудность при изготовлении распылителя и при эксплуатации его в условиях производства. По этой же причине получение дисперсности, необходимой

* Работа выполнена под руководством профессора Изакова Ф. Я.

для лечебно-профилактических и ветеринарно-санитарных обработок, практически невозможно только за счет центробежных сил вращающегося диска. Это проблема в некоторой мере решается введением сепарационной (турбулизирующей) решетки [4]. Весьма желательно не только отделять крупные частицы, но и еще произвести дробление их на мелкие с целью увеличения производительности маломощных дисковых распылителей. Известно [3], что диспергирование жидкости в сильном электрическом поле уменьшает размеры капель и увеличивает скорость отрыва по мере повышения напряжения. Совместное влияние механического и электрического способов распыления дает воз-

можность регулирования дисперсности при относительно небольших изменениях параметром механических величин.

Нами изучено влияние потенциала, поданного на изоляционный распыливающий диск электростатического генератора, на дисперсность аэрозоля при постоянстве частоты вращения диска. Во избежание ошибок, обусловленных дифракционными эффектами и приводящих к завышению размеров мелких частиц, распылитель настраивался на режим,

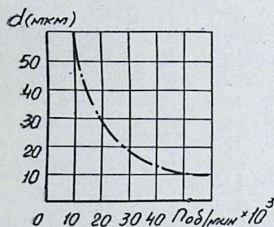


Рис. 1. Влияние частоты вращения на дисперсность частиц

где размеры капелек имели значения порядка 400 $\mu\text{м}$. Частота вращения распыливающего диска — 8000 об/мин . С расходом 45 мл/мин распыливалась водопроводная вода. Дозировка производилась с помощью шприца с подбором инъекционной иглы и грузика. Диаметр распыливающего диска — 0,2 м. Межэлектродное расстояние 3 см.

При разных напряжениях проведены всего 15 опытов: $V = 0$; 3; 9; 15; 21 kV и каждый режим проверен в 3-х повторностях. Микроскопирование производили микроскопом БИОЛАМ-70. В каждом опыте вели подсчет частиц, осевших на предметное стекло, покрытое тонким слоем трансформаторного масла, смешанного с вазелином в соотношении 1 : 1 [2]. При микроскопировании частиц применяли окулярную линейку, у которой заранее объектом-микрометром определяли цену деления для данной системы увеличения микроскопа. Подсчитывалось 150—180 частиц при каждом опыте с одновременной разбивкой на классы, выраженные в числе делений окулярной линейки. По полученным данным и известной методике определяли накопленные значения доли веса жидкости, соответствующие каждому классу размеров капель, строили интегральную кривую весового распределения размеров частиц и по ней определяли среднемассовый диаметр частиц аэрозолей.

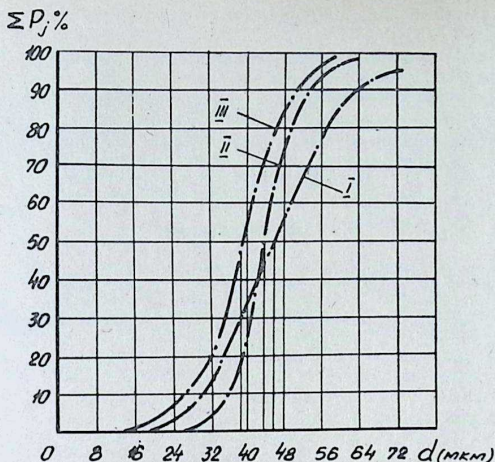


Рис. 2. Интегральные кривые весового распределения размеров частиц:

I. $v=0$; II. $v=3$ кВ; III. $v=21$ кВ

Графическое определение массового медианного диаметра на основе статической обработки результатов микроскопирования показан на примере опытов при $V=0,3; 21$ кВ (рис. 2).

По горизонтальной оси графика отложен диаметр в мкм.

Следовательно, без зарядки аэрозоля массовый медианный диаметр равен 46,4 мкм.

При зарядке аэрозоля = 3 кВ — 44 мкм.

При зарядке аэрозоля = 21 кВ — 38,4 мкм.

Рассмотрим изменение в спектре аэрозоля процентного содержа-

Таблица 1

Содержание частиц размером до 12 мкм, %

№ повторности	Напряжение, кВ				
	0	3	9	15	21
I	2	2,4	28	40	35
II	7	5,4	33	34	35
III	8	12	24	30	35,5
Среднее значение	5,7	6,6	34,7	34,7	35,2

ния мелких частиц размером по 12 мкм. Данные приводятся в табл. 1.

Таким образом, наложение электрического поля на дисковый распылитель уменьшает диаметр частиц. Это показывает на принципиальную возможность получения аэрозолей, удовлетворяющих по дисперсности требованиям ветеринарно-профилактических целей при сочетании двух принципов распыления: центробежной силой; электрическим полем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коротких Г. И. Аэрозоли в растениеводстве. М., «Колос», 1967.
2. Ярных В. С. Аэрозоли в ветеринарии. М., «Колос», 1972.
3. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли-пыли, дымы и туманы. Л., «Химия», 1972.
4. Методические указания по применению аэрозолей вакцин для иммунизации птиц против псевдочумы. М., «Колос», 1973.

Благих В. Т.

ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Управление микроклиматом в сельскохозяйственных производственных зданиях оказывает воздействие на технологические процессы. В птицеводстве, растениеводстве закрытого грунта и животноводстве имеется экстремум функции, описывающей рентабельность автоматизации систем управления микроклиматом. Задача отыскания этого оптимума может быть решена на базе математической модели системы управления и данных зоогигиенистов и агрономов о влиянии микроклимата на выход готовой продукции. В этой задаче вопросы теории автоматического управления тесно переплетаются с вопросами биологии и экономики.

Для конкретных управляемых объектов возможно наметить каналы связи между входными и выходными воздействиями. Для каждого канала можно составить математическую модель, которая с той или иной достоверностью будет отражать свойства реального объекта. Из моделей каналов составляется модель системы, связи в которой зависят от принятого принципа управления, структуры объекта и закона управления (рис. 1).

Для САУ микроклиматом возможно применение трех принципов: управление по возмущению, по отклонению, комбинированный.

Управление по возмущению требует точного измерения всех возмущающих воздействий и выработки управляющего воздействия, полностью компенсирующего интегральное воздействие всех возмущений на управляемый объект. Достоинством является исключение запаздываний в САУ, связанных с объектом, недостатком — практическая трудность реализации требуемой функциональной зависимости между возмущением и управляющим воздействием.

Управление по отклонению требует измерения управляемой величины. При этом компенсируется влияние многих возмущающих воздействий без их непосредственного измерения, что является большим достоинством. Главная обратная связь САУ обладает запаздыванием и инерцией управляемого объекта в результате чего возникает противоречие между устойчивостью и точностью. Преодоление этого недостатка — сложная проблема.

Первый путь — создание управляемых объектов с наперед заданными амплитудно-частотными и фазочастотными характеристиками. Он может быть реализован уменьшением транспортных запаздываний. Для этого при водяном обогреве надо увеличивать скорость движения воды в трубах и нагревательных элементах до 3 м/с и выше, если позволяют акустические нормы, а также уменьшать объем и массу нагревательных элементов, заменяя чугунные радиаторы стальными проходными конвекторами «Комфорт». Этот путь позволил разрешить противоречия между устойчивостью и точностью для САУ микроклиматом в зданиях с водяным обогревом [1, 2]. Дальнейшее уменьшение транспортного запаздывания возможно за счет перехода на электрический обогрев.

Второй путь — статистический метод управления распределенными параметрами микроклимата. Распределение любого параметра микроклимата в любой точке здания и во времени можно представить случайным параметрическим полем. Размещение датчиков в ограниченном числе характерных точек поля позволяет избавиться от случайных помех. Для выработки управляющего воздействия может использоваться сумма положительных и отрицательных разностей между предписанным и фактическим значением параметров во всех точках поля, где установлены датчики. Такой алгоритм центрирует процесс. Статистический метод построения САУ температурным полем применен для жилых зданий с водяными нагревательными элементами.

Сумма положительных разностей между предписанным и фактическим значением управляемой величины может быть получена включением между датчиками и управляющим блоком логического устройства, исключающего сигналы от датчиков, дающих в данный момент времени отрицательные разности. Аналогично может быть построена САУ, реагирующая на сумму отрицательных разностей.

Существует тесная связь между отклонениями управляемого параметра от предписанного режима и рентабельностью производства. Например, в помещениях для молодняка птицы простудные заболевания наносят больший ущерб, чем повышенный расход топлива. Для таких помещений САУ должна функционировать по сумме отрицательных разностей. При содержании крупного рогатого скота в районах с дешевым кормом и дорогим топливом в некоторых случаях рентабельнее будет управление по сумме положительных разностей. Выбор варианта должен осуществляться по зоогигиеническим ограничениям. Из допущенных по физиологическим критериям вариантов лучший выбирается минимизацией приведенных затрат.

Третий путь — создание помещений со стабильными параметрическими полями. Стабильные параметрические поля легче всего создавать и поддерживать в широкогабаритных зданиях размерами 180 × 180 м в плане. Этому соответствуют молочные

комплексы на 1200 коров под одной крышей, или птицефабрики на 200 тысяч кур-несушек. Задача получения стабильного параметрического поля с одинаковыми во всех точках по двум координатам пространства параметрами технически осуществима [4, 6, 7]. Инвариантность режима в камере статического давления и в рабочей зоне позволяет ограничиться стабилизацией параметров в одной точке. Такой точкой может быть приточный центр. Замена управления по отклонению параметров в рабочей зоне управлением по отклонению параметра в камере статического давления исключает из функциональной структуры САУ несколько инерционных звеньев и звеньев транспортного запаздывания. По-видимому, этот путь очень перспективный для повышения точности при заданной устойчивости.

Комбинированное управление позволяет повысить быстродействие и точность САУ без ухудшения устойчивости. Недостаток принципа — увеличение количества датчиков, усложнение аппаратуры. Возможно создать САУ с датчиком в масштабной, физической или комбинированной модели. В сельскохозяйственных зданиях этот способ пока не применяется в связи с затруднениями в создании адекватной модели.

Выбор закона управления может быть произведен путем синтеза на математической модели с помощью цифровых вычислительных машин. Интегральный и двухпозиционный закон вызывают ускоренный износ управляющих органов исполнительных механизмов и приводят к недопустимым колебаниям управляемого параметра. Пропорциональный и пропорционально-интегральный законы наиболее приемлемы для сельскохозяйственных управляемых объектов.

Анализ и синтез САУ микроклиматом с пропорциональным законом управления с наименьшей затратой труда и времени осуществляется частотными методами. Устойчивость системы проверяется по критерию Найквиста. Автором разработана программа для вычисления координат АЧХ и ФЧХ и вывода их с помощью алфавитно-цифрового печатающего устройства АЦПУ-128 в виде диаграмм Боде. Размыкание цепи главной обратной связи в функциональной структуре следует производить между датчиками температуры и элементом сравнения.

Особое внимание было уделено созданию унифицированной модели объекта. При этом каждый канал передачи воздействий моделируется четырьмя элементарными звеньями: безинерционным звеном, инерционными звеньями с большей и с меньшей постоянными времени, звеном транспортного запаздывания. Приравнивая нулю постоянные времени в инерционных звеньях и звене транспортного запаздывания, можно исключать их из модели канала передачи воздействия. Приравнивая нулю крутизну статической характеристики безинерционного звена, можно исключать канал из модели САУ.

Требуется доказательства структура модели объекта. Реальные

объекты состоят из строительных конструкций здания, инженерного оборудования, животных и воздуха в объеме помещения. Распределенность в пространстве емкостей, в которых может аккумулироваться вещество и энергия, сильно усложняет математическое описание таких объектов. Динамическое состояние таких объектов с распределенными параметрами, меняющейся крутизной статической характеристики, работающих в широком диапазоне изменения эксплуатационных режимов может быть описано нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_{ij}T_1 + \sum_{k=1}^{l-1} a_{ik} + \sum_{k=1}^n B_{ik} \frac{\partial T_1}{\partial x_k} + \sum_{k,m=1}^n c_{im} \frac{\partial^2 T_1}{\partial x_k^2} + d_1 T_1^4 + k_1 d_1, \quad (1)$$

где t — время;

x — пространственная координата;

n — количество координат;

a_{ij} , a_{ik} , B_{ik} , c_{im} , d_1 , k_1 — коэффициенты, характеризующие динамические свойства объекта.

Выполняя кусочно-линейную аппроксимацию, можно составить дифференциальное уравнение для наиболее неблагоприятного (с точки зрения устойчивости) участка характеристики. САУ, устойчивая в наиболее тяжелых условиях, будет заведомо устойчива во всех других режимах.

Предположение о линейности динамических свойств модели позволяет перейти от частных производных к обыкновенным:

$$a_n \frac{d^ny}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y = b_m \frac{d^mx(t-\tau)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1}x(t-\tau)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x(t-\tau), \quad (2)$$

где y — выходная координата объекта;

x — входная координата объекта;

τ — время запаздывания.

Получить полное совпадение результатов расчетов после замены частных производных возможно в том случае, если порядок уравнения в обычных производных будет стремиться к бесконечности.

ВЫВОДЫ

1. Для управления микроклиматом в животноводческих помещениях следует применять САУ, функционирующую по отклонению.

2. При конструировании молочных комплексов и птицефабрик в проектах необходимо предусматривать стабилизацию параметрических полей с помощью приточной вентиляции.

3. В САУ температурным режимом помещений целесообразно применять управляющие блоки с пропорционально-интегральным законом.

4. Проект САУ микроклиматом животноводческих комплексов можно синтезировать с помощью математической модели, а затем проверять на устойчивость и форму переходных процессов на ЭЦВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Благих В. Т.* Автоматическое регулирование отопления и вентиляции. Челябинск. Челябинское книжное издательство, 1964.

2. *Благих В. Т.* Пофасадное местное управление водяными системами теплоснабжения. Челябинск, ЧПИ, 1971.

3. *Благих В. Т.* Принципы автоматизации абонентских вводов.— В сб.: «Автоматизация отопительных котельных». Л., «Недра», 1971.

4. *Благих В. Т.* Организация воздухообмена в зданиях и сооружениях при утилизации тепловой энергии из удаляемого воздуха.— В сб.: «Тепловые установки, теплоснабжение и вентиляция животноводческих помещений», вып. 84, Челябинск, ЧИМЭСХ, 1973.

Бродский Л. Л.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В КАРТОФЕЛЕ- И ОВОЩЕХРАНИЛИЩАХ С АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

В картофеле- и овощехранилищах с активной вентиляцией, строящихся в сельской местности, основными устройствами, обеспечивающими поддержание температурного режима, являются приточная вентиляционная камера, состоящая из приточного вентилятора и смесительного устройства, позволяющего подавать в массу хранимого продукта смесь наружного и рециркуляционного воздуха, и рециркуляционно-отопительные агрегаты верхней зоны хранилища.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта хранения картофеля и овощей сформулированы следующие основные требования к системам автоматического регулирования температурных параметров картофеле- и овощехранилищ:

1. САР должна обеспечивать работу исполнительных органов хранилища в течение четырех периодов хранения: лечебного, охлаждающего, зимнего и весенне-летнего хранения.

2. Вентиляционное оборудование хранилища должно включаться по программе 4—6 раз в сутки на 15—30 мин. во всех периодах хранения.

3. САР должна обеспечивать поддержание заданной температуры в трех зонах хранилища: в массе хранимого продукта, в воздуховоде перед подачей в насыпь и в верхней зоне.

4. Температура приточного воздуха, подаваемого в массу продукта, должна быть для картофеля $+1^{\circ}\text{C}$, для моркови -1°C , для капусты -2°C .

5. Точность регулирования температурных параметров в хранилище не должна быть хуже $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

6. САР должна обеспечивать защиту продукта от переохлаждения.

Хранилище как объект регулирования можно условно разделить на зону хранимого продукта, верхнюю зону хранилища и приточную вентиляционную камеру.

Исследования, проведенные Ю. П. Кулугиной в ТСХА и В. И. Коноваловым в ВИСХОМе, показали, что масса картофеля обладает тепловой инерцией и как объект регулирования описывается в первом приближении дифференциальным уравнением второго порядка.

Как объект регулирования нами исследовалась масса моркови и капусты. Для определения передаточной функции использованы теоретический и экспериментальный методы исследования. Передаточная функция массы продукта определялась для периода хранения при подаче в нее приточного воздуха с постоянной температурой. Анализ полученных временных характеристик показал, что масса капусты имеет большую тепловую инерцию, чем морковь. Вследствие этого частота включения САР при регулировании температуры массы моркови увеличивается. Поэтому нами в дальнейшем рассмотрена САР температуры массы моркови. Эксперименты проводились в овощехранилище емкостью 400 т. Орловского Горплодоовощторга на закроме моркови ем-

Таблица 1

	$\frac{M^3}{T \cdot C}$	$1,39 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$4,65 \times 10^{-2}$	$5,56 \times 10^{-2}$
T_2	C^2	0	$6,35 \times 10^7$ (6,35)	$5,17 \times 10^7$	$4,8 \times 10^7$
T_1	C	$2,412 \times 10^4$	$3,135 \times 10^4$	$2,16 \times 10^4$	$1,44 \times 10^4$
K	$\frac{T \cdot C^{\circ}C}{M^3}$	108	54	32,4	27

костью 16 т. При этом исследовалась реакция массы моркови на скачкообразное возмущающее воздействие в виде резкого увеличения количества охлаждающего воздуха.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили получить усредненные временные характеристики массы моркови как объекта регулирования.

Передаточные функции массы моркови при охлаждении, полученные обработкой временных характеристик, имеют вид:

$$K_{(p)} = \frac{K}{T_2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (1)$$

Значения коэффициентов для различных расходов $\alpha_{\text{вд}}$ даны в табл. 1.

Анализ временных характеристик охлаждения и полученных передаточных функций показывает, что масса моркови является объектом регулирования с самовывравниванием и большой тепловой инерцией. Передаточная функция массы хранимого продукта при самосогревании (при повышении температуры массы на $1^{\circ}C$) имеет вид:

$$K_{(p)} = \frac{K_M}{p}, \quad (2)$$

где $K_M = 0,0143^{\circ}C/4$.

Учитывая большую инерционность объекта регулирования для САР температуры массы продукта хранилищ, имеющих од-

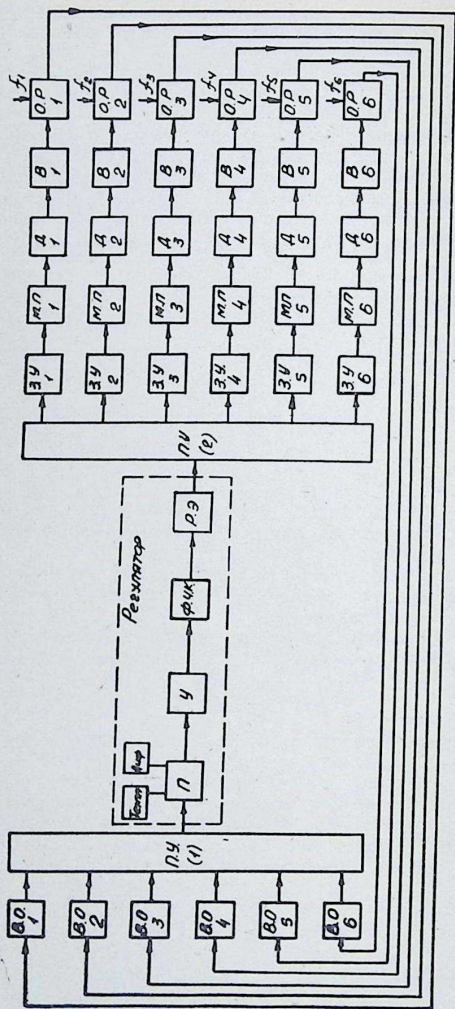


Рис. 1. Функциональная схема САР температуры массы хранимого продукта;

$\mathcal{В.О.}$ - 1 ÷ 6 - воспринимающий орган терморегулятора; $\mathcal{П.У.}$ (1, 2) - переключающее устройство, $\mathcal{П.}$ - мостиковый преобразователь; $\mathcal{У.}$ - подпружинивающий усилитель; $\mathcal{Ф.У.}$ - фазоуставительный каскад усилителя; $\mathcal{З.У.}$ - 1 ÷ 6 - запоминающие устройства; $\mathcal{М.П.}$ - 1 ÷ 6 - магнитные пускатели; $\mathcal{Д.}$ - 1 ÷ 6 - электродвигатели; $\mathcal{В.}$ - 1 ÷ 6 - вентилаторы; $\mathcal{О.}$ - 1 ÷ 6 - объект регулирования

ну-две вентиляционные камеры, выбран двухпозиционный регулятор, а для многокамерных хранилищ — двухпозиционный многоканальный регулятор с переключающим и запоминающим устройствами. Функциональная схема САР массы хранимого продукта для хранилища с 6-ю вентиляционными камерами приведена на рис. 1. Переключающее устройство подключает к одному терморегулятору несколько датчиков температуры, установленных в насыпи. Структурная схема одного канала САР, передаточные функции линейных элементов и статические характеристики нелинейных звеньев приведены на рис. 2. Из структурной

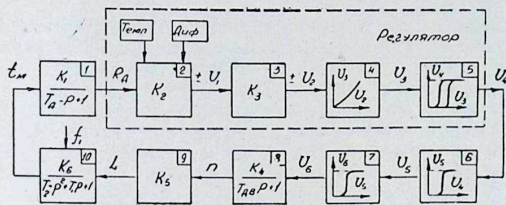


Рис. 2. Структурная схема САР температуры массы хранимого продукта для одного канала регулирования:

1 — воспринимающий орган регулятора, 2 — мостиковый преобразователь, 3 — усилитель напряжения, 4 — фазочувствительный каскад, 5 — релейный элемент; 6 — запоминающее устройство, 7 — магнитный пускатель, 8 — двигатель вентилятора, 9 — объект регулирования, 10 — объект регулирования

$$T_d = 691 \text{ с}, T_{дв} = 2 \text{ с}, K_1 = -50,1 \text{ Ом/С}, K_4 = 7,5 \text{ об/мин. В}, K_5 = 0,029 \text{ м}^3 \cdot \text{мин/т.ч. об.}$$

схемы видно, что САР температуры массы продукта нелинейна. Учитывая, что постоянные времени датчика (T_d) и электродвигателя вентилятора на порядок меньше постоянных времени, входящие в уравнение объекта регулирования, нами при исследовании качества регулирования САР был использован графический метод.

Исследования САР температуры массы продукта показали, что амплитуда колебания температуры массы хранимого продукта не превышает допустимой, а период колебания находится в пределах 74—79 часов в зависимости от количества воздуха, подаваемого в насыпь, для удаления влаговыведений из массы продукта и выравнивания температурного градиента по высоте насыпи в САР температуры массы применен программно-двухпозиционный регулятор, включающий приточный вентилятор по программе 4—6 раз в сутки на $15 \div 30 \text{ мин.}$ Если температура массы хранимого продукта выше заданной при включении, то вступает в действие двухпозиционный регулятор и приточный вентилятор работает до тех пор, пока температура насыпи не будет снижена до оптимальной.

Исследования качества регулирования системы показали, что амплитуда колебания температуры массы продукта при использовании программно-двухпозиционного регулятора резко уменьшается. На рис. 3 приведены теоретические графики программного регулирования температуры моркови, построенные графическим способом. Передаточная функция приточной вентиляционной камеры определена экспериментальным путем и имеет вид

$$K_{(p)} = \frac{K_0}{T_{0p} + 1}, \quad (3)$$

где $T_0 = 3,5$; $K_0 = 3,07^\circ \text{C с/кг}$,

Для автоматического регулирования температуры приточного воздуха нами выбран и исследован пропорциональный терморегулятор (ПТР-П) в хранилищах с небольшим количеством вентиляционных камер с одноканальным принципом работы, а для многокамерных хранилищ с многоканальным принципом. Функциональная схема САР многоканальной температуры приточного воздуха аналогична схеме, изображенной на рис. 1. Время переключения регулятора от одного объекта регулирования к другому (τ_1) выбрано из условия

$$\tau_1 \geq \tau_p, \quad (4)$$

где τ_p — время регулирования температуры приточного воздуха, Структурная схема одного канала САР температуры приточного воздуха, передаточные функции линейных элементов и статические характеристики нелинейных звеньев приведены на рис. 4. Данная система содержит существенно нелинейные звенья. Исследование устойчивости и качества регулирования проведено на аналоговой машине МН-7.

Исследование устойчивости САР проводилось для следующих параметров системы:

зоны пропорциональности $2,25^\circ \text{C}$; $1,12^\circ \text{C}$; $0,56^\circ \text{C}$.

постоянных времени датчика терморегулятора $15 \div 60 \text{ с}$.

наружная температура от -1 до 40°C .

При исследовании системы рассматривалось два случая возмущающего воздействия:

1) скачкообразное возмущающее воздействие на смешительную камеру по температуре наружного воздуха (возмущение по $t_{\text{нар}}$);

2) скачкообразное возмущение на смешительную камеру по температуре рециркуляционного воздуха (возмущение по настройке).

Исследования показали, что САР имеет затухающий переходный процесс при следующих параметрах:

зона пропорциональности $2,25^\circ \text{C}$;

постоянная времени датчика терморегулятора $33-60 \text{ с}$;

наружная температура от -1 до 40°C .

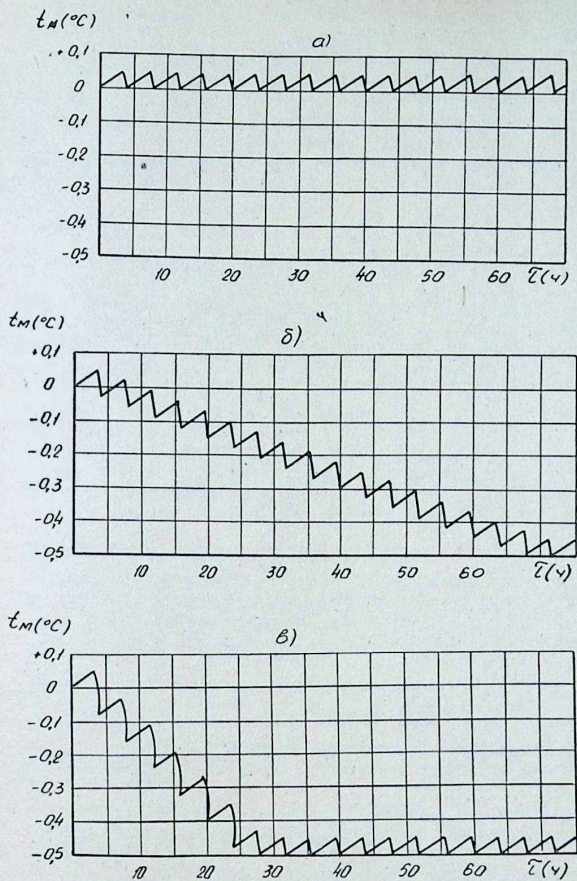
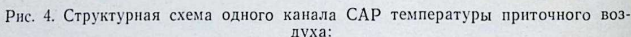


Рис. 3. Теоретические графики программного двухпозиционного регулирования температуры массы хранимого продукта:

а) при $\alpha_{уд} = 100 \text{ м}^3/\text{т.ч.}$ б) при $\alpha_{уд} = 50 \text{ м}^3/\text{т.ч.}$ в) при $\alpha_{уд} = 200 \text{ м}^3/\text{т.ч.}$

время регулирования находится в пределах $50 \div 60$ с.

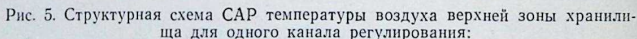
Для определения уравнений динамики верхней зоны как объекта регулирования рассмотрен нестационарный процесс изме-



1 — воспринимающий орган регулятора, 2 — мостиковый преобразователь, 3 — усилитель напряжения, 4 — фазочувствительный каскад, 5 — релейный элемент регулятора, 6 — исполнительный механизм, 7 — обратная связь, 8 — регулирующий орган, 9 — смешительная камера, 10 — объект регулирования

$$K_1 = -62,5 \text{ Ом/}^{\circ}\text{C} \quad K_4 = 0,23 \cdot 10^{23} \text{ рад/сВ} \quad K_0 = 3,07^{\circ}\text{C} \cdot \text{с/кг}$$

$$T_1 = 15-60 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_0 = 3,5 \text{ с}$$



1 — воспринимающий орган регулятора, 2 — мостиковый преобразователь, 3 — усилитель напряжения, 4 — фазочувствительный каскад, 5 — релейный элемент, 6 — запоминающее устройство, 7 — магнитный пускатель, 8 — электрокалорифер, 9 — объект регулирования

Для нагрева воздуха — $T_{\text{дн}} = 125 \div 80 \text{ с}$, $K_1 = -50,1 \text{ Ом/}^\circ\text{C}$
 Для охлаждения воздуха — $T_{\text{но}} = 450 \div 300 \text{ с}$

нения температуры воздуха в верхней зоне при включении и отключении рециркуляционно-отопительных агрегатов. Уравнения динамики верхней зоны позволили получить временные характеристики верхней зоны хранилищ. Экспериментальные исследования, проведенные в картофелехранилище емкостью 1000 т ЦМИС (г. Солнечногорск), показали удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных временных характеристик.

Передаточная функция верхней зоны при включении калориферов имеет вид

$$K(p) = \frac{K_1}{T_{1p} + 1} + \frac{K_2}{T_{2p} + 1} + \frac{K_3}{T_{3p} + 1}, \quad (5)$$

где $K_1 = 0,29^\circ \text{ С/кВт}$; $K_2 = 0,32^\circ \text{ С/кВт}$; $K_3 = 0,39^\circ \text{ С/кВт}$;
 $T_1 = 2,3 \text{ ч}$; $T_2 = 0,162 \text{ ч}$; $T_3 = 0,00425 \text{ ч}$.

Использование полученных уравнений динамики верхней зоны при определении временных характеристик показало, что установленная мощность рециркуляционно-отопительных агрегатов, предусмотренных проектом, может быть снижена на 26%.

Из уравнения (5) следует, что регулирование температуры верхней зоны хранилища можно осуществить двухпозиционным терморегулятором, а в многокамерном хранилище многоканальной системой регулирования. В САР температуры верхней зоны многокамерного хранилища применен тот же терморегулятор с переключающим устройством, что и для регулирования температуры массы хранимого продукта (функциональная схема САР аналогична рис. 1).

Структурная схема САР температуры воздуха верхней зоны для одного канала регулирования приведена на рис. 5. Исследования переходных процессов в САР температуры воздуха верхней зоны, проведенные на аналоговой машине, для хранилища емкостью 1000 т ЦМИС выявили, что погрешность регулирования температуры не превышает $0,3^\circ \text{ С}$.

Разработанные САР полностью исключают ручной труд при обслуживании инженерного оборудования хранилищ. Они состоят из шкафов автоматики типа ШАУ-АВ и ШАХ-1: исполнительных органов, включающих приточные вентиляционные камеры; рециркуляционно-отопительные агрегаты и объекты регулирования.

Экспериментальная проверка САР показала что среднеквадратичная погрешность САР температуры массы продукта не превышает $0,2^\circ \text{ С}$, а точность регулирования находится в пределах $\pm 0,5^\circ \text{ С}$; САР температуры приточного воздуха со статическим регулятором при выбранных параметрах настройки имеет затухающий переходный процесс, а точность регулирования находится в пределах $\pm 0,75^\circ \text{ С}$. САР температуры воздуха верхней зоны хранилища позволяет поддерживать регулируемый параметр с точностью $\pm 0,5^\circ \text{ С}$, относительная влажность воздуха в верхней

зоне поддерживается за счет работы электрокалориферов в пределах $78 \div 85\%$.

Оценка надежности разработанных САР производилась по интенсивности потока отказов ε_τ , времени наработки на отказ τ_H и вероятности безотказной работы P_τ для режима работы системы в течение периода хранения (5100 часов). Для определе-

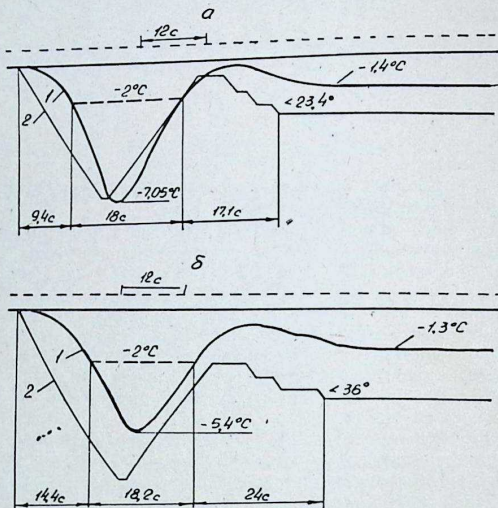


Рис. 6. Осциллограммы переходных процессов в САР температуры приточного воздуха при возмещении по настройке:

а) для $T = 33^\circ\text{C}$, $t_{\text{нар.}} = -20^\circ\text{C}$, $t_{\text{пр.}} = 2.25^\circ\text{C}$; б) для $T = 33^\circ\text{C}$, $t_{\text{нар.}} = -10^\circ\text{C}$, $t_{\text{пр.}} = 2.25^\circ\text{C}$; 1 — температура приточного воздуха; 2 — положение регулирующего органа.

ния количественных показателей надежности принят экспоненциальный закон распределения вероятности безотказной работы. Разработанные САР имеют следующие показатели надежности: ШАХ-1 для хранилищ с 4-мя вентиляционными камерами

$$\varepsilon_\tau = 43,74 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

$$\tau_H = 23000 \text{ ч}$$

$$P_\tau = 0,8$$

ШАУ-АВ

$$\varepsilon_\tau = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

$$\tau_H = 38700 \text{ ч}$$

$$P_\tau = 0,87.$$

Полученные данные показывают, что разработанные системы соответствуют современным требованиям к уровню надежности. Экономическая эффективность применения разработанных САР при сравнении с ручным управлением системами активной вентиляции составляет 700 руб. на один комплект ШАУ-АВ и 2100—4200 руб. для ШАХ-1 на одно хранилище, имеющее 3—6 вентиляционных камер. Расчеты показали, что средства, затраченные на автоматизацию, окупаются менее чем за один сезон.

ВЫВОДЫ

1. Исследованиями установлено, что хранилище как объект регулирования обладает большой тепловой инерцией, что позволяет при создании многоканальной САР использовать для регулирования температуры массы продукта двухпозиционный программный закон регулирования с переключающим устройством, а для верхней зоны — двухпозиционный закон регулирования.

2. Регулирование температуры приточного воздуха предложено осуществлять при помощи пропорционального терморегулятора и переключающего устройства для многоканальной системы и пропорционального регулирования — для одноканальной.

3. Установлено, что при постоянной времени датчика терморегулятора, равной 33—60 с, и времени опроса одной вентиляционной камеры 60 ± 10 с, точность регулирования температуры не выходит за пределы требуемой ($\pm 1^\circ\text{C}$), переходный процесс длится незначительное время (50 ± 70 с), САР работает устойчиво при температурах наружного воздуха от -1 до -40°C .

4. Двухпозиционное регулирование температуры верхней зоны хранилища обеспечивает точность поддержания температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

5. Разработанные и исследованные многоканальные САР типа ШАХ-1 и одноканальные САР типа ШАУ-АВ позволяют полностью автоматизировать управление технологическим процессом в хранилищах и обеспечить высокое качество хранимой продукции.

Новиков Ю. Н.

СНИЖЕНИЕ АМПЛИТУДЫ АУТОКОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Регулирование температуры в сельскохозяйственных объектах осуществляется, как правило, с помощью двухпозиционных терморегуляторов, имеющих дискретный характер работы. В совокупности с запаздыванием, присущим большинству сельскохозяйственных объектов, такой способ регулирования приводит к появлению автоколебаний регулируемой температуры даже при использовании двухпозиционных терморегуляторов с высокой чувствительностью (например ПТР-2). Как показал опыт эксплуатации двухпозиционных систем автоматического регулирования, диапазон колебания температуры зачастую превышает допустимые пределы, определяемые технологией производства.

Проведенный анализ САР с запаздыванием и дискретным характером работы позволил установить, что диапазон колебания температуры в инерционных объектах не зависит от температуры наружной среды Θ_0 и определяется в основном мощностью нагревательного устройства P , условиями теплопередачи kF и отношением $\frac{\tau}{T}$ (τ и T — соответственно запаздывание и постоянная времени объекта):

$$\Delta\Theta = \frac{P}{kF} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right). \quad (1)$$

При любой Θ_0 величина $\Delta\Theta$ будет одинаковой. Однако с повышением температуры Θ_0 происходит возрастание положительной $\Delta\Theta_v$ и уменьшение отрицательной $\Delta\Theta_n$ амплитуд колебания температуры. Среднее значение регулируемой температуры при этом будет возрастать.

На рис. 1 показаны зависимости изменения $\Delta\Theta_v$ и $\Delta\Theta_n$ от изменения Θ_0 при двухпозиционном терморегуляторе без зоны нечувствительности. Диапазон колебания температуры ограничивается линиями АВ и СД. Точка А определяет температуру Θ_0 мин, при которой установившееся значение температуры, создаваемое нагревательным устройством, равняется температуре установки терморегулятора Θ_y , а точка С — температуру наружной среды Θ_0 макс, равную Θ_y .

Угол наклона α линий АВ и СД характеризует степень возрастания $\Delta\theta_{\text{в}}$ и $\Delta\theta_{\text{н}}$ при возрастании θ_o :

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 - e^{-\frac{\tau}{T}}. \quad (2)$$

Диапазон колебания температуры в объекте можно снизить путем уменьшения либо $\Delta\theta_{\text{в}}$, либо $\Delta\theta_{\text{н}}$. Это возможно осуществить при использовании нагревательного устройства из нескольких секций, имеющих независимое друг от друга управление. Одна из секций должна управляться терморегулятором, реагирующим на температуру внутри объекта, а другие — тер-

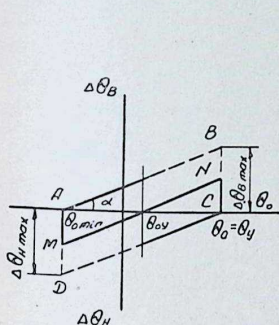


Рис. 1. Зависимости изменения $\Delta\theta_{\text{в}}$ $\Delta\theta_{\text{н}}$ от изменения температуры наружной среды

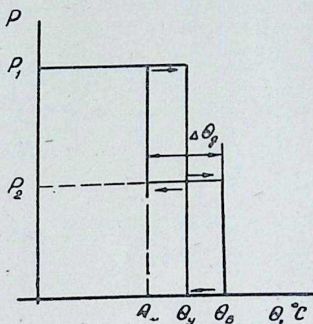


Рис. 2. Характеристика трехпозиционного терморегулятора совместно с коммутационной аппаратурой.

морегуляторами, реагирующими на температуру наружной среды. При таком методе регулирования нетрудно установить, что в случае двухсекционного нагревательного устройства с равными по мощности секциями диапазона колебания температуры уменьшается в два раза. При низких значениях температуры наружной среды (от θ_o мин до $\theta_{o,y}$) секция, управляемая терморегулятором, регулирующим на θ_o , будет постоянно включена, а при более высоких значениях θ_o (от $\theta_{o,y}$ до θ_y) — постоянно отключена. Таким образом, до $\theta_{o,y}$ будет снижена амплитуда колебаний температуры $\Delta\theta_{\text{н}}$, а затем также в два раза $\Delta\theta_{\text{в}}$. Диапазон колебания температуры при таком способе регулирования показан на рис. 1 сплошными линиями.

Значение уставки $\theta_{o,y}$ терморегулятора можно найти либо графически на пересечении диагоналей параллелограмма ABCD, либо по формуле

$$\theta_{o,y} = \frac{P}{2kF} + \theta_{o \text{ мин}}. \quad (3)$$

при n — секционном нагревательном устройстве $n - 1$ секций должны управляться терморегуляторами наружной среды (каждая секция своим терморегулятором) и лишь одна секция терморегулятором объекта. Диапазон колебания температуры при этом уменьшится в n раз.

Температура уставки соответствующего терморегулятора наружной среды находится по формуле

$$\Theta_{0,y}^{(m)} = m \frac{P}{n k F} + \Theta_0 \text{ мин}, \quad (4)$$

где m — порядковый номер секции нагревательного устройства. Заметим, что для большинства сельскохозяйственных объектов допустимый диапазон колебания температуры можно получить при двухсекционном нагревательном устройстве.

В настоящее время нашей промышленностью выпускаются трехпозиционные терморегуляторы типа ПТР-3, которые позволяют осуществить ступенчатое изменение мощности обогрева объекта. Трехпозиционные терморегуляторы имеют два выходных реле, одно из которых срабатывает при температуре $\Theta_n < (\Theta_y - \Theta_n < (\Theta_y - \frac{\Delta\Theta_n}{2})$ (реле «Ниже»); другое же — при температуре $\Theta_n > (\Theta_y + \Theta_n > (\Theta_y + \frac{\Delta\Theta_y}{2})$ (реле «Выше»). Дифференциал терморегулятора $\Delta\Theta_y = \Theta_n - \Theta_n$ у терморегулятора ПТР-3 можно изменять от 0 до 5°C. Характеристика терморегулятора совместно с коммутационной аппаратурой приведена на рис. 2.

Анализ переходного процесса изменения температуры в инерционных объектах с запаздыванием при использовании трехпозиционных регуляторов позволил установить, что в зависимости от значения Θ_0 возможно возникновение трех случаев, каждый из которых имеет свой диапазон колебания температуры.

В первом случае, возникающем при низких температурах $\Theta_0, \Delta\Theta_n < \frac{\Delta\Theta_y}{2}$ (при этом одна из секций нагревательного устройства будет постоянно включена) диапазон колебания температуры определяется по формуле

$$\Delta\Theta = \frac{P}{2kF} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right) + \frac{\Delta\Theta_n}{2} e^{-\frac{\tau}{T}}. \quad (5)$$

Второй случай возникает, когда $\Delta\Theta_n$ будет больше $\frac{\Delta\Theta_y}{2}$. Характерной его особенностью является отклонение в разные моменты времени обеих секций нагревательного устройства.

Третий случай ($\Delta\Theta_n > \frac{\Delta\Theta_y}{2}$ и $\Delta\Theta_n < \frac{\Delta\Theta_y}{2}$) аналогичен работе системы регулирования с уменьшенной в два раза мощно-

стью нагревательного устройства. Диапазон колебания температуры при этом также определяется по формуле (5). На рис. 3 показана зависимость диапазона колебания температуры в объекте от температуры Θ_0 при трехпозиционном терморегуляторе для системы регулирования, имеющей следующие данные:

$$P = 80 \text{ кВт}; \Theta_y = 15^\circ \text{ C}; \Delta\Theta_y = 3^\circ \text{ C}; T = 3000^\circ \text{ C}; \tau = 600 \text{ мин}$$

$$K = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{град}}; F = 500 \text{ м}^2.$$

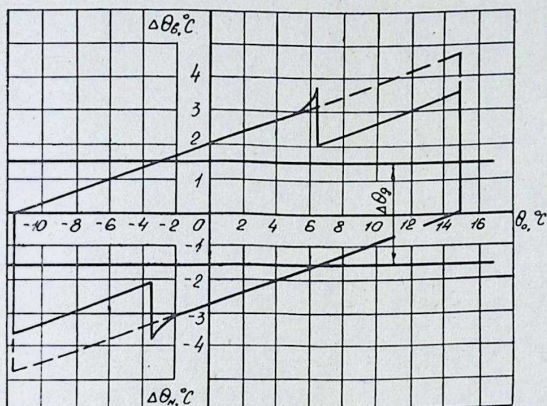


Рис. 3. Зависимость изменения диапазона колебания температуры от изменения температуры наружной среды при трехпозиционном терморегуляторе

Линии АВ и СД ограничивают диапазон колебания температуры при двухпозиционном регулировании с дифференциалом, равным нулю.

Из рис. 3 видно, что трехпозиционное регулирование с $\Delta\Theta_y = 3^\circ \text{ C}$ приводит к снижению диапазона колебания температуры лишь при температурах наружной среды от $-11,6^\circ \text{ C}$ до $-3,4^\circ \text{ C}$ и от $+6,8^\circ \text{ C}$ до $+15^\circ \text{ C}$. При других значениях Θ_0 диапазон колебания такой же, что и при двухпозиционном регулировании, а на участках от $-3,4^\circ \text{ C}$ до -2° C и от $+5,4^\circ \text{ C}$ до $6,8^\circ \text{ C}$ он даже выше на $0,4^\circ \text{ C}$. Уменьшение дифференциала температуры приведет к снижению диапазона колебания температуры на I-м и III-ем участках, но одновременно сузят данные участки. Повышение дифференциала расширит I-ый и III-ий участки, но увеличит диапазон колебания температуры в них. Кроме того, это приведет к возрастанию в начале и в

конце II-го участка превышения диапазона колебания температуры по сравнению с двухпозиционным регулированием.

Таким образом, использование трехпозиционных регуляторов не дает значительного снижения диапазона колебания температуры. Учитывая, однако, что при их применении появляется неодновременная коммутация секций нагревательного устройства, что, очевидно, скажется положительно на режиме напряжения в сети, следует отдать предпочтение трехпозиционным терморегуляторам.

*Байдюк П. В., Раджабов А. Р.,
Исмоилов Н.*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ ПЛОДОВ И ВИНОГРАДА

Использование сухофруктов в качестве сырья для отечественной и зарубежной пищевой промышленности, а также в виде продуктов питания населения ставит задачу перед совхозами и колхозами по повышению их производства. При этом важной задачей является повышение качества высушенных продуктов, снижение их себестоимости и др.

Наиболее качественная сушка протекает при минимальном воздействии ультрафиолетового излучения на фрукты и овощи. Это обстоятельство приводит к необходимости создания определенных условий для отбора влаги из них.

В нашем институте было разработано устройство, которое позволяет провести электромеханизацию процесса загрузки сырья и разгрузки готовой продукции с одновременным автоматизированным контролем за дозированием поступающего материала, фиксированием момента окончания процесса сушки, а также управлением электро-приводами устройства.

В установке (рис. 1) используется дозатор 1 марки ДЛ-4, у которого днище 2 из сетки, а на конце коромысла 3 нахо-

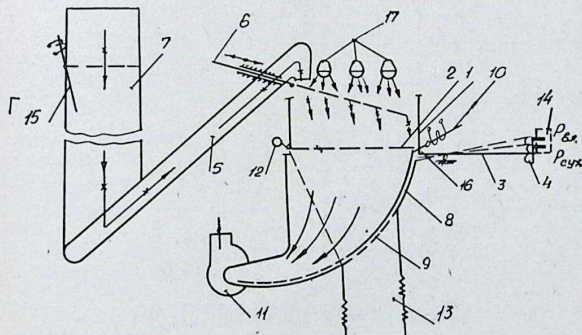


Рис. 1. Технологическая схема автоматизированной электротепловой установки для сушки плодов и винограда

дится удлиненный флажок 4. К дозатору примыкает наклонный транспортер 5 с подвижным лотком 6 и загрузочный бункер 7. Днище 2 имеет козырек 8, который перекрывает разгрузочный люк 9 при закрытом положении и открывает его при открытом днище. Днище удерживается двумя соленоидами 10. К нижней части дозатора 1 подводится всасывающий воздуховод от вентилятора 11. Возврат днища 2 производится под действием привода однооборотной муфты 12, которая ком-

Таблица 1

Показатели режимов работы сушильной установки в зависимости от вида плодов и винограда

Наименование продуктов	Относительная продолжительность рабочего периода, %			Число включений в час		
	транспорта загрузки	вентилятора	привода для возврата днища дозатора	инфра-красного излучателя	привода заслонки загрузочного бункера	привода заслонки днища дозатора
Виноград	0,01—0,014	0,15—0,24	0,01—0,014	2—5	0,35—0,6	0,35—0,6
Абрикосы	0,018—0,21	0,19—0,28	0,015—0,02	3—7	0,4—0,65	0,4—0,15
Яблони	0,03—0,04	0,21—0,31	0,018—0,021	4—7	0,43—0,6	0,43—0,6
Вишня	0,042—0,05	0,29—0,35	0,021—0,03	6—8	0,5—0,6	0,5—0,6

плектно поставляется с дозатором. Готовая продукция разгружается в мешок 13.

Для обеспечения непрерывности протекания технологического процесса устройство имеет различные виды токоприемников:

1. Электрические приводы для заслонки 15 в загрузочном бункере 7 (ЭМ1) *; наклонного транспортера 5 (1Л) *; возврата днища 2 в исходное положение с однооборотной муфтой 12 (2РП) *; к защелкам днища 16 (ЭМ2) *; вентилятора охлаждающего и отсасывающего влагу из продукта (ЭЛ) *.

2. Инфракрасные излучатели 17, производящие нагрев продукта (2Л) *.

Перечисленные выше токоприемники работают в опреде-

* Обозначение на рис. 2.

ленной последовательности, которая характеризуется соответствующей циклограммой.

Например, при сушке винограда черный кишмиш работа всех устройств определяется, исходя из данных (рис. 2).

Как видно из циклограммы все токоприемники имеют раз-

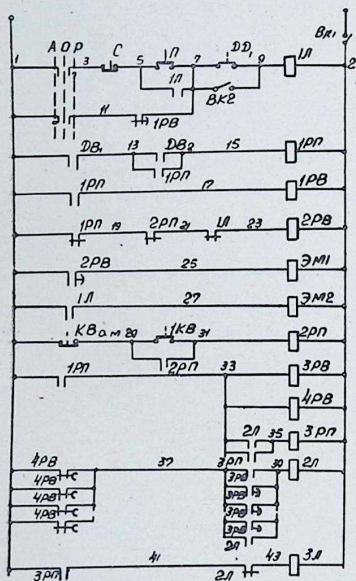


Рис. 3. Схема автоматизации управления работой электротепловой установки для сушки плодов и винограда.

менно перекрывает зазоры двух конечных выключателей, обеспечивая при этом включение ДВ1 (1—13) и ДВ2 (13—15). Это приводит к оживлению катушки реле 1РВ (15—2). При снижении веса за счет отбора влаги продукта сначала отключается контакт ДВ2 (13—15). Реле 1РП остается включенным. Когда флажок опустится ниже уровня $P_{\text{сух}}$, то размыкается контакт ДВ1 (1—13) и реле 1РП приводит в действие схему. Включаются соленоиды ЭМ-1-10 защелок днища через выдержку времени τ_2 (от реле 2РВ). Одновременно ведется счет времени τ_1 на включение контакта 1РВ (11—7).

Включение соленоидов 10 освобождает днище от поддер-

личные режимы работы, которые характеризуются относительной продолжительностью рабочего периода. По ряду видов плодов и сортов винограда этот показатель характеризуется данными, сведенными в табл. 1.

При автоматизации процесса в качестве датчиков используются весовые устройства (рис. 1). Особенность работы весового устройства заключается в том, что удлиненный флажок 4 может перекрывать два уровня датчика 14, при весе продукта $P_{\text{вп}}$ и $P_{\text{сух}}$ ($P_{\text{вп}}$ — вес исходного продукта и $P_{\text{сух}}$ — вес высушенного продукта). Датчик включает в себя два бесконтактных конечных выключателя типа БВК-24 (по схеме рис. 3 ДВ1 и ДВ2).

Сигнал в схему поступает только в том случае, когда флажок достигает уровня $P_{\text{вп}}$, т. е. одновре-

живающих защелок, и оно открывается. Высушенный продукт разгружается за время τ_4 через люк 9 в мешок 13. Днище в нижнем крайнем положении включает конечный выключатель 1КВ (29—31), и реле 2РП приводит в действие двигатель с однооборотной муфтой, который возвращает днище в исходное положение за время τ_3 и затем сам отключает себя вы-

Таблица 2

Наименование продукта	Производительность сушки, кг/сутки	Расход электрической энергии, кВт..ч/кг.в.л.	Продолжительность сушки при			Качественная оценка балл.балльная система	Влажность конечная
			солнечной	на сушлке СПК-90	на сушиллке ТИИИМСХ		
Виноград	300—350	1,0—1,2	12—18 дн.	12—14 ч.	6—7 ч.	$\frac{8,5}{10}$	18—19
Яблоки	600—660	0,8—1,0	10—14 дн.	8—9 ч.	4—5 ч.	$\frac{20,5}{25}$	18—20
Слива	550—600	0,8—1,1	10—14 дн.	23—25 ч.	7—8 ч.	$\frac{21,5}{25}$	18—20
Персики	800—860	0,6—0,7	8—12 дн.	14—16 ч.	6—7 ч.	$\frac{20,7}{25}$	18—19

ключателем муфты КВом (1—29). При этом соблюдается условие уставки указанных выше выдержек времени:

$$\tau_2 < \tau_1 \text{ и } 2\tau_2 + \tau_3 + \tau_4 < \tau_1 < \tau_2 + \tau_3 + \tau_4.$$

При этих условиях будет произведено включение транспортера 5 от привода 1Л, этим самым обеспечивается загрузка последующей порции продукта в дозатор 1. В бункере 7 имеется заслонка 15, которая открывается при включении транспортера через пускатель 1Л (1—27). Устройство имеет два режима работы, которые определяются положением ключа 1КУ. Управление работой излучателей и вентилятора осуществляется посредством двух командных электропневматических приборов типа КЭП-12У по наперед заданной программе для определенного вида продукта. Эти аппараты, включенные в общую схему управления обеспечивают поочередное действие излучателей и вентилятора в соответствии с циклограммой.

Все эти рекомендации были разработаны на основании предварительных экспериментальных исследований. Результаты их послужили основой для инженерных расчетов при проектировании и изготовлении стендовых установок, а также установления режимов работы всех токоприемников макета электротепловой сушиллки. Созданная по этим материалам стендо-

вая установка обеспечила производство сушеных фруктов и винограда при технико-экономических показателях, приведенных в табл. 2. Отсос воздуха производился вентилятором ВЦ-4 при скорости воздуха в камере 1,2 м/с и расходом 3,6 м³/с.

Анализ качественных данных показал, что они соответствуют нормативам, а оценка их несколько выше, чем при солнечной сушке или в машине СПК-90. При этом операции по бланшировке исключаются, так как процесс осуществляется за время, при котором не происходит распад сахара.

Опытная работа стендовой установки показала перспективность электрификации процесса, а также необходимость решения вопросов, связанных с созданием автоматизированного образца сушилки. Некоторые из них были решены при работе в сезон 1974 года и позволили установить параметры для разработки средств автоматизации, а также условия их работы.

В дальнейшем предполагается создать макет действующей установки и в период заготовки сухофруктов в 1975 году провести широкие производственные испытания, на основе которых будут даны практические рекомендации.

Царев А. С., Варнавских А. Б.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ОСВЕЩЕНИЯ

В основу световых режимов, используемых во многих хозяйствах страны, положены рекомендации ВАСХНИЛ, разработанные профессором Н. В. Пигаревым (ТСХА). Определяющее влияние на точность исполнения графика светового режима, а отсюда и на уровень продуктивности птицы оказывает субъективный фактор, так как продолжительность светового дня непрерывно меняется от 20—24 часов до 6—8 часов в сутки, причем разница в продолжительности светового дня составляет 1,5—5,0 мин в сутки. Естественно, что для управления световым режимом совершенно необходимы средства автоматизации.

Арзнинским заводом ТТК (Армянская ССР) серийно выпускается программное устройство УПУС-1 для задания многодневного графика светового режима в отдельном птичнике [3]. Такого типа устройства предназначены для использования на птицефермах колхозов и совхозов, а также в отдельных птичниках птицефабрик.

Обеспечение равномерного производства яиц в птицеводствах, на птицефабриках, а также на крупных птицефермах колхозов и совхозов достигается ритмичным комплектованием птичников ремонтными молодками. Причем одновременно заселяется разновозрастной птицей не один, а несколько птичников. Следовательно, режим освещения во всех этих птичниках будет одинаков, а поэтому для них целесообразно и экономически оправдано использование одного программного устройства типа УПУС-1 для выдачи графика светового режима. Тогда для каждой партии потребуется свое программное устройство с заложенным многодневным режимом освещения.

Наибольшую эффективность от световых режимов, с изменяющейся световой экспозицией, можно получить при содержании птицы в безоконных помещениях. В этих условиях начальная и конечная величина экспозиции и скорость изменения одинаковы и не будут зависеть от времени года и широты местности [1]. Такой повторяющийся световой режим для каждой новой партии ремонтных молодок позволяет центра-

лизовать управление освещением птичников. Одновременно возникает вопрос о необходимом количестве программных устройств. Произведенный расчет [2] и опыт эксплуатации на Боровской, Липецкой, Голицинской птицефабриках централи-

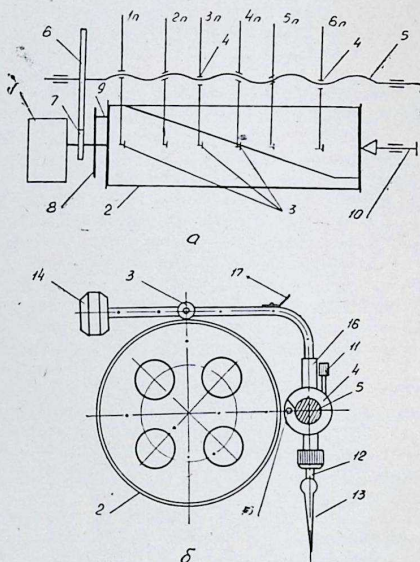


Рис. 1. а) Кинематическая схема программного устройства. б) Считывающее устройство:

1 — часовой механизм; 2 — программный барабан; 3 — контактный ролик; 4 — разъемная втулка; 5 — ходовой винт; 6, 7 — шестеренчатая пара; 8 — диск часового механизма; 9 — шпилька; 10 — подвижный центральный упор программного барабана; 11 — невыпадающий винт; 12 — подвижный штифт; 13 — стрелка-указатель; 14 — противовес; 15 — ось разъемной втулки; 16 — изоляционная вставка; 17 — лепесток

зованного программного управления показал, что их потребуется 5—6. Однако целесообразнее на базе УПУС-1 изготовить одно модернизированное программное устройство.

Кинематическая схема такого модернизированного программного устройства показана на рис. 1а. В отличие от УПУС-1 в данном имеется шесть независимых считывающих устройств, электрически изолированных друг от друга. Одно такое программное устройство автоматически выдает шесть программ световых режимов с многодневной переменной

экспозицией для кур-несушек товарного или репродукторного поголовья.

Составление программы, ее укрепление на программном барабане 2 (рис. 1а) производится так же, как и в УПУС. В сутки программный барабан, связанный через шпильку 9 с диском 8 часового механизма 1, сделает один оборот. Ходовой винт 5, расположенный параллельно оси барабана 2 и связанный с ним через шестеренчатую пару 6 и 7, повернется, а разъемные втулки со считывающими роликами 3 переместятся слева направо по ходовому винту. Каждый считывающий ролик 3 пересечет на программе кривую конца светового дня на несколько минут позже.

После окончания выдачи программы светового режима куры-несушки сдаются в цех переработки, а птичники заселяются молодками. Соответствующая разъемная втулка со считывающим контактным роликом снимается с правого конца ходового винта 5 (предварительно необходимо снять программный барабан 2).

В этом случае, отвернув невыпадающий винт 11 (рис. 1б), повернув относительно оси 15 верхнюю половину разъемной втулки, снимают считывающее устройство вместе с подвижным подпружиненным штифтом 12, стрелкой-указателем 13, изоляционной вставкой 16, контактным роликом 3 и противовесом 14. После этой операции считывающее устройство с контактным роликом устанавливают на начало программы светового режима для данной группы кур-несушек. Необходимо отметить, что каждому считывающему устройству присвоен строго определенный номер.

На правом конце ходового винта 5 (рис. 1а) одновременно могут разместиться два считывающих устройства, что вполне достаточно с учетом корректировки во время смены птицы. В этом положении считывающее устройство переходит на поле программы, где вычитываемая экспозиция остается постоянной. Наличие на правом конце ходового винта более одного считывающего устройства позволяет оперативно использовать фактически освободившиеся считывающие устройства, переключив соответствующие птичники, достигшие постоянной световой экспозиции, на управление, например от контактного ролика, достигшего последним постоянной экспозиции. Таким образом, получаем дополнительную возможность использовать освободившееся считывающее устройство для новой группы кур-несушек или резервировать.

Все сигналы-команды, вырабатываемые всеми считывающими устройствами, необходимо передать в соответствующие птичники по линиям связи. Таких линий желательно иметь как можно меньше. Кодирова вырабатываемые сигналы в программном устройстве на промышленной частоте, оказывается возможным в п птичников передать их по трем линиям

(рис. 2). Электрическая схема программного устройства смонтирована в корпусе от УПУС-1, в котором имеется блокировочная кнопка БК, обесточивающая все узлы в момент открытия дверки корпуса (рис. 3). Если дверка закрыта, а вы-

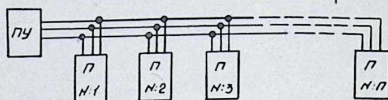


Рис. 2. Блок-схема:

ПУ — программное устройство, П№1, ... П№ — птички

ключатель ВК находится в положении «Вкл» (как указано на схеме), то при исправных предохранителях 7 и 8 горящая неоновая лампочка Л сигнализирует о наличии питающего напряжения сети.

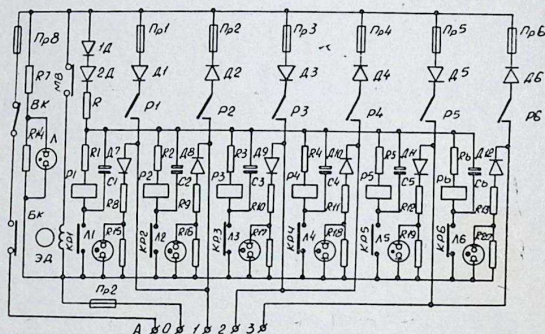


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема программного устройства:

БК — блокировочная кнопка МП2101; ВК — тумблер ТВ-1-2; ПЭ-21 или МКУ-48, 380В; Пр7 — Пр8 — предохранитель 5А; Д1 — Д6 — диод полупроводниковый Д226 или МД226Б; R7 — R13 — резистор МЛТ-1, 100 кОм; R14 — R20 — резистор МЛТ-1, 51 кОм; ЭД — электродвигатель, МВ — микровыключатель, C1 — C6 — электролитический конденсатор К50-3 — (150 + 30) × 350; Пр1 — Пр6 — предохранитель 0,25А; R — резистор ПЭВР-25-200 Ом; R1 — R6 — резистор МЛТ12,3 кОм

Схемы всех шести считывающих устройств выполнены идентично, а работа их аналогична. В тот момент, когда контактный ролик, например КР1, попадает на металлическую поверхность барабана, реле 1 окажется под напряжением и замкнет свой контакт. На клемму 1 и через предохранитель 1 и диод 1 подан положительный полупериод питающего напряжения. При переходе контактного ролика второго считывающего

устройства КР2 на металлическую поверхность программного барабана сработает реле 2. Через предохранитель 2, диод 2 и контакт реле 2 на ту же клемму 1 будет подан отрицательный полупериод. Следовательно, разделение управляющих сигналов с помощью диодов производится по полярному признаку. Помехоустойчивость полярных признаков достаточно высока. Такая шифрация позволяет по одной линии передать два сигнала.

Работа считывающих устройств 3 и 4, 5 и 6 аналогична 1 и 2, но только сдвинута во времени, а выходы сделаны соответственно на клеммы 2 и 3. О работе считывающих устройств информируют соответственно горящие неоновые лампочки 1, 2... 6.

Для предотвращения искрения между контактным роликом и металлической поверхностью программного барабана для каждого считывающего устройства смонтирована цепочка задержки, состоящая, например, для устройства 3 из электролитического конденсатора С3, обмотки реле Р3 и резистора R3. Аналогично можно проследить для считывающих устройств 1, 2... 6. При работе шести считывающих устройств все шесть команд поступают в каждый птичник. Нам нужно выдавать строго определенный режим для конкретного птичника. С этой целью в исполнительном щитке каждого птичника стоит приемный блок с дешифратором на полупроводниковых диодах, исполнительным реле Р и двухплатным галетным переключателем П (рис. 4). Предположим, что в данном птичнике поддерживается режим освещения, вычитываемый четвертым считывающим устройством. Для этого ручку-указатель галетного переключателя достаточно поставить в положение 4 п. По второму каналу связи в реле Р поступит сигнал отрицательного полупериода. Реле включится, замкнув в свой контакт и тем самым пошлет команду магнитным пускателям или устройствам для имитации рассвета и сумерек на включение электрического освещения птичника. При размыкании контакта КР4 реле Р4 обесточится и вернется в исходное положение. Следовательно, в исполнительный щиток команда поступать не будет. Реле Р также вернется в нормальное состояние, пошав команду на отключение освещения в птичнике. О работе исполнительного щитка сигнализирует горящая неоновая лампочка.

Исполнительный щиток кроме автоматического управления имеет ручное, которое используется при загрузке и выгрузке птицы, а также в период санитарных и аварийных работ. Чтобы перевести щиток на ручное управление достаточно выключатель В поставить в положение «Ручное» и с помощью кнопок «пуск» и «стоп» включать и отключать электрическое освещение птичника.

Наличие диодов 7, 8, 9 позволяет контактам реле Р нахо-

даться в замкнутом состоянии при автоматическом или ручном управлении в моменты времени, когда диоды 1—6, 10 не пропускают полупериод питающего напряжения обратной полярности. В этом случае по диоду 7 или 8, или 9 протекает индуктивный ток, удерживая якорь реле в рабочем положении.

Работа приемных блоков во всех остальных птичниках аналогична рассмотренному, но только галетный переключатель будет установлен на одну из шести «вычитываемых» про-

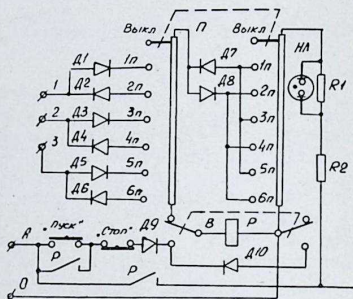


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема приемного блока исполнительного щитка:

П — переключатель галетный ПЛК 11П2Н; НЛ — неоновая лампочка ТН-0,2; Р — реле промежуточное ПЭ-21 или МКУ-48, 110В; Д1-Д10 — диод полупроводниковый Д226 или МД226Б; R1 — резистор МЛТ-1, 51 кОм; R2 — резистор МЛТ-1, 100 кОм; В — тумблер ТВ-1-2; «пуск» — «стоп» — кнопочная станция на базе двух кнопок типа КМ-1-1

грамм. Экономические затраты на такую систему значительно меньше, чем при оснащении каждого птичника УПУС-1.

В каждом конкретном случае сумму S сэкономленных средств можем подсчитать:

$$S = (n - 1)с - (\sum k_i c_i + n \sum m_j c_j), \quad (1)$$

где n — число птичников;

$с$ — стоимость УПУС-1;

k_i — количество комплектующих элементов i -го типа, используемых в программном устройстве;

c_i — стоимость i -го элемента;

k_j — количество комплектующих элементов j -го типа, используемых в приемном блоке;

c_j — стоимость j -го элемента.

Расчет по формуле (1) показывает, что перевод управления освещением на такую систему, например, десяти птичников

позволяет сэкономить 2 700—2 800 руб. при стоимости устройства УПУС-1 порядка 360 руб.

Описанная система для управления режимом освещения была проверена в научной лаборатории кафедры физики Таганрогского государственного педагогического института и в производственных условиях птицесовхоза «Петровский» Ростовской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пигарев Н. В.* Клеточное содержание птицы. М., «Колос», 1968.
2. *Варнавских А. Б., Царев А. С.* К вопросу о центральном программном управлении электрическим освещением в птичниках птицефабрик.— Ученые записки кафедр физики Тюменского пединститута. Сб. 44, вып. 2, 1969.
3. *Варнавских А. Б., Царев А. С., Курзаев И. И.* Программное устройство для задания графика светового режима в птичнике.— Авторское свидетельство № 184 056. Бюллетень изобретений № 14, 1966 г.

Данилов В. Н.

ТИРИСТОРНЫЙ ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРОТОЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

Нагрев воды с помощью электричества широко применяется в сельском хозяйстве. Больших количеств горячей воды требуют животноводство, подсобные предприятия, мастерские и другие объекты. При этом может изменяться в широких пределах как количество потребной воды, так и заданное значение ее температуры [1, 2].

В настоящее время для нагрева воды промышленность выпускает коаксиальные проточные водонагреватели. Например, в Харьковском институте механизации и электрификации сельского хозяйства разработан автоматический проточный электродный водонагреватель, регулирование температуры в котором осуществляется с помощью гофрированной камеры, заполненной жидкостью с низкой температурой кипения ($70 \div 85^\circ \text{C}$) и магнитного пускателя, втягивающая катушка которого включена последовательно с конечным выключателем. Конечный выключатель управляется стержнем терморегулятора. Для хранения и накопления горячей воды служит бак — термос [3].

Известные автоматические устройства проточных водонагревателей, использующие контактную аппаратуру управления мощностью, часто выходят из строя вследствие тяжелых условий работы (агрессивная среда, большая частота включений в час). Это в значительной мере уменьшает возможность применения электродных водонагревателей, хотя последние имеют весьма высокий коэффициент полезного действия. Кроме того, имеются значительные отклонения температуры воды от заданного значения, что приводит к необходимости применения громоздких аккумулярующих баков — термосов.

Таким образом, повышение надежности работы коммутирующей аппаратуры электродного проточного водонагревателя, уменьшение его габаритов и увеличение степени стабилизации температуры воды на выходе последнего является актуальной проблемой. Решение достигается путем введения в схему силовых тиристоров (рис. 1). Сигнал на их управляющие электроды подается со вторичных обмоток трансформатора ТР-3 оконечного каскада транзисторного усилителя, включенного в обратную связь по температуре. Применение в регуляторе

блокинг-генератора значительно повышает его чувствительность, а осуществление коммутации силовых цепей водонагревателя с помощью практически безынерционных тириستоров позволяет отказаться от установки аккумулирующего бака — термоса. Измерение температуры осуществляется с помощью терморезистора R_1 , включенного в одно из плеч измерительного моста. Для питания последнего и транзисторного усилителя схема содержит си-

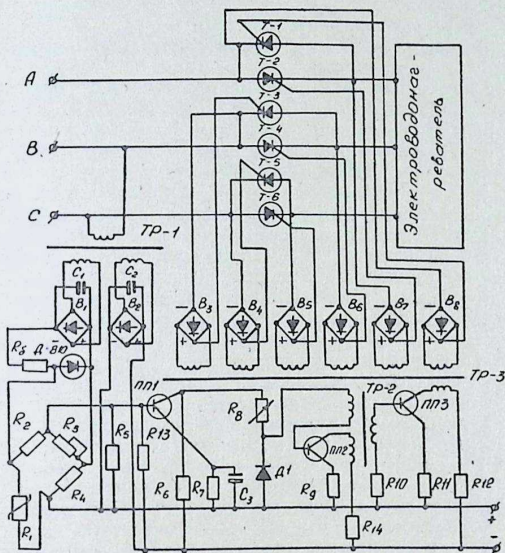


Рис. 1. Электрическая схема регулятора

ловой трансформатор TP-1. С помощью стабилизатора Д-810 и балластного сопротивления R_5 исключается влияние колебания напряжения сети на работу измерительного моста. Питание цепи стабилизации и схемы усиления осуществляется от выпрямителей B_1 и B_2 . Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока служат конденсаторы C_1 и C_2 . Нагрузкой измерительного узла является резистор R_5 . Каскад предварительного усиления выполнен на транзисторе ПП1, резисторах R_6 , R_7 , R_8 , R_{13} , конденсаторе C_3 и диоде Д1. Блокинг — генератор состоит из транзистора ПП2, резисторов R_9 , R_{14} и transforma-

тора ТР-2. Диод D_1 служит для стабилизации величины минимального тока базы транзистора ПП₂. Температурная стабилизация транзистора ПП₁ выполнена на резисторе R_7 и конденсаторе C_3 . Оконечный каскад содержит транзистор ПП₃, резисторы R_{10} , R_{11} , R_{12} и трансформатор ТР-3. Резистор R_5 совместно с резистором R_{13} задает режим точки покоя транзистора ПП₁. Вторичные обмотки трансформатора ТР-3 содержат выпрямительные мосты $V_3 \div V_8$ для подачи сигнала на управляющие электроды тиристоров $T_1 \div T_6$. Объектом регулирования является электродный проточный водонагреватель.

Регулятор работает следующим образом. При отклонении температуры воды от заданного значения, например, при увеличении или уменьшении ее расхода, изменяется сопротивление термочувствительного элемента R_1 , появляется рассогласование плеч измерительного моста. На резисторе R_5 появляется потенциал. При настройке регулятора следует иметь в виду, что на базе транзистора ПП₁ при снижении температуры воды должен появиться положительный запирающий потенциал. Полное или частичное запирающее этого транзистора вызывает генерацию блокинг-генератора, собранного на транзисторе ПП₂. Вторичная обмотка трансформатора ТР-2 соединена с базой транзистора ПП-3 конечного каскада усиления. Трансформатор ТР-3 имеет шесть вторичных обмоток по числу силовых тиристоров, выполняющих функции бесконтактного выключателя нагрузки. Выпрямленные с помощью мостиков $V_3 \div V_8$ сигналы от этих обмоток (при снижении температуры воды) поступают на управляющие электроды тиристоров. Последние открываются, и электродный водонагреватель оказывается под полным напряжением сети. Открытие тиристоров происходит при появлении на управляющих электродах положительного потенциала. Тиристоры $T_1 \div T_6$ соединены по встречно-параллельной схеме включения по два в каждой фазе. Они поочередно пропускают обе полуволны фазного напряжения. Прохождение электрического тока через воду вызывает повышение ее температуры. При достижении последней заданного значения баланс моста восстанавливается, транзистор ПП₁ открывается и происходит срыв генерации блокинг-генератора. Диод D_1 служит стабилизации режима генерации. Аналогично при увеличении температуры выше заданного значения, что может произойти при уменьшении расхода воды, транзистор ПП₁ открывается, происходит срыв генерации блокинг-генератора, транзистор ПП₃ запирается, напряжение на трансформаторе ТР-3 исчезает, потенциал на управляющих электродах тиристоров становится равным нулю, тиристоры запираются, и водонагреватель отключается от сети. Заданное значение температуры воды устанавливается с помощью резистора R_3 .

Применение в качестве коммутирующих элементов тиристоров позволяет значительно увеличить число включений в час

водонагревателя в сеть, а блокинг — генератора повышает чувствительность регулятора. Все это вместе взятое позволяет поддерживать температуру воды на выходе водонагревателя с точностью $\pm (1,5 \div 2,0)^\circ\text{C}$. Кроме того, исчезает необходимость в устройстве громоздких аккумулирующих баков — термосов для накопления горячей воды. Проверка работоспособности регулятора проводилась в лабораторных условиях и дала положительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шустов В. А.* Применение электронагрева в сельском хозяйстве. М., «Колос», 1973.
2. Электрификация тепловых процессов и работ в культивационных сооружениях. — Тезисы докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию. 19—21 сентября ВИАХ, М., 1972.
3. *Пасько М. В.* Автоматический электродный водонагреватель. — «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 1968, № 3.

*Плюхин П. С., Степанов В. В.,
Наливайко И. М., Числов В. А.*

ПЕРЕРАБОТКА ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ

Интенсивное строительство в последние годы крупных животноводческих комплексов, ферм, птицефабрик ставит в ряд важнейших сельскохозяйственных проблем задачу утилизации помета. В настоящее время горы нереализованного помета захламляют и загромождают территорию вокруг птицефабрик, являясь очагами антисанитарии и инфекционных заболеваний. Строительство емкостей для хранения помета лишь незначительно улучшает санитарное состояние и не является решением проблемы.

При использовании помета как удобрения советскими учеными были получены более высокие урожаи зерновых и картофеля, чем при использовании такого же количества минеральных удобрений. Ценность помета в пересчете на стандартные туки составляет от 8 до 26 руб/т и возрастает с увеличением содержания азота, фосфора, калия [8].

Более широкие возможности открываются перед высушенным стерилизованным пометом при использовании его как кормовой добавки. Это приводит к снижению привесов животных, но позволяет снизить себестоимость тонны комбикорма, содержащего 50% помета, на 19,6 руб. При этом значительно экономится комбикорм, нехватка которого остро ощущается в сельском хозяйстве. Наличие в таком комбикорме протеина, клетчатки, БЭВ (безазотистых экстрактивных веществ), азота, фосфора, калия, кальция делает помет незаменимой кормовой добавкой. Опыт применения помета как кормовой добавки имеется в нашей стране, ЧССР, Болгарии, ГДР, Англии, Канаде [1, 2].

Установлено, что обезвоженный птичий помет по содержанию сырого протеина превосходит люцерну. По данным профессора Денисова [10] сухой птичий помет стоит в одном ряду с такими кормами, как люцерна, подсолнечный жмых, а по некоторым показателям их превосходит по химическому составу. Но для того, чтобы использовать помет, необходимо снизить его влажность до 14—16% и стерилизовать, если помет используется как кормовая добавка.

* Работа выполнена под руководством профессора Изакова Ф. Я., консультация канд. техн. наук Филиппова Р. Л.

В последние годы как у нас в стране, так и за рубежом много внимания уделяется вопросам конструирования сушильных установок [11, 12]. Однако известные сушильные установки имеют те или иные недостатки, главным образом связанные с их сложностью и дороговизной, а так же с использованием в процессе сушки высоко-температурных топочных газов, которые разрушают аминокислоты, входящие в состав помета, загрязняют его. Предполагаемая технологическая сушка помета включает следующие операции. Помет, имеющий после гидросмыва влажность 90—95%, поступает в вакуум-фильтр, где из суспензии выделяется осадок помета. Последний снимается с фильтрующего полотна и поступает на грануляцию, а далее в сушилку; высушенный помет идет на хранение или к потребителю.

По мнению авторов, вакуум-фильтры, благодаря особенности кинетики обезвоживания, позволяют значительно снизить влажностное содержание помета. Получаемый фильтрат будет в меньшей степени нуждаться в отстое и осветлении. Однако и в этом случае, прежде чем пустить фильтрат на полив или дальнейшее использование, его необходимо подвергнуть обеззараживанию, например, электрическим полем.

Общим недостатком известных систем утилизации жидкого навоза является то, что жидкая фракция может быть использована для полива только в летнее время [13]. В зимнее время и ранней весной жидкая фракция не может быть поглощена почвой, поэтому перед спуском ее в трубы или в другие водные источники она должна обязательно пройти дополнительную очистку. На наш взгляд в системе очистных мероприятий необходимо рассмотреть возможность гидролиза насыщенного белковыми компонентами фильтрата с целью получения кормовых дрожжей, а также более качественной очистки сбрасываемой в естественные водоемы воды.

Процесс обезвоживания можно интенсифицировать путем обогрева помета, находящегося на полотне вакуум-фильтра. В этом случае температурный градиент и градиент давления имеют одинаковое положительное направление, что приводит к значительной интенсификации влаговыделения.

Анализ возможных способов сушки показал следующее:

если использовать помет как удобрение, то его можно сушить на установках типа УССП-2, созданных специально для сушки птичьего помета. Себестоимость сушки составляет $10,5 \div 12,5$ руб/т. Учитывая, что ценность помета как удобрения колеблется от 8 до 26 руб/т, то для птицефабрик, где помет содержит малое количество азота, фосфора, калия и кальция, сушить его экономически на удобрение нецелесообразно.

Что касается сушки помета, идущего на корм скоту, то сушилки, использующие в качестве теплоносителя дымовые газы, не могут применяться, так как составляющие продуктов сгорания (фенолы, карбинильные соединения) обладают высокой

реакционной способностью к взаимодействию с функциональными группами белка, входящего в состав помета. Обладая проканцерогенными свойствами, продукты сгорания при определенных условиях могут образовывать раковые опухоли [3, 4]. Поэтому для сушки продуктов, идущих на корм, необходимо использовать те способы сушки, которые обеспечивают стерильность процесса. Для сушки помета можно использовать и распылительные сушилки, себестоимость сушки в которых ниже, чем в факельных. Однако опыт использования их для этих целей мал.

Кроме того, известны инфракрасный, вакуумный, высокочастотный, сверхвысокочастотный способы сушки. Сушка инфракрасными лучами не может быть использована из-за малой глубины проникновения и больших удельных энергетических затрат. Вакуумная сушка не может быть использована из-за сложности и дороговизны оборудования.

Многие авторы отмечают существенные достоинства сверхвысокочастотной сушки, но дороговизна не позволила ей конкурировать с традиционными способами сушки [6, 7]. Сверхвысокочастотная СВЧ сушка не вносит в продукт дополнительных примесей, обеспечивает высокую стерильность процесса и высокие скорости влаговыделения за счет особенностей кинетики процесса.

Экспериментальные данные, полученные при сушке древесины показывают, что 10% всей энергии расходуется на нагрев материала и влаги в нем, 60% — на испарение, 20% — на покрытие всех тепловых потерь и только 10 — на создание положительного температурного градиента, ускоряющего процесс сушки [5]. Это распределение затрат тепла позволяет сделать вывод, что нагрев материала и влаги, покрытие тепловых потерь, испарение поверхностной влаги можно осуществить за счет тепла, полученного более дешевым путем, с использованием комбинированного способа сушки. Комбинированная СВЧ — конвекционная сушка позволит значительно интенсифицировать процесс влаговыделения при снижении до минимума затрат дорогой СВЧ энергии. СВЧ энергия будет расходоваться для создания градиента избыточного давления, являющегося главной движущей силой влаговыделения при больших влагосодержаниях. Это давление вызывает интенсивное удаление из продукта не только парообразной, но и каплеобразной влаги, ускоряя процесс сушки более чем в 10 раз [5].

Отмеченные выше особенности СВЧ сушки справедливы и для ВЧ сушки. Однако СВЧ сушка помета более перспективна за счет высоких скоростей нагрева, которые достигаются благодаря большей плотности потоков энергии. К тому же ряд исследований показывает, что резонансная частота диполей воды, определяющая максимум поглощения энергии водой, находится в диапазоне СВЧ [6, 7]. В то же время генераторы высокочастотного диапазона более дешевы и менее дефицитны, поэтому

окончательное решение о выборе источника энергии (высокочастотный) может быть принято после проведения сравнительных экспериментов.

Авторами предлагается проект лабораторной установки СВЧ конвективной сушилки, предназначенной для выявления оптимального режима и экономичности сушки птичьего помета. Процесс сушки протекает следующим образом. Гранулированный помет 6 с помощью дозатора 1 ровным слоем подается на движущуюся ленту транспортера 5, выполненную из радиопрозрачной сетки (рис. 1). Удаление слабо связанной влаги происходит в левой части канала 7, где материал обрабатывается утечками

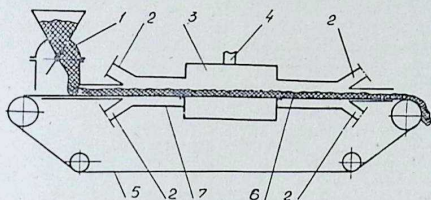


Рис. 1. Технологическая схема лабораторной СВЧ-конвективной сушилки:

1 — дозатор; 2 — система воздухопроводов; 3 — резонатор; 4 — волновод; 5 — лента транспортера; 6 — помет; 7 — канал сушильный

СВЧ энергии и продувается в слое нагретым потоком воздуха от электрокалорифера. Наиболее сильное влаговыделение происходит в резонаторе 3. Мощный поток СВЧ энергии, поступающий по волноводу 4, активно поглощается влагой помета. Благодаря быстрому испарению капель жидкости, обладающих наибольшим $\text{tg}\delta$ и ϵ^1 , внутри материала создается давление, которое приводит к выделению влаги в парообразном и каплеобразном состоянии. Выделившаяся влага поглощается потоком нагретого воздуха и выносится из сушильного канала. В правой части канала происходит окончательное досушивание помета, который далее поступает на затаривание или на загрузку в транспортные средства.

Система воздухопроводов 2 позволит проверить различные схемы вентилирования помета и выбрать рациональную. Для предотвращения утечки СВЧ энергии, опасной для обслуживающего персонала, проектируется использование поглощающих нагрузок и металлических экранов. Установка может удачно вписываться в технологическую линию и легко автоматизироваться.

В дальнейшем следует решить вопрос обеспечения оптималь-

ного режима работы СВЧ генератора при КСВН (коэффициент стоячей волны напряжения) = 2+2,5.

Предварительные расчеты показывают, что себестоимость предполагаемой СВЧ сушки составит около 6 руб/т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Использование глубокой подстилки и помета птиц в рационах животных (обзор) — «Сельское хозяйство за рубежом», № 1, 1971.
2. Малофеев В. и др. «Эффективность гранулированного птичьего помета» — «Сельское хозяйство России», № 9, 1972.
3. Курко В. И. — Физико-химические основы копчения, М., Пищепромиздат, 1960.
4. Крылова Н. Н. и др. — Взаимодействие коптильных компонентов дыма с составными частями мяса, М., 1962.
5. Першинов Н. А. — Конвективно-высокочастотная сушка древесины. Гослесбумиздат, М., 1963.
6. Пюшнер Г. — Нагрев энергией сверхвысоких частот, М., «Энергия», 1968.
7. СВЧ-энергетика. Под ред. Одесса, т. 2, М., «Наука», 1972.
8. Отчет «Разработка технологического процесса обеспыливания и обеззараживания воздуха и выявление возможности сушки помета». Раздел 1 — обоснование способа сушки птичьего помета. г. Челябинск, ЧИМЭСХ, 1972.
9. Филиппов Р. Л. — Использование резонансных свойств воды при определении влагосодержания в сельскохозяйственных продуктах. Труды ЧИМЭСХ, вып. 61, г. Челябинск, 1972.
10. Шишова И. Н., Пестрякова С. В. — Об использовании птичьего помета в кормлении с.-х. животных и птицы. — «Достижение науки и передовой опыт в с. х.». Серия «Животноводство и ветеринария», № 9, 1974.
11. Бацман Б., Перемот А., Васильев В. Г. — Установка для сушки птичьего помета и его переработки. — «Птицеводство», № 5, 1975.
12. Оборудование для переработки птичьего помета на корм животным. Обзор — «Сельское хозяйство за рубежом». Серия «Животноводство», № 5, 1974.
13. Усачева Н. Г. — Вопросы гигиены при использовании жидкого навоза — «Достижение науки и передовой опыт в сельском хозяйстве». Серия «Животноводство и ветеринария», № 2, 1972.

Найденов В. И.

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ РАЗДАЧИ КОРМОВ НА КОМПЛЕКСАХ ПО ОТКОРМУ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

В понятие программного управления кормораздачи входят задание и настройка программы, ее считывание, исполнение, контроль, сигнализация. Программное управление облегчает управленческие функции человека, избавляет его от однообразных, часто повторяющихся и быстрых действий в системе управления, но не освобождает от участия в ней. Степень этого участия зависит от уровня автоматизации объекта и структуры программного управления. В настоящее время четко вырисовываются два уровня участия человека: как оператора и как диспетчера. На более высокой ступени развития систем управления его функции будут переданы управляющей машине.

Наиболее ясным, на наш взгляд, становится круг задач программного управления кормораздачей для разрабатываемых комплексов. Системы программного управления кормораздачей должны обеспечить решение следующих задач:

1. Точная реализация программы кормления, заданной технологами. При этом следует учесть, что программа кормления рассчитывается аналитически на основании принятых оценок питательности кормов, их усвояемости, веса, пола и возраста животных. В действительности расчетные показатели могут быть нарушены в ту или иную сторону, и тогда должны быть использована система корректировки доз.

2. Удобство и простота настройки программы. Здесь, по-видимому, следует выделить два уровня настройки программы, отличающиеся частотой их использования и квалификацией обслуживающего персонала. Первый уровень, как более простой, допускает обслуживание оператором или технологом. Он часто используется и реализуется в виде многоточечных и универсальных переключателей с пояснительными надписями. Средства настройки программы первого уровня устанавливаются на пульте управления. Второй уровень требует более квалифицированного обслуживания, используется редко, например два раза в год, и выполняется в виде командоаппаратов различной сложности, регулируемых датчиков потока, уровня или наличия корма, регулируемых упоров, весовых датчиков, задатчиков электронных

регуляторов. Средства настройки программы второго уровня или устанавливаются в специальном сухом, отапливаемом помещении, или пломбируются во избежание вмешательства посторонних лиц. При отказах и неисправностях технических средств второго уровня система программного управления подает сигнал или останавливается, в этом случае оператор переводит управление на дистанционное и доводит техничексий процесс до конца.

3. Живучесть, т. е. сохранение работоспособности, при некоторых видах отказов. В поточных линиях раздачи кормов используют ряд стационарных кормораздатчиков, которые включены параллельно друг другу с точки зрения надежности системы. Выход из строя любого кормораздатчика этой системы должен повлечь локализацию и обход аварии с автоматическим выводом программы на режим работы следующего кормораздатчика. Автоматический перевод кормораздаточной линии с одной программы на другую в случайные моменты времени значительно повышает надежность системы и сокращает ущерб от отказов. Вместе с тем под живучестью понимается и необходимое быстроедействие системы, благодаря которому предотвращается развитие аварий, и гибкость программы, с помощью которой обеспечивается ее автоматическая корректировка в создавшихся условиях.

4. Сбор, переработка и представление удобной для человека (оператора, диспетчера) информации о функционировании и состоянии, системы. В первую очередь приходится учитывать то обстоятельство, что увеличение размеров ферм и превращение их в промышленные комплексы привело к резкому увеличению количества работающих машин и совершенно лишило человека оператора возможности визуального наблюдения за работой всех машин одновременно. Возникла задача согласования связей между человеком-оператором и системой программного управления. Такая задача имеет оптимальное решение как по условию ценности представляемой оператору информации, так и по условию минимума элементов, ее отражающих. В системах с человеком-оператором полезно подавать сигналы на более высокий уровень управления, например к диспетчеру комплекса.

Методы программного управления вытекают из задач, структуры и системы управления. Система управления может быть централизованной, децентрализованной, смешанной [3]. Система централизованного управления непосредственно воздействует на управляемые устройства, периодичность выдачи команд не зависит от фактического использования предыдущих команд, точность и стабильность подачи команд высокая. В системах децентрализованного управления последовательность выполнения рабочего цикла зависит от команд самих машин и их рабочих органов. Продолжительность исполнения команд и точность их подачи зависят от времени фактического срабатывания технических устройств (возможно накопление ошибки). Более удобны

в сложных объектах смешанные системы управления. Они объединяют достоинства вышеуказанных систем. При случайной по времени реализации технологического процесса успешно применяется метод сравнения сигналов программного устройства и фактического исполнения команды.

Методический и практический интерес представляет задача оптимизации многоуровневой структуры программного управления. Примером многоуровневой структуры может быть система автоматизации кормораздачи на экспериментальном откормочнике на 1 000 голов крупного рогатого скота [2]. Здесь предусмотрены четыре уровня управления: с автоматическим запуском программы (АЗП); ручным запуском программы (РЗП); автоматическая работа без программы (БП); ручное (дистанционное) управление.

На высшем уровне управления (АЗП) не требуется вмешательства человека, программа выполняется автоматически два раза в сутки. На уровне РЗП человек нужен только для запуска программы, который может быть осуществлен в любое время суток. На уровне БП согласование потока корма человек берет на себя, блокировки электроприводов сохраняются, схема локализации и обхода аварии продолжает работать. На нижнем уровне этой системы человек полностью берет управление на себя, ориентируясь по средствам сигнализации и мнемосхеме на пульте управления.

При проектировании комплексов необходимо четкое разделение уровней программного управления по функциональным критериям, что ускорит решение схемных вопросов, ярче, достовернее и полнее позволит представить информацию оператору (диспетчеру), повысить эффективность управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Ю. Н., Резник Е. И. Производство говядины на промышленной основе. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1973, № 11, с. 15.
2. Самышкин Ю. С., Магусевич В. Е., Нагих В. М. Поточная линия раздачи кормов крупному рогатому скоту. «Техника в сельском хозяйстве», 1974, № 4, с. 40.
3. Шаумян Г. А. «Комплексная автоматизация производственных процессов», М., «Машиностроение», 1973, с. 183.

Файн В. Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ПЫЛИ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

В настоящей работе исследованы пылевыведение, дисперсный состав и плотность пыли в птичниках.

Пылевыведение X — это величина, равная количеству пыли, выделяющемуся в помещении за единицу времени. Применительно к птицеводческим помещениям пылевыведение можно определить в расчете на одну птицу или на 1 кг живого веса. Последнее определение предпочтительней, поскольку именно таким образом определяют в птицеводстве выделение других вредностей: влаги, тепла и различных газов [1]. В отечественной литературе данные о пылевыведении в птицеводческих помещениях отсутствуют. Пылевыведение при напольном и клеточном содержании кур-несушек и бройлеров впервые было исследовано в США [2—4]. Опыты проводились в лабораторных климатических камерах. В производственных условиях пылевыведение не исследовалось.

Данные о характеристике пыли птицеводческих помещений по размерам частиц приведены в работах [2, 4—6]. Данные в работах [2, 4] относятся, по-видимому, к осевшей, а не витающей пыли. В связи с этим уместно напомнить, что в пылевой технике обычно называют одним и тем же словом «пыль» как осевшие частицы пыли, так и аэродисперсную систему (воздух с витающими в нем пылевыми частицами) [7]. Между осевшей пылью и пылью — аэродисперсной системой — существует принципиальная разница. Нас в данном случае интересует дисперсный состав витающей пыли.

Данные, приведенные в работе [5], неполны и не позволяют построить функцию распределения. Функция распределения витающей пыли птичника по размерам представлена только в работе [6]. В работе не приведены условия отбора проб пыли, не указано, для какого вида и возраста птицы и для каких условий ее содержания получены эти результаты. Немногочисленность имеющихся данных о дисперсном составе витающей пыли в птицеводческих помещениях требует дальнейшего изучения этого вопроса.

Данные о плотности пыли в птичниках отсутствуют.

Предлагаемая нами методика измерения пылевыведения ос-

нована на известной в теории вентиляции формуле А. И. Селиверстова для расчета установившегося значения концентрации любой вредности в вентилируемом помещении [8]. Для пыли эта формула выглядит следующим образом:

$$c = \frac{NVc_1 + x}{NV}, \quad (1)$$

где c — установившееся значение средней концентрации пыли в помещении;

N — кратность воздухообмена;

V — объем помещения;

c_1 — концентрация пыли в приточном воздухе;

x — пылевыведение в помещении.

Отсюда

$$x = cNV - c_1NV = cQ - c_1Q, \quad (2)$$

где $Q = NV$ — производительность вентиляционной системы.

Таким образом, для измерения пылевыведения в помещении необходимо измерить величины c , c_1 и Q и произвести расчет по формуле (2). Величины c , c_1 и Q измерялись по общепринятым методикам, приведенным соответственно в работах [9, 10, 11, 12 и 15]. Заметим, что для правильного определения пылевыведения все величины в правой части уравнения (2) необходимо привести к одинаковым условиям по температуре и давлению. Этими условиями, вообще говоря, не обязательно должны быть именно стандартные ($t = 20^\circ\text{C}$, $p = 760$ мм рт. ст.). Но в настоящей работе приведение осуществляется к стандартным условиям как наиболее употребительным в вентиляционной технике.

Нами был проведен анализ погрешности предлагаемой методики в соответствии с рекомендациями [13]. Результирующая погрешность измерения x , определяемая как геометрическая композиция систематической и случайной погрешностей, в настоящей работе составляет 20—25% (при доверительной вероятности 0,95). Анализ источников погрешностей методики показал, что наибольший вклад в результирующую погрешность вносят случайная погрешность измерения средней концентрации пыли в помещении и систематическая погрешность измерения скорости вентиляционного воздуха.

В работе определялось счетное распределение витающей пыли методом микроскопирования. Препараты для микроскопирования приготавливались путем просасывания запыленного воздуха через фильтры АФА [7]. После отбора проб пыли фильтры подвергали просветлению в парах ацетона, в результате чего они превращались в тонкие прозрачные пленки, в которых прочно зафиксированы пылевые частицы. Полученные препараты рассматривались с помощью оптического микроскопа МБР-1 с объективами $40\times$ (сухой) и $90\times$ (масляная иммерсия, фазовоконт-

растный) и окулярами 7^x и 15^x. Общее увеличение изменялось, таким образом, в пределах 280—1350^x. Измерение рассматриваемых под микроскопом частиц проводилось с помощью окуляр-микрометра с ценой деления 0,2 мм (изготовлен мастерскими № 15 Мосгороно). Размер частиц определялся по формуле

$$d = \frac{B}{\beta_{об}}, \quad (3)$$

где B — размер изображения частицы в окуляр-микрометре;
 $\beta_{об}$ — увеличение объектива.

При измерениях определялся максимальный размер изображения частицы d_1 и размер в направлении, перпендикулярном к первому, d_2 . За размер частицы принимался размер шара, равный среднему арифметическому из измеренных размеров [14],

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (4)$$

Всего было просмотрено под микроскопом более 3500 частиц.

Для определения плотности пыли из птичника был применен метод вытеснения воздуха [7].

Измерения пылевыведения проводились в 1972 г. на Аргаяшской птицефабрике Челябинского треста «Птицепром» и на Боровской птицефабрике Тюменского треста «Птицепром». На Аргаяшской птицефабрике измерения проводились зимой в бройлерниках (габариты в планах 18×84 м, вместимость — 20 тысяч бройлеров, комплект оборудования — «Бройлер-20», порода — корниш, содержание — напольное, материал подстилки — древесные опилки, вид кормов — сухие полнорационные комбикорма, воздух подается в верхнюю зону середины помещения двумя вентиляторами ЦЧ-70 № 8, вытяжка осуществляется четырьмя крышными вентиляторами КЗЦ-90 № 6. С целью исследования зависимости пылевыведения от возраста бройлеров измерения проводились в четырех птичниках, в которых содержались бройлеры возрастом (на день измерения) соответственно 10, 20, 52 и 78 дней.

Результаты исследования на Аргаяшской птицефабрике представлены на рис. 1. Как видно из графиков, пылевыведение в расчете на одного бройлера увеличивается по мере роста в течение первых 60—70 суток, а затем стабилизируется на уровне 5—5,5 мг/час. Пылевыведение в расчете на 1 кг живого веса сначала увеличивается, достигая максимума (14,5 мг/час) в 20-суточном возрасте, а затем уменьшается, стабилизируясь к 80-суточному возрасту на уровне 5 мг/час.

На Боровской птицефабрике измерение проводилось летом в птичнике для кур-несушек (габариты в плане 18×96 м, вместимостью 30 тысяч кур-несушек, содержание — в клеточных батареях КБН-1, вид кормов — сухие полнорационные комбикор-

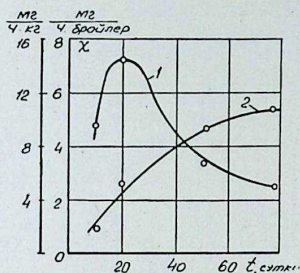


Рис. 1. Зависимость пылевыведения в бройлернике с напольным содержанием птицы от возраста бройлеров:

1 — пылевыведение на 1 кг живого веса;
2 — пылевыведение на 1 бройлера

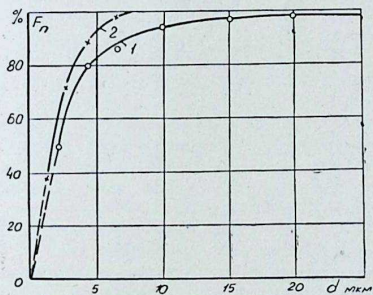


Рис. 2. Функция распределения числа частиц пыли из птичника для кур-несушек по среднему размеру:

1 — по нашим данным; 2 — по данным работы [6]

ма, вентиляция — приточно-вытяжная с механическим побуждением: в летнем режиме приток естественный через потолочные шахты, вытяжка — осевыми вентиляторами 06—320 № 5, расположенными в продольных наружных стенах зала, птичник состоит из двух залов, в каждом зале 14 вытяжных вентиляторов для летнего режима; птичник построен по типовому проекту 805—108).

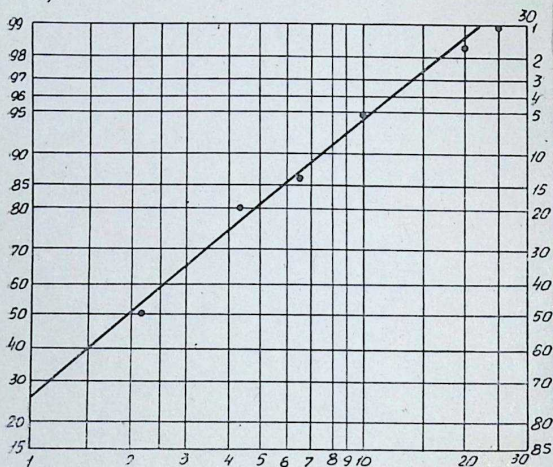


Рис. 3. Проверка применимости логарифмически нормального закона для аналитического описания дисперсного состава пыли из птичника для кур-несушек

Измерения на Боровской птицефабрике дали следующие результаты:

пылевыведение в расчете на одну курицу-несушку — 4,1 мг/ч;
пылевыведение в расчете на 1 кг живого веса — 2,4 мг/ч.

Интересно сопоставить полученные результаты с данными, приведенными в работе [3]. В этой работе также обнаружена стабилизация пылевыведения в расчете на 1 бройлера, но к 42-суточному возрасту. Пылевыведение на 1 бройлера (при содержании на подстилке из сосновых стружек) составляло в возрасте 42—56 суток 70—80 мг/сутки, что соответствует часовому пылевыведению, среднему за сутки, 2,9—3,3 мг/ч. В наших же опытах для того же возраста пылевыведение получилось равным 4—5 мг/ч. Необходимо учесть, что в нашей работе пылевыведение определялось в дневное время, следовательно, оно должно быть выше среднего за сутки.

Среднее за сутки пылевыведение в расчете на одну клеточную курицу-несушку по данным работы [3] оказалось равным 2,3 мг/ч. В целом можно констатировать хорошее совпадение наших данных с данными, приведенными в работе [3]. Следовательно, измерение пылевыведения в лабораторных климатических камерах способно дать результаты, близкие к реальным.

Определение дисперсного состава проводилось для пыли из птичника с клеточным содержанием кур-несушек в батареях КБН (птичник Боровской птицефабрики, типовой проект № 805—108). Функция распределения числа частиц по среднему размеру d (т.е. функция, равная отношению числа всех частиц, средний диаметр которых меньше d , к общему числу частиц пыли, выраженному в процентах) представлена на рис. 2. Здесь же для сравнения показана соответствующая кривая, приведенная в работе [6]. Как видно, обе кривые в целом удовлетворительно согласуются между собой, поэтому можно считать, что дисперсный состав (по числу частиц) пыли в птицеводческих помещениях определен в настоящее время достаточно надежно.

Для возможности расчета процесса пылеулавливания кривую распределения пыли по размерам желательно представить в аналитической форме. Принято считать, что наиболее обоснованным для пылей является логарифмически нормальное распределение, хотя в ряде случаев оно может быть неприменимо. На рис. 3 выполнена графическая проверка применимости логарифмически нормального распределения для аналитического описания дисперсного состава пыли из птичника. Спряжение кривой распределения в логарифмически вероятностной системе координат свидетельствует о допустимости применения в данном случае логарифмически нормального закона. Функция логарифмически нормального распределения, аппроксимирующая действительное распределение, получается в виде

$$\Phi(t) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (5)$$

где

$$t = \frac{\lg d - 0,312}{0,39}, \quad (6)$$

В пылеулавливании наибольший практический интерес представляет не счетное, а массовое распределение пыли по размерам [7]. Поскольку пока не представляется возможным опре-

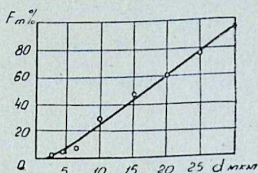


Рис. 4. Функция распределения массы частиц из птичника для кур-несушек по среднему размеру

делить массовое распределение непосредственно, целесообразно рассчитать его по известной методике [11]. Расчетная функция распределения массы частиц пыли из птичника по среднему размеру представлена на рис. 4.

Проводился анализ пыли из птичника для кур-несушек Магнитогорской птицефабрики (влажность пыли 5,23%) и из бройлерника Аргаяшской птицефабрики (влажность пыли 5,89%). В первом случае среднее значение плотности было равно $1\,300\text{ кг/м}^3$, во втором — $1\,640\text{ кг/м}^3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы технологического проектирования птицеводческих хозяйств НТП-СХ-4-72. М., 1973.
2. M. U Dendi. Reducing dust in poultry houses. Poultry Digest, 1970, 29, N 9.
3. W. Grub, C. A. Rollo I. R. Howes. Dust Problems in Poultry Environments Transactions of the ASAE 1965, 8, N 3.
4. Кун Д., Хаус Дж. Р., Граб У., Роло К. А. Происхождение и состав пыли в птичниках. Сельскохозяйственная техника (пер. америк. журнала), 1963, № 11.
5. Игнатьев И. Б., Литвиненко В. В. Зоогигиеническая оценка воздуха помещений для бройлеров. Ветеринария, 1967, № 5.
6. Бутузова Л. Г. Заикина О. И., Богомолов В. А. Исследование микроструктуры, пыли, образующейся в птичнике. Труды ЧИМЭСХ, вып. 84, часть I, 1974.
7. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л., «Химия», 1974.
8. Максимов Г. А. Отопление и вентиляция. часть II. М., «Высшая школа», 1968.
9. Методика исследований микроклимата, систем вентиляции и отопления животноводческих и птицеводческих зданий. М., ВИЭСХ, 1972.
10. Метод определения весовой концентрации аэрозолей с помощью фильтра АФА-В18. М., Всесоюзное объединение «Изотоп», 1968.
11. Русанов А. А., Урбах И. И., Анастасиади А. П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М., «Энергия», 1969.
12. Инструкция по испытанию и наладке вентиляционных устройств. М., ЦБТИ, 1968.
13. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Труды метрологических институтов СССР. Вып. 134 (194) М.-Л., Изд. стандартов, 1972.
14. Верещагин И. П., Морозов В. С. Определение функции распределения частиц порошков по размерам.— В сб: Сильные электрические поля в технологических процессах. Вып. 2, М., «Энергия», 1971.
15. Испытание обеспыливающих вентиляционных установок. Л., ВНИИОТ ВЦСПС, 1971.

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМА ОТРАЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ СВЧ В ВОЛНОВОДЕ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОМ ЖИДКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Предположим, что пространство между ограничительными плоскостями К и М (рис. 1) заполнено жидким изотропным диэлектриком. Тогда в общей картине отражения электромагнитной волны появляются четыре границы раздела:

1. воздух-плоскость К (в. п.);
2. плоскость К — жидкий диэлектрик (п. жд.);
3. жидкий диэлектрик — плоскость М (жд. п.);
4. плоскость М — воздух (п. в.)

При падении волны E на плоскость К наблюдаются две границы раздела: воздух-плоскость и плоскость-жидкий диэлектрик.

Известно, что для границы раздела плоскость-воздух при незаполненной камере жидким диэлектриком коэффициент отражения от плоскости К составляет

$$\Gamma_K = \Gamma_{в.п.} + (1 - \Gamma_{в.п.}) \cdot (1 - \Gamma_{п.в.}) \cdot \Gamma_{п.в.} \quad (1)$$

Заменяя в уравнении (1) $\Gamma_{п.в.}$ на $\Gamma_{п.жд.}$, получим

$$\Gamma_K = \Gamma_{в.п.} + (1 - \Gamma_{в.п.}) \cdot (1 - \Gamma_{п.жд.}) \cdot \Gamma_{п.жд.} \quad (2)$$

Так как пространство между плоскостями К и М (измерительная камера) заполнено жидкостью, то преломленная волна E' с энергией $(1 - \Gamma_{в.п.}) \cdot (1 - \Gamma_{п.жд.})$, распространяясь в жидкости,

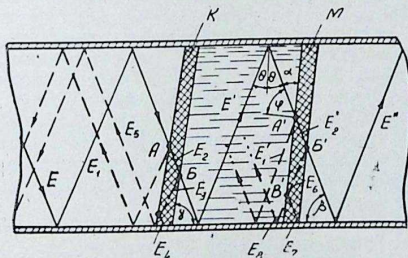


Рис. 1. Прохождение электромагнитной волны через диэлектрические плоскости, пространство между которыми заполнено диэлектриком

затухает пропорционально величине влажности. Для примера рассмотрим прохождение электромагнитной волны через измерительную камеру, заполненную топленным животным жиром.

Исходя из технических требований на влагомеры жиров при влажности жира 0,55%, объем измерительной камеры должен быть таким, чтобы энергия волны E' , пройдя через жир, равнялась нулю, в результате чего отраженные и преломленные волны у плоскости М будут отсутствовать. Предположим, что жир имеет минимальную влажность $W = 0,1\%$, тогда энергия отраженной волны на границе раздела жир-плоскость составит сотые доли по отношению к напряженности волны E' , вследствие незначительной разницы диэлектрической проницаемости жира и плоскости М из полистирола $\epsilon_3 = 3$, $\epsilon_2 = 2,5$. Следовательно, отраженная волна, распространяющаяся в объеме жира измерительной камеры в сторону генератора, затухает, не доходя до плоскости К.

Обобщая вышеизложенное, можно считать, что отраженные волны от плоскости М затухают в объеме любой жидкости и не влияют на генератор СВЧ. Следовательно, суммарный коэффициент отражения заполненной жидкостью камеры ($\Gamma_{\Sigma 3}$) можно выразить формулой (2).

Известно, что коэффициент отражения, согласно формуле Френеля, равен:

$$\Gamma = \left(\frac{\cos \varphi + i \sqrt{\sin^2 \varphi - n_{1-2}^2}}{\cos \varphi - i \sqrt{\sin^2 \varphi - n_{1-2}^2}} \right)^2, \quad (3)$$

где

$$n_{1-2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ или } \frac{n_2}{n_1}, \quad n_1 = \sqrt{\epsilon_1}; \quad n_2 = \sqrt{\epsilon_2};$$

n_1 , n_2 — относительные показатели преломления;

ϵ_1 — диэлектрическая проницаемость воздуха;

ϵ_2 — диэлектрическая проницаемость изотропного диэлектрика;

φ — угол падения электромагнитной волны на плоскость.

При заполнении камеры жидкостью, диэлектрическая проницаемость которой больше диэлектрической проницаемости плоскости К ($\epsilon_3 > \epsilon_2$), полное внутреннее отражение отсутствует при любых значениях угла φ . Подставляя в формулу (2) значение коэффициента отражения (3) при величине угла φ от 0° до 90° , получим формулу для оценки общей картины суммарного коэффициента отражения ($\Gamma_{\Sigma 3}$) от измерительной камеры, заполненной жидким диэлектриком:

$$\Gamma_{\Sigma 3} = \left(\frac{\cos \varphi + i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}}{\cos \varphi - i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}} \right)^2 +$$

$$\begin{aligned}
& + \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi + i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}}{\cos \varphi - i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}} \right)^2 \right] \times \\
& \times \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi + i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}}{\cos \varphi - i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{\cos \varphi + i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}}{\cos \varphi - i \sqrt{\sin^2 \varphi - \frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}} \right)^2.
\end{aligned} \quad (4)$$

Несмотря на отсутствие воздействия отраженных волн от плоскости М на генератор, эта плоскость должна иметь оптимальный угол наклона для минимального отражения и максимального преломления волны, прошедшей к детектору через измерительную камеру, заполненную жидкостью. Чем меньше коэффициент отражения, тем с большим к. п. д. используется энергия генератора СВЧ, увеличивается точность и диапазон измерения влажности.

Известно, что при прохождении электромагнитной волны через диэлектрик (жидкость) с диэлектрической проницаемостью ϵ_3 , отличной от ϵ_1 вакуума и воздуха, длина волны в жидкости $\lambda_{ж}$ уменьшается в $\sqrt{\epsilon_3}$ раз. Подставив значение ϵ_3 в формулу оптимального угла наклона плоскости К границы раздела плоскость-воздух, получим оптимальный угол для границы раздела жидкий диэлектрик-плоскость

$$\gamma_{\text{опт. з}} = \arccos \frac{C}{2af \sqrt{\epsilon_3 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}. \quad (5)$$

При оптимальном угле наклона плоскости К угол $\varphi = 0$, а угол $\alpha = 90^\circ$, тогда суммарный коэффициент отражения в сторону генератора от измерительной камеры, заполненной жидким диэлектриком, составит:

$$\begin{aligned}
\Gamma_{\Sigma, \text{ мин}} = & \left(\frac{1 - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}}{1 + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}} \right)^2 + \left[1 - \left(\frac{1 - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}}{1 + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}} \right)^2 \right] \times \\
& \times \left(\frac{1 - \sqrt{\frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}}{1 + \sqrt{\frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1 - \sqrt{\frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}}{1 + \sqrt{\frac{\epsilon_3}{\epsilon_2}}} \right)^2.
\end{aligned} \quad (6)$$

Формулы, полученные в результате теоретических исследований механизма отражения, справедливы лишь в том случае, если волноводный тракт не имеет отражений, связанных с дифракцией волн в местах входа и выхода жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морев А. Д., Филиппов Р. Л. Теоретические исследования коэффициента отражения падающей волны в волноводе, частично заполненном жидким изотропным диэлектриком.— Тезисы докладов научно-технического совещания «Проблемы разработок и внедрения СВЧ влагомеров в народном хозяйстве республики». Минск, июнь, 1974.
2. Калитеевский Н. П. Волновая оптика. М., «Наука», 1971.
3. Брант А. А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М., Физматгиз, 1963.

Филиппов Р. Л., Бояршинов Л. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЖИРНОСТИ МОЛОКА С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ СВЧ

При разработке и исследовании способов измерения жирности молока по изменению электрических величин ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ наблюдается погрешность в измерениях при изменении температуры [1, 2, 3]. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния температуры молока при измерении жирности молока по величине поглощения СВЧ энергии в режиме бегущей волны.

При исследовании использовался волноводный метод измерения диэлектрических потерь в режиме бегущей волны [4]. В этом случае затухание СВЧ энергии при прохождении через продукт определяется удельными потерями:

$$P = \frac{f\epsilon}{2} \operatorname{tg} \delta E_{\text{эф}}^2,$$

где f — частота изменения электромагнитного поля СВЧ;

ϵ — диэлектрическая проницаемость;

δ — угол диэлектрических потерь;

$E_{\text{эф}}$ — эффективная напряженность поля;

P — удельные потери.

Для проведения исследований была разработана специальная установка. Режим бегущей волны обеспечивается наклонным расположением трубки с продуктом в волноводе и специальной детекторной секцией с коэффициентом стоячей волны напряжения (КСВН) не хуже 1,5.

Блок-схема установки показана на рис. 1. Установка включает в себя СВЧ генератор 1 с рабочим диапазоном частот 9—12 ГГц, датчик 2, выполненный в виде отрезка волновода, пересекаемого под углом, фторопластовой трубки, по которой подается молоко. Мощность энергии СВЧ, прошедшая через датчик, подается на детекторную секцию 3. Выход детекторной секции подключается к измерительному прибору 13. Оставшаяся после детекторной секции СВЧ энергия поглощается нагрузкой. Молоко, предназначенное для проверки, заливается в термостат предварительного подогрева 5. Если исследуются параметры молока при температуре t_0 (например 45°С), то молоко в баке предварительного подогрева нагревается до

температуры на 5°C ниже (то есть до 40°C). При нагреве молока до этой температуры автоматически открывается кран, и молоко проходит через термостат точного подогрева 6, где нагревается до температуры (то есть до 45°C). Термостат точного подогрева выполнен в виде змеевика с прямоугольным сечением 3×12 мм, который размещается в баке с водой. Вода непрерывно перемешивается. При помощи электронного регулятора температура воды поддерживается равной t_0 (то есть 45°C). Из термостата через кран 7 молоко поступает во фторопластовую трубку датчика. После заполнения датчика молоком происходит измерение мощности, прошедшей через

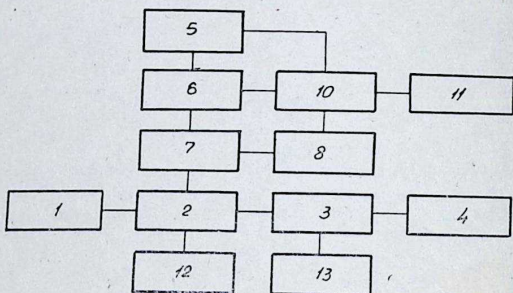


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки СВЧ

молоко, по току детекторной секции. Это позволяет судить о величине диэлектрических потерь. Затем включается система очистки, которая очищает датчик от остатков молока. Все переключения кранов и приборов выполняются автоматически с помощью сигналов, подаваемых с блока автоматики 10. Блок автоматики и СВЧ генератор питаются от стабилизированного источника питания 11, который обеспечивает устойчивую работу при изменении напряжения питающей сети 220 В на 10%. Для сбора проверенного молока под прибором располагается сливной бак 12.

На установке проводились экспериментальные исследования зависимости величины прошедшей мощности (по току детектора) от температуры молока.

Наибольшее изменение величины прошедшей мощности от жирности молока было получено на частоте 10,8 ГГц. При температуре молока 50°C и выше наблюдалось изменение цвета молока при повторных подогревах, а также плохая повторяемость результатов при повторных замерах из-за необратимых процессов, возникающих при коагуляции белков молока, нагретого до температуры свыше 50°C [5].

Таблица 1

Зависимость прошедшей мощности по току детектора (мкА)
от температуры при разной жирности молока

	t=22 °C	t=30 °C	t=40 °C	t=45 °C
Вода	286	223	121	70
	288	220	120	70
	287	218	119	70
Молоко жирн. 3%	340	397	213	187
	355	400	212	185
	370	398	215	184
Молоко жирн. 6,5%	432	412	259	248
	452	415	258	250
	415	416	255	252
Сливки жирн. 10%	460	468	312	301
	482	465	310	300
	470	468	313	302

Результаты исследований приведены в табл. 1. Полученные зависимости позволяют сделать следующие выводы:

1. При температуре молока 20° С наблюдается нестабильность повторных измерений, очевидно, из-за того, что не все составляющие молочного жира находятся при этом в расплавленном состоянии [5].

2. При увеличении температуры от 20°С до 45°С повторяемость улучшается.

3. При температуре выше 50° С наблюдается нестабильность показаний из-за коагуляции белков молока.

4. Наиболее целесообразно использовать для измерений молоко при температуре 45°С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Озол Я. Н. Исследование и усовершенствование методов электрического бесконтактного контроля качества и состава молока на молочных фермах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата техн. наук. Елгава, 1973.

2. Шабыдова Р. А. Исследование электрических свойств молока в электромагнитном поле СВЧ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1973.

3. Газимов М. Х. Новый электрический прибор для определения содержания жира в молоке методом меняющейся емкости. Труды Свердловского с.-х. института, т. 8, 1961.

4. Филипов Р. Л. Использование резонансных свойств воды при определении влагосодержания в сельскохозяйственных продуктах. Вопросы электрификации сельского хозяйства. Труды ЧИМЭСХ, 61, 1972.

5. Зайковский Я. С. Химия молока и молочных продуктов. Пищепромиздат, М., 1950.

Филиппов Р. Л. Фурсов В. И.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДЕЗИНСЕКЦИИ ЗЕРНА И ДРУГИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Чтобы сохранить хлебные ресурсы, необходимо вести постоянную борьбу с вредителями хлебных запасов. Так по данным ФАО (организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства) в настоящее время примерно 5% мирового сбора зерновых культур уничтожается амбарными вредителями. Применяемые в настоящее время средства и способы борьбы с вредителями в значительной степени сдерживают расселение вредных насекомых и клещей [1, 2]. Так как численность вредителей и количество зараженных продуктов из года в год остаются примерно на одном уровне, необходимо постоянно совершенствовать мероприятия по борьбе с вредителями хлебных запасов. Классификация таких мероприятий приведена на рис. 1. Рассмотрим кратко основные достоинства и недостатки существующих методов. В приведенной схеме выделяются три основных способа борьбы: биофизический, химический и физико-механический, которые охватывают подавляющее большинство используемых или разрабатываемых приемов борьбы с вредителями хлебных запасов.

Биологический способ борьбы. Развитие биологического способа борьбы с вредными насекомыми и клещами идет по нескольким направлениям: изучаются естественные хищники и паразиты вредителей из мира насекомых и клещей, возможность их акклиматизации, массового разведения и использования; исследуются рациональные сочетания пестицидов с бактериальными препаратами; разрабатываются средства и способы подавления наследственности. Однако в отношении вредителей хлебных запасов биологические способы борьбы используются в меньшей степени, чем другие способы. Это связано с особенностями объекта, который подвергается защите от насекомых. Например, введение в зерно и зерновые продукты хищников и паразитов или стерильных самцов практически мало пригодно, поскольку это засоряет продукт и ухудшает его качество. Бурное развитие ядерной физики и электроники в настоящее время позволило вплотную заняться разработкой проблемы использования ионизирующих излучений для дезинсекции зернопродуктов.

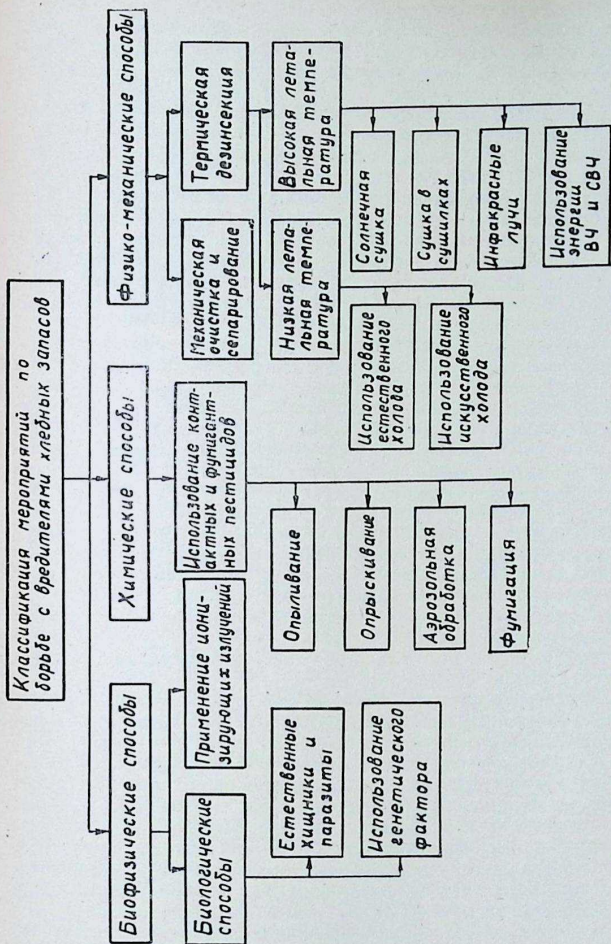


Рис. 1

В основе биологического действия ионизирующих излучений [3] лежит поглощение их энергии, проявляющееся в ионизации и возбуждении атомов и молекул живой материи. Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры различных соединений. Изменения в химическом составе клетки нарушают ее нормальное функционирование, обмен веществ, деление и т. д. и в результате приводят к гибели клетки. Основными недостатками метода лучевой дезинсекции зернопродуктов является снижение агротехнических качеств зерна при дозах облучения, требующихся для полной стерилизации насекомых, а также существенное ухудшение товарных качеств зерна при повышенных дозах облучения. К недостаткам способа относится также необходимость в создании специальных мер защиты обслуживающего персонала от возможности облучения. В современных установках толщина защитных слоев свыше метра из бетона и десятка сантиметров из свинца.

Химический способ борьбы. Этот способ наиболее радикальный и широко распространенный, основывается на применении различных контактных и фумигантных пестицидов [1]. К пестицидам, применяемым в борьбе с вредителями зернопродуктов, предъявляется целый ряд требований. Все они должны обладать высокой токсичностью, не должны значительно изменять своих пестицидных свойств под воздействием внешних условий среды обитания вредителей: температуры, света, влажности и т. д. Они не должны влиять на пищевые, хлебопекарные, биохимические, семенные и другие свойства зерна и продуктов его переработки; не должны передавать им запаха и оставлять вредных остатков после обработки; быть малоядовитыми или неядовитыми для человека; не обладать огне- и взрывоопасными свойствами; быть дешевыми и недефицитными. Однако практически ни один из применяемых в настоящее время пестицидов не отвечает перечисленным выше требованиям.

Физико-механический способ. К этой группе способов борьбы с вредителями относится сепарирование зерна, использование различных приемов для охлаждения зерна до низких, летальных для вредителей, температур или нагревание зерна до высоких, пороговых для жизни вредителей, температур. Механическая очистка зерна на машинах как способ борьбы с вредными насекомыми и клещами не дает эффекта на длительное время, так как зерно полностью не освобождается от вредителей, находящихся в межзерновом пространстве, и совершенно не отделяются зерна со скрытой формой заражения. Механическая очистка зерна эффективна лишь в холодную погоду, когда одновременно с сепарированием зерно охлаждается. Использование низких «летальных» температур для борьбы с насекомыми и клещами с применением естественно охлажденно-

го воздуха находит применение в основном в районах с благоприятным для этого климатом. Так, для обеспечения 100% гибели такого опасного вредителя хлебных запасов, как амбарный долгоносик, необходимо поддерживать температуру зерна на уровне минус 10°С не менее 14 суток.

Более эффективным является использование высоких «летальных» температур, где наряду с обеззараживанием зерна в короткие сроки происходит снижение его влажности. Повысить температуру зерна для его дезинсекции можно различными способами: передачей тепла конвекцией, инфракрасными лучами, применением энергии высокой и сверхвысокой частот. Температурный режим обработки выбирается, исходя из состояния массы и вида вредителя. Однако следует отметить, что для достижения 100% гибели всех вредителей во всех стадиях необходима интегральная температура зерна порядка $+ (65 \div 70)^\circ\text{C}$ [4]. В то же время нагрев до такой температуры зерна, по данным ВНИИЗ приводит к значительному снижению его агрономических качеств. Следовательно, необходимо применять такие методы нагрева, которые обладали бы селективными свойствами и обеспечивали бы более быстрый нагрев вредителей, а не зерновой массы. К таким методам следует отнести методы нагрева с помощью инфракрасных лучей и энергии высокой и сверхвысокой частот.

При нагревании и сушке влажных материалов инфракрасными лучами лучистая энергия превращается в тепло. Обычно генераторами инфракрасных лучей являются твердые тела — нити ламп и темные излучатели, нагретые до определенной температуры. В Запорожском филиале ВИЭСХ было установлено, что инфракрасное облучение обеспечивает не только дезинсекцию зерна, но и удаление значительного количества влаги. Однако инфракрасный метод обработки имеет ряд серьезных недостатков: для 100% гибели вредителей требуется тонкий слой обрабатываемого материала и длительное время облучения, что затрудняет процесс автоматизации обработки; нельзя полностью ликвидировать скрытую форму зараженности; притом у него относительно низкий коэффициент полезного действия. Для дезинсекции большого количества зерна расход электроэнергии значителен, что ограничивает промышленное применение этого метода.

В настоящее время более прогрессивным следует признать метод обработки зернопродуктов с помощью энергии высокой и сверхвысокой частот. Особенностью высокочастотного нагрева, принципиально отличающей его от других методов нагрева, является выделение тепловой энергии в самой массе нагревательного материала. При нагреве энергия электромагнитного поля преобразовывается в тепло вследствие наличия у материалов диэлектрических потерь. Зерно и продукты его переработки, а также вредители, в нем находящиеся, с физической

точки зрения являются диэлектриками, которые подчиняются общим законам, присущим твердым диэлектрикам. Выделение тепла в материале за единицу времени заряженных частиц и токов проводимости описывается формулой

$$P_{\text{пот}} = 0,55 \varepsilon' \operatorname{tg} \delta f E^2 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^3,$$

где ε' — относительная диэлектрическая проницаемость материала;

$\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла потерь;

f — частота колебаний, Гц;

E — напряженность поля В/см.

Формула (1) показывает, что процесс теплообразования при нагреве в электромагнитном поле высокой частоты зависит от физических свойств материала, его электрических параметров. При неоднородном составе материала, к которому относятся зерно, зараженное вредителями, отдельные его части, имеющие различные значения ε' и $\operatorname{tg} \delta$, будут нагреваться по-разному. Следовательно, учитывая электрические константы материала, можно подобрать такую частоту, при которой будет максимум поглощения энергии вредителями, а не материала зерна. Первыми подобными попытками в СССР считать работы ВИЭСХ под руководством профессора М. Г. Евреина (1932—1934 гг.) и работы ВНИИЗ под руководством П. П. Тарутина (1934—1936 гг.), которые показали эффективность применения электромагнитной энергии высокой частоты для дезинсекции зерна во всех стадиях его заготовки при полном сохранении его семенных и товарных качеств. В работе [5] содержатся положительные результаты применения энергии высокой частоты для дезинсекции зерна. Несмотря на силу слабого развития электровакуумной техники, отсутствовавшего в то время должного оборудования эти работы были проведены. С появлением новых электровакуумных приборов — магнетронов открывалась широкая возможность массового применения сверхвысокочастотного нагрева. Благодаря простоте конструкции, позволяющей получать мощность в десятки тысяч и десятков тысяч ватт на частотах 100 МГц, они становятся тем средством, которое позволяет использовать новые технологические методы и процессы. Современный этап развития сельского хозяйства характеризуется дальнейшей интенсификацией технологических процессов при обеспечении высокого качества продукции, внедрении автоматических линий, оснащенных средствами для автоматического регулирования процессов, полной их автоматизацией. В плане применения энергии электромагнитного поля высокой и сверхвысоких частот, представляет особый интерес

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н. Н. Современные направления развития производства пестицидов. Итоги науки: Серия «Химия», М., ВИНТИИ.
2. Вопросы обеззараживания сельскохозяйственной продукции в нах СЭВ. «Защита растений» 1973, № 2, стр. 52—53.
3. Андреев С. В., Мартенс Б. К., Молчанов В. А. Биофизические ды в защите растений от вредителей и болезней. Л., «Колос», 1969.
4. Румянцев П. Д. Биология вредителей хлебных запасов. М., Хле дат, 1959.
5. Смирнова И. С. Исследование токов высокой частоты для дезин ции зерна. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к техн. наук. М., 1955.

Шмаков Б. В.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАЗДЕЛЕНИЯ

В последнее время в нашей стране и за рубежом значительно расширились научные исследования в области разработки и создания датчиков для автоматического регулирования технологическим процессом послеуборочной обработки продуктов сельскохозяйственного производства. Переработка и анализ обширной информации о наиболее выгодных в данном конкретном случае датчиках становятся все более затруднительными, а это тормозит внедрение новых разработок, конструкций в производство.

Возникает необходимость в научной классификации датчиков контроля качества разделения (ДККР). При этом классификация должна не только охватывать все существующие датчики, но необходимо, чтобы вновь созданные ДККР логически вписывались в общую классификацию. Научная классификация должна позволить разрабатывать новые датчики с заранее известными показателями.

При разработке научной классификации ДККР должна учитываться специфика сельскохозяйственного производства. Существующие классификации носят в основном описательный характер, часто не охватывая даже всего многообразия существующих конструкций. Чаще всего классификация производится по роду используемых явлений: физической природе сигналов на входе, виду выходной величины, функциональному назначению, устройству и т. д. [2, 3, 4].

В основу научной классификации ДККР предполагается положить принцип разделения анализируемого материала. Подобный способ классификации был разработан Изаковым Ф. Я. для электрозерноочистительных машин. Предлагаемая классификация приведена на рис. 1. Вся совокупность ДККР делится на два класса по принципу действия: датчики прямого действия и датчики косвенного действия.

В датчиках прямого действия анализируемый материал разделяется на компоненты с последующим анализом полученных фракций. Трудность создания датчиков прямого действия, их относительно высокая стоимость предопределила появление датчиков второго класса — датчиков косвенного действия. Здесь о

качестве готового продукта судят по косвенным параметрам без разделения материала на компоненты. Это позволяет создать достаточно простые дешевые датчики, способные в определенной мере характеризовать качество разделений. Однако случайный характер возмущающих воздействий, невысокий коэффици-

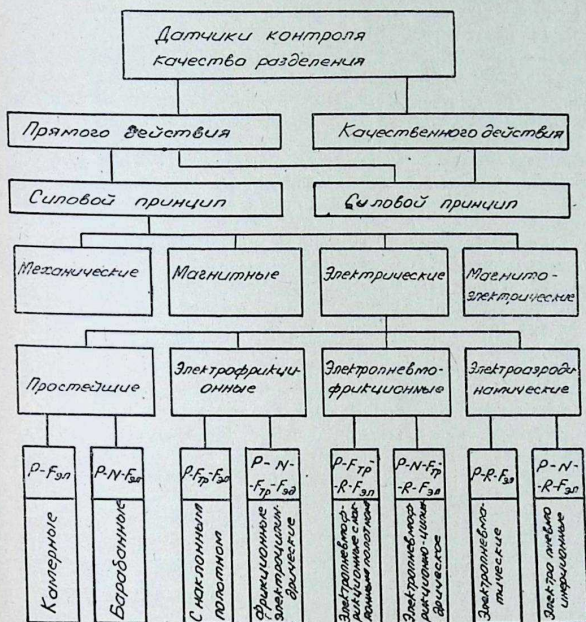


Рис. 1

ент корреляции косвенных параметров с качеством приводит к значительным ошибкам, часто сводя к нулю ожидаемый от автоматизации эффект. В последнее время рядом авторов [5] высказывается необходимость перехода к прямым методам определения качества разделения.

В дальнейшем каждый класс разделяется на подклассы по принципу распознавания (разделения) компонентов, составляющих исходный материал: силовой и ситовой для датчиков прямого действия и ситовой для датчиков косвенного действия.

Силовой принцип реализуется комбинацией из шести сил, используемых для сепарации материалов:

сила тяжести — P ,
сила инерции — N ,
сила трения — $F_{\text{тр}}$,
сила сопротивления среды — R ,
сила магнитного поля — F_m ,
сила электрического поля — $F_{\text{эл}}$.

По характеру сил, используемых в ДККР, подкласс разделяется на группы (рис. 1). Так, использование только механических сил $P - N - F_{\text{тр}}$ определяет группу с механическим сепарирующим органом. Добавление к ним магнитной силы дает группу с магнитным сепарирующим органом, а электрический — с электрическим сепарирующим органом. Кроме трех основных групп, возможна группа с электромагнитным сепарирующим органом — сочетание механических сил с магнитной и электрической.

По количеству и виду сил, используемых для сепарации, группы разделяются на четыре подгруппы. Так для третьей группы с электрическим сепарирующим органом (рис. 1) характерны следующие подгруппы:

простейшие (сочетание механических сил P и N с электрической);

электрофрикционные;

электропневмофрикционные;

электроаэродинамические.

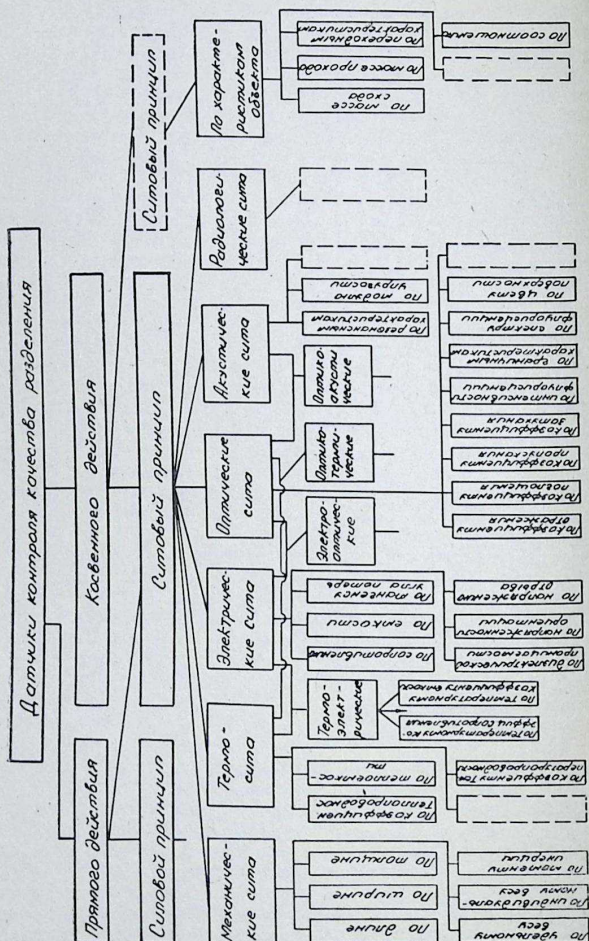
Наличие силы инерции определяет конструкцию датчика, а также и разряд. Таким образом, подгруппы делятся на два разряда. На рис. 1 приведена полная классификация по словому признаку только группы с электрическим рабочим органом как наиболее перспективного направления по созданию ДККР, основанного на принципе силового разделения. В настоящее время разработан датчик по определению засоренности в потоке, работающий по принципу $P - N - F_{\text{эл}}$ с подзарядкой и зоной разрядки (электрокоронный сепаратор транспортного типа) [12]. Классификация остальных групп и дальнейшая классификация рассмотренной аналогична классификации зерноочистительных машин, данной в литературе [1], поэтому она не приводится.

Необходимо отметить, что датчики, реализующие силовой принцип разделения, а также группа механических датчиков характеризуются использованием тех же физических закономерностей, что и в сепарирующих машинах. Последнее обуславливает наличие значительной ошибки, вызванной несовершенством их рабочих органов или самих способов разделения. И только работа с малой производительностью (анализ пробы) обеспечивает более высокое качество, чем в машине. Однако последнее ведет к увеличению инерционности датчиков. На практике при-

меняются датчики с механическим сепарирующим органом и с механическими ситами (решетный классификатор ВИМ, ВИСХОМ, автоматическая воздушная колонка ВИСХОМ и т. д.). Ошибка, заложенная в самом способе разделения, привела к поискам новых ДККР. В последнее время ведутся исследования по созданию датчиков, работа которых основана на принципе оптического сита, по коэффициенту отражения и по цвету поверхности частиц [7]. Ситовой принцип разделения является наиболее перспективным, поскольку разделение ведется по методу распознавания частиц. Теоретически возможно создание сита, разделяющего смесь по любому механическому, электрическому, тепловому или оптическому свойству его компонентов.

В предлагаемой классификации (рис. 2) подкласс реализующий ситовой принцип разделения разбит на шесть основных и четыре производных группы, из которых на практике нашли применение лишь две: механические и оптические сита. Сочетание основных групп значительно расширяет классификацию и дает возможность предсказать появление новых ДККР, реализующих эти принципы. Нами предлагается выделить в отдельные группы термоэлектрические, электрооптические и оптикоакустические сита. Группы разделяются на подгруппы по признаку распознавания. Например, механические сита разделяются на подгруппы с распознаванием по длине, ширине, толщине, удельному весу, индивидуальному весу, моменту инерции и т. д. Такая классификация позволяет предсказать появление датчиков заранее определенными свойствами. Например, анализ оптической группы позволил дополнить ее подгруппами с распознаванием по интенсивности флуоресценции, спектру флуоресценции, граничным характеристикам. Незавершенность классификации говорит не о ее недостатках, а наоборот, открывает значительные возможности по исследованию и созданию ДККР на новых принципах. Как уже указывалось выше, сложность и относительно большая стоимость ДККР прямого действия породили класс датчиков косвенного действия. Несмотря на недостатки и значительные погрешности, они будут применяться в системах автоматического регулирования (САР) там, где не требуется высокого качества, где стоимость ДККР прямого действия соизмерима со стоимостью машины и где их применение не дает эффекта. Рассмотрим правомерность классификации ДККР косвенного действия по ситовому принципу распознавания.

При определении качества разделения материала косвенным способом определяется какая-либо его характеристика, при этом разделение на компоненты не производится. Однако в данном случае роль сита выполняет фильтр (устройство пропускающее информацию определенного качества), а роль сторонней силы, которую «включает» сито, выполняет интегрирующее (вычислительное или указательное) устройство, производящее накопление, преобразование и передачу информации, поступающей че-



рез фильтр. Подобная интерпретация ситового принципа распознавания позволяет значительно расширить область действия косвенных параметров и приблизить их по точности к ДККР прямого действия.

Вышесказанное позволяет рекомендовать все группы датчиков прямого действия, реализующих ситовой принцип распознавания, для датчиков второго класса. Кроме того, нам кажется рационально выделить в особую группу косвенного действия, реализующие также ситовой принцип, в которых распознавание происходит по характеристикам объекта (материалам). Выделение в особую группу обосновано тем, что этот принцип возможно реализовать лишь для второго класса. Известные датчики [5, 9, 10], в которых качество разделения определяется по массе схода или прохода материала на конечном участке сепарирующей поверхности, по соотношению весов материала во фракциях или веса какой-либо фракции к весу поступающего. Определенный интерес представляет подгруппа с определением качества по переходным характеристикам [8]. Здесь качество сепарации оценивают по скорости изменения прохода.

Как видим, предлагаемая классификация не только позволила дать стройное описание известных схем и конструкций, но и предсказать новые принципы построения датчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изаков Ф. Я. Теория и вопросы оптимизации процессов обработки семян в электрическом поле коронного разряда. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. Челябинск, 1969.
2. Приборы и средства автоматизации. Под ред. профессора Тайца Б. А. т. 1, М., Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1963.
3. Приборы и средства автоматизации. Под ред. профессора Тайца Б. А. т. 2, М., Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1963.
4. Бородин Н. Ф. Классификация датчиков сельскохозяйственной автоматизации. Сборник научных трудов МИИСП, т. 9, вып. 1, 3, 4, 1972.
5. Актуальные вопросы послеуборочной обработки и хранения зерна.— Тезисы докладов II Всесоюзного научно-технического совещания. М., 1973.
6. Бородин Н. Ф., Тарушкин В. И. Электронный прибор с электросепарирующим органом для измерения в потоке засоренности семенного зерна. Авт. свидетельство № 347016. Бюллетень изобретения № 24, 1972.
7. Киреев М. В., Демко П. В. Оценка пропускной способности оптического счетчика-анализатора семенного материала. Записки Ленинградского СХИ, т. 231. Л., 1974.
8. Никкинен Н. Ф. Использование показателей переходного процесса Р. С. для оценки качества сепарации. Записки Ленинградского СХИ, т. 231, Л., 1974.
9. Громов А. Г. Обоснование косвенного способа автоматического контроля работы сепарирующих органов. Труды ЧИМЭСХ, вып. 32, Челябинск, 1971.
10. Борун Г. М., Изаков Ф. Я., Каменир Э. А., Яснов Г. А. Способ автоматического управления процессом сепарации сыпучих смесей на фракции в электрическом поле. Авт. свидет. № 404512. Бюлл. изобретения № 44, 1973.

Θ — абсолютная температура;
 K — постоянная Больцмана.

Изменение давления в цепи обратной связи емкости 22 запишется следующим образом:

$$\frac{dP_V}{dt} = \frac{K\Theta}{V} \frac{dN}{dt}. \quad (3)$$

Молекулярный расход газа $\frac{dN}{dt}$ через проводимость α дросселя

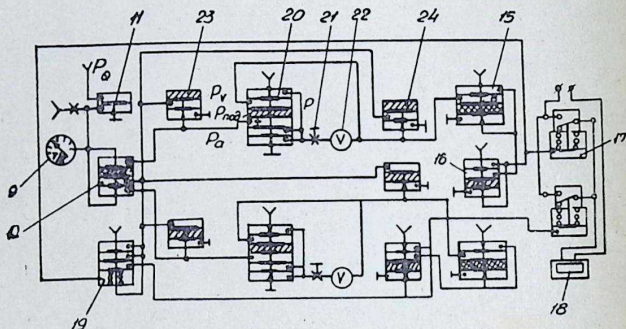


Рис. 2. Принципиальная схема интегрального измерителя расхода на элементах УСЭППА

21 на основании зависимости (1) и с учетом давления P_V в емкости 22 можно определить из уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha (P_Q - P_{\text{под}} + P_V - P_V) = \alpha (P_Q - P_{\text{под}}), \quad (4)$$

Подставив выражение 4 и 3 и проинтегрировав конечное уравнение, получим:

$$P_V = \frac{\alpha K \Theta}{V} \int_0^t (P_Q - P_{\text{под}}) dt. \quad (5)$$

Полученное уравнение и циклограмма работы (рис. 3) показывают, что измеритель работает по принципу непрерывного накопления сигнала до определенного уровня.

При достижении в емкости 22 давления, соответствующего пределу интегрирования и равного давлению подпора элемента сравнения 15, последний срабатывает, и с его выхода сигнал поступает в управляющую камеру элемента 16 «ДА». С выхода элемента «ДА» единичный сигнал поступает в камеру преобразователя 17, фиксируется счетчиком 18, затем идет на триггер 19.

Выходной сигнал триггера подается в переключающую камеру переключателя 12 и к клапанам 23, 24, которые сбрасывают давление в верхней цепочке интегрирования и при этом включается нижняя цепочка. Таким образом, происходит непрерыв-

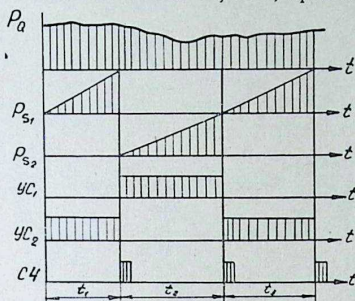


Рис. 3. Циклограмма работы измерителя расхода по уровню

ное интегрирование сигнала, пропорционального мгновенному расходу сыпучего материала, причем итоговая информация о производительности будет зафиксирована на счетчике.

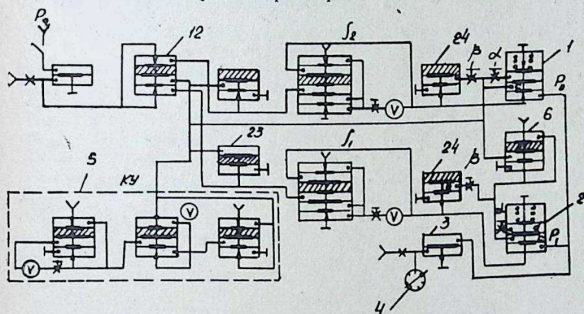


Рис. 4. Принципиальная схема интегрального измерителя расхода по времени

Описанный выше измеритель целесообразно применять для целей контроля как мгновенного расхода, так и получения информации о средней производительности. Вариант реализации (интегрирования по времени) на пневмоэлементах с использованием выходного сигнала P_Q расходомера РПЛ приведен на рис. 4.

Схема, как и приведенная на рис. 2, включает две интегрирующие цепочки, выходы которых через триггеры 1, 2 и глухую камеру повторителя 3 подключены к показывающему прибору 4. Переключение интегрирующих цепочек осуществляется с помощью командного устройства (КУ) 5, представляющего собой триггер со счетным входом, реализованный на пневмореле, емкостях и дросселе. Выход командного устройства подключен к управляющим камерам переключателя 12, «НЕ» 6, триггера 1 и клапанам 23, 24. К средней камере клапана 24 и переключающей камере триггера 1 управляющий сигнал поступает через дроссе-

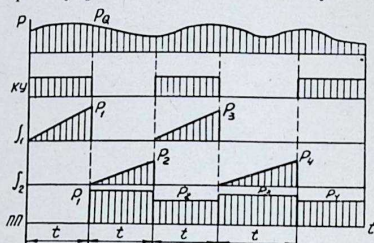


Рис. 5. Циклограмма работы измерителя расхода по времени

ли β и α . Аналогично подключена и силовая камера элемента «НЕ» 6 к клапану сброса и камерам триггера 2.

Циклограмма работы измерителя приведена на рис. 5.

В зависимости от уровня выходного сигнала P_Q в период времени интегрирования уровень накопленного сигнала, фиксируемый показывающим прибором, будет различный (рис. 5). Такая система может быть применена для получения информации о характере работы зерноочистительной машины или о количестве продукта, получаемого с единицы площади уборочной машиной.

Современные методы оценки качества работы уборочной машины основаны на измерении количества теряемого с соломой и половой зерна. Однако трудность выделения зерна из всей выходящей из машины обработанной массы, а также слабая корреляция между выделенным и оставшимся в соломе зерном не позволяют качественно проводить оценку работы уборочной машины. Оценочным показателем работы уборочной машины, в частности зерноуборочного комбайна, может быть намолот H с единицы площади:

$$H = \frac{Q}{Bv} \text{ кг/м}^2,$$

где Q — количество зерна, поступающего в бункер комбайна в единицу времени, кг/с ;

B — ширина захвата, м;
 v — скорость движения, м/с.

Для реализации приведенной зависимости с помощью интегрального измерения расхода, интегрирование необходимо проводить по пути, т. е. чтобы цикл суммирования оставался постоянным. В таком случае, сравнивая полученное показание прибора с предыдущим, можно оценить результат проведенного управляющего воздействия или соответствующей регулировки

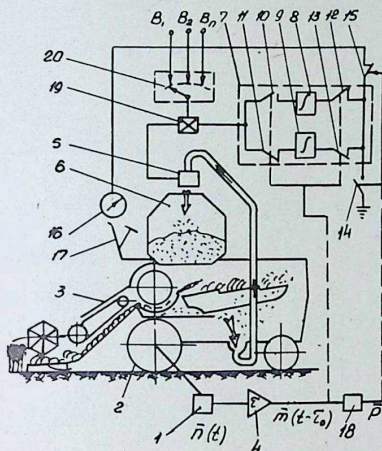


Рис. 6. Принципиальная схема интегрального измерителя расхода по пути

машины. Принципиальная схема такого измерителя приведена на рис. 6 [2]. Он содержит импульсный датчик пути 1, кинематически связанный, например, с колесом 2 ходовой части уборочной машины 3. Импульсы датчика в пути задерживаются в блоке 4 запаздывания и формирования сигнала на время t_0 , которое равно времени прохождения убираемого продукта от момента поступления его в машину до места установки датчика 5. Датчик 5 измеряет количество зерна поступающего в бункер 6 комбайна. Датчик расхода 5 соединен с интегрирующим блоком 7, имеющим два параллельно включенных интегратора 8 и 9.

Ключи 10, 11, 12, 13, 14, 15 управляются от импульсов, формируемых на выходе блока запаздывания 4. Блок интеграторов 7 через ключи 12, 13 и 15 подключен к показывающему прибору 16, установленному на площадке водителя 17. Для согласования их моментов сбрасывания интеграторов на нуль и подключения их

к показывающему прибору ключи 14, 15 управляются от импульсатора 18, на вход которого поступают импульсы от блока запаздывания 4. Поскольку уборочная машина может работать с различной шириной захвата, то сигнал датчика расхода 5 умножается в устройстве 19 на соответствующий масштабный коэффициент.

Расход готового продукта, измеряемый датчиком 5, есть результат обработки убираемой массы t_0 с назад, равному времени прохождения продукта от момента поступления в ма-

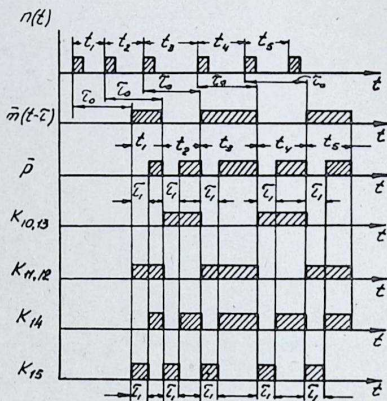


Рис. 7. Циклограмма работы ключей и блока задержки измерителя расхода по пути

шину до попадания в накопительную емкость. Поэтому импульсы датчика пути 1 задерживаются на время t_0 в блоке запаздывания. Кроме того, в блоке 4 эти импульсы формируются в виде прямоугольных импульсов. Продолжительность этих импульсов и интервалов между ними равны соответствующим периодам чередования импульсов от датчика пути.

Для того, чтобы на выходе интегрирующего блока был непрерывный ступенчатый сигнал, он выполнен из двух параллельно включенных интеграторов 8 и 9, которые включаются поочередно. Таким образом, осуществляется интегрирование сигнала датчика 5 в пределах каждого периода между импульсами. Подключение интеграторов осуществляется ключами 10, 11, 12 и 13. Циклограмма работы ключей и блока 4 задержки и формирования импульсов показана на рис. 7.

Поскольку некоторые уборочные машины могут работать с различной шириной захвата, то между датчиком расхода 5 и ин-

тегрирующим блоком 7 может быть установлено звено умножения 19, которое в зависимости от положения переключателя 20 умножает сигнал датчика 5 на соответствующий поправочный коэффициент $B_1, B_2...$ Поэтому при различной ширине захвата сигнал, поступающий к прибору, пропорционален количеству продукта, убираемого с единицы площади. Примером уборочной машины, работающей с различной шириной захвата, может быть зерноуборочный комбайн. Ширина его захвата зависит от ширины жатки, навешиваемой на него (прямое комбайнирование) или формирующей валок (раздельный способ уборки) на предшествующей технологической операции.

Пример реализации блока задержки для предложенного интегрального измерителя намолота подробно описан в работе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Фудим Е. В. Пневматическая вычислительная техника. М., «Наука», 1973.
2. Шеповалов В. Д., Наконечный И. И., Шугуров М. М. Устройство для определения продуктивности работы уборочной машины. Авторское свидетельство № 395041. Бюлл. изобр., 1973, № 35.
3. Шеповалов В. Д. и др. Устройство задержки. Авторское свидетельство № 402142. Бюлл. изобр. № 41, 1973.
4. Шугуров М. М. Экспериментальное исследование средств автоматического контроля потоков сыпучих материалов.— В кн. «Автоматическое управление сельхозмашинами». Труды ВИСХОМа, вып. 79, 1974.

Бабаев Б. М.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ОПТИМИЗАТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Можно указать на ряд характерных примеров технологических процессов сельскохозяйственного производства, в которых возникают задачи экстремального управления (оптимизации). Например, при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания задача оптимизации состоит в выборе некоторого оптимального числа оборотов, соответствующего максимальной мощности двигателя при различных положениях дроссельной заслонки. При управлении уборочной машиной возникает задача оптимизации скорости движения, при наличии возмущающих факторов (урожайность участков, влажность и т. п.), с целью максимализации значения функции Φ . Аналогичные задачи возникают в технологических процессах сепарации сыпучих продуктов.

Приведенные выше примеры не исчерпывают весь перечень экстремальных задач, однако и их достаточно, чтобы подчеркнуть актуальность разработки средств автоматической оптимизации технологических процессов.

Для преобладающего большинства процессов сельскохозяйственного производства характерным является наличие возмущений, меняющихся случайным образом. Поэтому очевидно, что здесь необходимо применять системы экстремального управления, использующие принцип управления с обратной связью по показателю качества. В общем случае такая система содержит объект оптимизации, характеризующийся некоторым критерием оптимальности; датчик показателя эффективности; оптимизатор-устройство, осуществляющий поиск и поддержание значения входной величины управляемого объекта; усилитель сигнала и исполнительный орган, который выполняется обычно в виде реверсивного шагового двигателя.

Для успешного решения конкретных задач оптимизации первоепенное значение имеет выбор типа оптимизатора как основного элемента системы экстремального управления.

Анализ функционирования оптимизаторов известных типов позволяет сделать вывод, что для целей управления сельскохозяйственными экстремальными объектами целесообразно применение оптимизаторов шагового типа, состоящих из следующих элементов: импульсного формирующего дискретный сигнал дат-

чика показателя эффективности запоминающего устройства; элемента сравнения; логического устройства и импульсного элемента, управляющего исполнительным органом.

Как показала практика, оптимизаторы, выполненные по описанной выше структуре, мало пригодны для управления экстремальными объектами сельскохозяйственного производства главным образом из-за низкой помехоустойчивости. В этом случае большое значение имеют методы повышения точности и помехо-

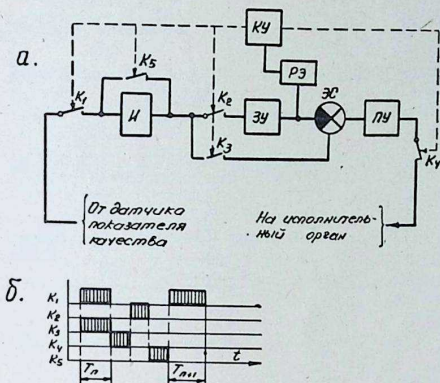


Рис. 1. Блок-схема оптимизатора:

И — интегратор; ЗУ — запоминающее устройство; ЭС — элемент сравнения; ЛУ — логическое устройство; КУ — командное устройство; ГТ — генератор тактов; $K_1 \div K_5$ — ключи коммутации

устойчивости оптимизаторов. Для оптимизаторов шагового типа наиболее эффективным и сравнительно просто реализуемым является метод интегрирования.

Для обеспечения устойчивости поиска можно рекомендовать периодическое принудительное реверсирование исполнительного органа с помощью специального устройства (коммутатора). При этом принудительные реверсы целесообразно осуществлять [1] не по времени, а по счету шагов исполнительного органа в одном направлении.

Для обеспечения относительно высокого быстродействия системы экстремального регулирования целесообразно, во-первых, совмещать рабочие и пробные шаги; во-вторых, рабочие шаги должны быть пропорциональны удаленности системы от экстремума [2, 3].

На рис. 1а приведена блок-схема оптимизатора с интегратором и постоянным шагом. Порядок функционирования элемен-

тов блок-схемы осуществляется командным устройством через ключи $K_1 - K_5$. Циклограмма работы ключей приведена на рис. 1б.

Оптимизатор реализует закон управления:

$$\Sigma_n = \text{Sign} \left\{ \int_{T_n} y_n(t) dt - \int_{T_n} y_{n-1}(t) dt \right\} E_{n-1};$$

при $\delta \leq \left\{ \int_{T_n} y_n(t) dt - \int_{T_n} y_{n-1}(t) dt \right\}; \quad (1)$

$$\Sigma_n = \Sigma_{n-1}; \text{ при } \delta > \left\{ \int_{T_n} y_n(t) dt - \int_{T_n} y_{n-1}(t) dt \right\}.$$

где Σ_n — знак приращения регулирующего воздействия;

δ — зона нечувствительности;

n — номер интервала осреднения;

T_n — интервал осреднения.

Для построения систем, работоспособных в режимах быстрого дрейфа экстремальных характеристик, можно рекомендовать оптимизатор с коммутатором.

Блок-схема такого оптимизатора приведена на рис. 2а. Здесь логическое устройство связано с коммутатором импульсов КИ, который через определенное количество шагов производит поворочный реверс исполнительного органа. Циклограмма работы ключей приведена на рис. 2б

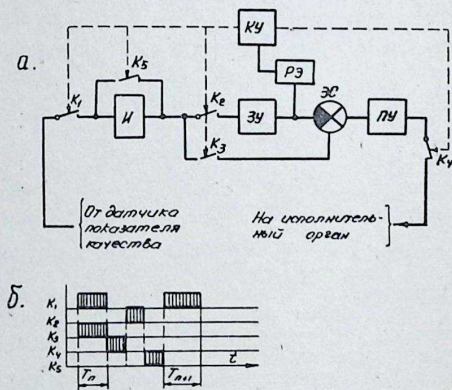


Рис. 2. Блок-схема шагового оптимизатора с коммутаторами:

И — интегратор; ЗУ — запоминающее устройство; ЭС — элемент сравнения; ЛУ — логическое устройство; КУ — командное устройство; ГТ — генератор тактов; СИ — счетчик импульсов; КИ — коммутатор импульсов; $K_1 + K_7$ — ключи коммутации

Алгоритм функционирования такого оптимизатора имеет вид:

$$\Sigma_n = \text{Sign} \cdot \Sigma_{n-1}; j_n = \int_{t_{n-1}}^{t_n} (y_t - y_{n-1}) dt; |j_n| = \text{const}, \quad (3)$$

где y_t — текущее значение показателя качества;

t_n — момент времени, когда интеграл достигает порогового значения j_n , равного зоне нечувствительности исполнительного органа, формирующего сигнал управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либерзон Л. М., Родов А. Б. Шаговые экстремальные системы. М., «Энергия», 1969.
2. Либерзон Л. М., Родов А. Б. Системы экстремального регулирования. М., «Энергия», 1965.
3. Самонастраивающиеся системы. Под ред. проф. Чинаева П. И. Киев, «Наукова думка», 1969.

Борок А. М.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ РАСПЫЛИТЕЛИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ

Начало исследований по электростатическому опыливанию растений относится примерно к 1943 году. Наибольшую известность получили опыты с зарядкой порошков в поле коронного разряда, проводимые во Франции М. Потенье. Отмечалось увеличение осаждения частиц химиката на пластинках и листьях в 8—40 раз по сравнению с незаряженным аэрозолем. Наиболее обстоятельно этот метод изучен в работах А. В. Китаева, предложившего в 1957 году оригинальную конструкцию пневматических распылителей с индуктивной зарядкой струи жидкости [1, 2, 3].

Эффективность применения электроаэрозолей инсектицидных препаратов проверяли Л. Ю. Виснапуу и Я. Ю. Рейнет [4, 5]. По данным авторов удельный заряд аэрозоля из водных растворов зависит от производительности распылителей. Например, при подаче раствора в количестве 18,7 мл в минуту удельный заряд равнялся 14,2 мкКл/мл., при 100 мл./мин он уменьшался до 2,5 мкКл/мл., а при 200—250 мл./мин жидкость практически не заряжалась. Причина столь неблагоприятного для использования распылителей явления заключалась, очевидно, в действии объемного заряда, уменьшающего напряженность электрического поля у поверхности контактирующего электрода [6].

С целью увеличения производительности нами предложены распылители с большой поверхностью электродов. При этом плотность конвективного тока и объемного заряда ионов будут меньшими и не влияют так сильно на величину удельного заряда. Для более полного отражения капель от поверхности электрода его делают вращающимся. При зарядке дустов это не является необходимым.

Схема экспериментального стенда с электростатическим распылителем показана на рис. 1. Заряжающее устройство представляет собой цилиндрический воздушный конденсатор, внутренний электрод которого диаметром 12 см приводится во вращение отдельным электродвигателем. На поверхность этого электрода с помощью шести небольших пневматических форсунок подается распыленная жидкость. Над форсунками установлен осевой вентилятор, выдувающий заряженный аэрозоль со

скоростью до 27 м/с к коллектору, укрепленному на изоляторах из оргстекла. Коллектор состоит из латунной сетки и алюминиевого корпуса с криволинейными каналами для лучшего улавливания частиц. Высокое напряжение 5—30 кВ подводится к внешнему электроду-индуктору и коллектору от регулируемого однофазного выпрямителя с умножением напряжения. Токи изме-

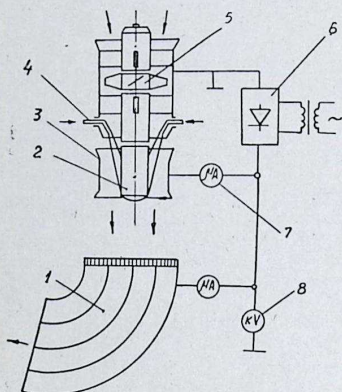


Рис. 1. Схема стенда с распылителем:

1 — коллектор; 2 — вращающийся электрод; 3 — индуктор; 4 — форсунка; 5 — вентилятор; 6 — выпрямитель; 7 — микроамперметр; 8 — киловольтметр

рядка. Величина плеча звездной точки $\alpha = 2$. Относительные величины факторов определяются из уравнений:

$$x_1 = \frac{n_3 - 6000}{2000}; \quad x_2 = \frac{U - 17,5}{6,25}; \quad (1)$$

$$x_3 = \frac{n_b - 4000}{1000}; \quad x_4 = \frac{G - 60}{20}.$$

Результаты измерений для положительно заряженного аэрозоля приведены в табл. 2. При отрицательной зарядке капель ток и удельный заряд получались несколько меньше, примерно на 6—8%. Опыты 1—16 и 24—31 ставились в трех повторностях. Среднее значение тока коллектора T_k записано в табл. 2 в микроамперах. Величина удельного заряда получена путем деления тока на расход жидкости $\frac{q}{m} = \frac{I_k}{G}$ и имеет размерность $\frac{Кл}{кг} \cdot 10^{-3}$.

После статистической обработки результатов были составлены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс

ряются микроамперметрами М-109. Скорость вращения вентилятора и электрода регулируется автотрансформаторами. Расход жидкости устанавливается вентилем по ротаметру РС-3.

При исследовании процесса зарядки использовался метод оптимального планирования эксперимента. Проверялось влияние на ток коллектора и удельный заряд следующих факторов:

- 1) скорости вращения электрода n_3 ;
- 2) напряжения выпрямителя U ;
- 3) скорости вращения вентилятора n_b ;
- 4) расхода распыляемой жидкости G .

В табл. 1 даны значения факторов в точках ротатбельного плана второго по-

Таблица 1

Значения факторов в точках плана

Фактор	Единица измерения	Обозначение	Точка плана x_k				
			-2	-1	0	+1	+2
Скорость вращения электрода	об/мин	$n_э$	2000	4000	6000	8000	10000
Напряжение выпрямителя	кВ	U	5	11,25	17,5	23,75	30
Скорость вращения вентилятора	об/мин	$n_в$	2000	3000	4000	5000	6000
Расход жидкости	%	G	20	40	60	80	100
	мл/с	"	1,67	3,33	5,0	6,67	8,34

при 5% уровне значимости. Вычисленные по ним значения $\hat{I}_k$ и $\frac{\hat{q}}{m}$ также приведены в табл. 2.

Уравнение конвективного тока:

$$I_k = 15,2 + 0,406x_1 + 5,51x_2 + 1,11x_3 + 3,14x_4 + 0,146x_1x_3 + 0,911x_2x_3 - 0,229x_1x_4 + 0,763x_2x_4 + 0,28x_1^2 - 0,35x_3^2. \quad (2)$$

Из уравнения тока следует:

1. В пределах исследуемой области влияние числа оборотов электрода незначительно.

2. С увеличением напряжения и расхода жидкости ток непрерывно растет.

3. Имеется оптимальное значение скорости вращения вентилятора, после превышения которого ток начинает падать. Последнее может быть объяснено отклонением струи аэрозоля при большой скорости дутья от контактирующей поверхности электрода.

Уравнение удельного заряда:

$$\frac{q}{m} = 3,14 + 0,1x_1 + 1,15x_2 + 0,218x_3 - 0,466x_4 + 0,034x_1x_3 + 0,193x_2x_3 - 0,077x_1x_4 - 0,228x_2x_4 + 0,041x_1^2 - 0,087x_3^2 + 0,12x_4^2. \quad (3)$$

Для упрощения анализа принимаем по условию отсутствия случайных пробоев максимальное напряжение $U = 30$ кВ, т.е. $x_2 = 2$. Поскольку обороты электрода и вентилятора мало влияют на удельный заряд, рассмотрим случай их вращения на одном валу с $n = 6000$ об/мин.

$$x_1 = 0 \quad x_3 = 2$$

Таблица 2

План и результаты эксперимента

№ опыта	Фактор				Взаимодействие								Опыт		Расчет	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₄	X ₂ X ₄	X ₃ X ₄	X ₁ X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₄	$\bar{I}_M$	$\frac{S}{M}$	$\bar{I}_M$	$\frac{S}{M}$
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	27,05	4,06	27,42	4,14
2	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	18,89	5,68	19,00	5,68
3	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	20,70	3,10	22,01	3,25
4	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	12,53	1,88	13,06	1,91
5	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	26,42	3,97	26,78	4,02
6	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	15,56	4,67	15,74	4,79
7	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	8,14	2,44	7,69	2,54
8	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	11,10	1,67	11,29	1,79
9	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	17,20	5,17	17,44	5,26
10	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	21,07	3,16	21,95	3,27
11	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	12,23	1,83	12,41	1,79
12	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	10,80	1,62	11,23	1,81
13	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	6,90	2,07	6,13	2,12
14	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	14,70	4,41	14,76	4,51
15	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	7,84	2,35	8,08	2,42
16	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	7,10	2,13	7,10	2,14
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,50	3,10	15,20	3,14
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,10	3,02	15,20	3,14
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,90	2,98	15,20	3,14
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,80	2,96	15,20	3,14
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,00	3,00	15,20	3,14
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,30	3,06	15,20	3,14
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,60	3,11	15,20	3,14
24	-α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,06	3,01	15,51	3,11
25	+α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,23	3,45	17,13	3,50
26	0	-α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,37	0,71	4,18	0,84
27	0	+α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,94	5,39	26,22	5,44
28	0	0	-α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,06	2,41	11,58	2,36
29	0	0	+α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,14	3,03	16,02	3,23
30	0	0	0	-α	0	0	0	0	0	0	0	0	7,40	4,43	8,92	4,55
31	0	0	0	+α	0	0	0	0	0	0	0	0	22,23	2,66	21,48	2,69

При этих параметрах имеем

$$\frac{q}{m} = 6,3 - 0,922x_1 + 0,12x_1^2. \quad (4)$$

Следовательно, удельный заряд аэрозоля непрерывно падает с увеличением расхода. Однако, как видно из кривых рис. 2, характеристика исследуемого распылителя значительно более полого, чем у ранее разработанных генераторов электроаэрозолей. Другое существенное преимущество системы ЧИМЭСХ заключается в том, что производительность распылителя зависит от его размеров и может быть сделана достаточно большой.

Визуальное определение аэрозоля на стенде было затруднено ввиду большой скорости потока, поэтому средний диаметр

капель находился расчетным путем из показаний микроамперметра и ротаметра следующим образом. Индуцированный заряд капли в предположении шаровой формы и проводящей жидкости равен

$$q = \frac{3}{4} \pi E_0 \varepsilon_0 d^2 K, \quad (5)$$

где d — диаметр, м;

E_0 — напряженность поля, В/м;

$\varepsilon = 0,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м — электрическая постоянная.

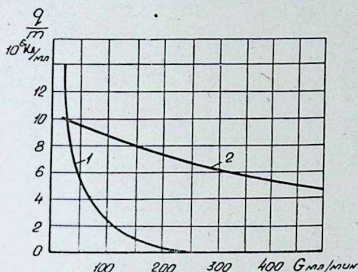


Рис. 2. Зависимость удельного заряда от расхода жидкости:

1 — генератор ТГУ; 2 — распылитель ЧИМЭСХ

Масса капли

$$m = \gamma \frac{\pi d^3}{6}.$$

γ — плотность воды, равная 10^3 кг/м³, откуда расход жидкости

$$G = \frac{I_k m}{q} = 2,5 \cdot 10^{13} \frac{I_k d}{E_0}. \quad (6)$$

Средний диаметр капель

$$d = 4 \cdot 10^{-14} \frac{G E_0}{I_k} = 4 \cdot 10^{-14} \frac{E_0}{q/m}. \quad (7)$$

Величина E_0 получалась делением разности потенциалов на расстояние между электродами, равное $3 \cdot 10^{-2}$ м.

Вычисленные значения среднего диаметра капель находились в пределах $5 \cdot 10^{-6} \div 10^{-5}$ м, т. е. не превышали 10 микрон.

Действительные параметры аэрозоля будут определены при дальнейших испытаниях распылителей в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев А. В. Уникальная электризация аэрозолей. «Вестник сельскохозяйственной науки», 1957, № 9.
2. Китаев А. В. Дунский В. Ф. Электростатическое опрыскивание. «Защита растений», 1958, № 4.
3. Китаев А. В. «Возможность применения электростатических сил для осаждения химикатов в целях защиты растений». Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1958.
4. Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю. О применении аэрозолей. «Ветеринария», 1966, № 3.
5. Ярных В. С. «Аэрозоли в ветеринарии» М., «Колос», 1972.
6. Борок А. М. Анализ работы электростатического распылителя и источника зарядов ЭГД-генератора с учетом подвижности частиц. Челябинск. Труды ЧИМЭСХ, вып. 85, 1974.

Пелипенко А. М., Белоковский И. М.

К ВОПРОСУ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПИТАНИЯ ХЛОПКОМ-СЫРЦОМ СУШИЛЬНО-ОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Существующая технология переработки хлопка-сырца предусматривает использование различных машин и оборудования, оптимальность работы которых зависит от равномерности подачи сырья. Настоящая работа посвящена вопросу регулирования интенсивности питания хлопком-сырцом сушильно-очистительных машин при двух вариантах подачи: 1) посредством пневматического транспортного устройства (ПТУ), 2) посредством валикового питательного устройства.

1-й вариант. Задача подачи хлопка-сырца во всасывающий патрубок пневматического транспортного устройства (ПТУ) заключается в поддержании заданного расстояния между кромкой патрубка и поверхностью массы хлопка-сырца, который должен быть втянут в него. Это значит, что перемещение патрубка должно происходить по вертикали специальным исполнительным механизмом по заданию, полученному от датчика через управляющий орган. Некоторые особенности отражения светового потока от поверхности хлопка-сырца позволили использовать это свойство для характеристики возмущения при линейном перемещении. Сложность заключается в том, что различные сорта хлопка-сырца обладают не одинаковой способностью отражения светового потока. Кроме того, влажность, засоренность, способы сбора и способ укладки его создают определенные изменения в профиле поверхности хлопка-сырца, который должен быть захвачен патрубком ПТУ. На способность хлопка-сырца отражать световой поток оказывает также влияние и время суток (дневной свет).

Все это потребовало специальных исследований с целью установления условий использования отражающих способностей хлопка-сырца при оптимизации рассматриваемого процесса. В любом случае кривизна поверхности является случайной стационарной величиной, которая может характеризоваться математическим ожиданием и дисперсией. Накопление материалов позволило выделить три основных группы, характеризующих криволинейность поверхности: малую «М», среднюю «С» и большую «Б», данные которых представлены в табл. 1 в мм. В таблице показаны данные для хлопка-сырца машинного сбора.

Изучение отражающей способности хлопка-сырца проводилось для различных погодных условий (дневной свет). Полученные результаты сопоставлялись с данными при отражении светового потока от плоскости белого цвета. Эксперименты проводились на стенде (рис. 1), представляющем собой макет патрубка в натуральную величину. На конце патрубка 1 укреплены с одной стороны источник света 2 (лампа мощностью 75 Вт.), а с другой стороны рамка 3 с тремя вариантами расположения отверстий для поперечного измерения освещенности отраженного светового потока в каждом из них. При одном и том же угле

Таблица 1

Наименование группы	Способ укладки	Сорт		
		I-II	III-IV	курачный
Малая „М“	механический	5,3	4,8	4,2
	ручной	6,2	5,4	5,0
Средняя „С“	механический	9,8	9,1	8,5
	ручной	10,8	9,9	8,9
Большая „Б“	механический	14,2	13,5	12
	ручной	16	15,1	13,8

наклона излучателя за счет кривизны поверхности и расстояния от кромки патрубка до поверхности, отраженный световой поток может попадать в одну из трех точек I, II, III. При этом освещенность во всех трех вариантах может изменяться в довольно значительных пределах и может быть выбрана после установления оптимальных условий, которые определяются экспериментально.

В работе рассматривалась также возможность изменять и угол наклона излучателя α . В этом случае наиболее благоприятным было расположение приемника отраженного светового потока по варианту I. Чтобы уменьшить влияние дневного света на показания датчика отраженного светового потока, в зонах изменения укреплялись тубусы различной длины. Результаты обработки экспериментов позволили определить его размеры, при которых дневной свет оказывал наименьшее влияние на искомый параметр ($L = 120$ мм).

В результате исследований установлено, что наиболее целесообразно располагать отверстия в рамке по первому варианту. Наибольший фотоэффект может быть достигнут при определенном расстоянии и между кривой патрубка и поверхностью ма-

тернала, определяемое возможностью подсоса воздуха. Опыт работы показал, что минимальное расстояние должно быть не менее $H = 60$ мм. При установке какого-либо рыхлящего рабочего органа на конце патрубка для более интенсивной подачи хлопка-сырца в ПТУ это расстояние необходимо увеличить. Практически оно может достигать значения $H = 140$ мм.

На рис. 2 показаны графические зависимости между освещенностью E и расстоянием H для различных сортов хлопка-сырца при ручном способе укладки его и при неизменном угле α . Следовательно, оптимальное расстояние от кромки исследуемого патрубка до поверхности составляет $H = 100$ мм. Это расстояние и следует поддерживать в процессе подачи.

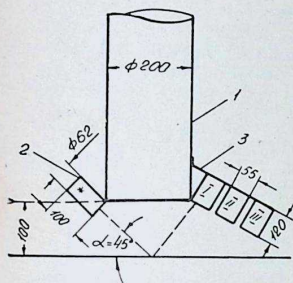


Рис. 1. Экспериментальный стенд

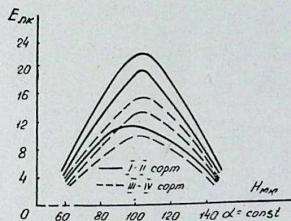


Рис. 2. Зависимость освещенности E от расстояния H

Поддерживая заданное значение фототока, мы сможем задать исполнительному механизму условия перемещения патрубка, приближая его к поверхности хлопка-сырца или удаляя.

2-й вариант. Исследование существующих способов регулирования скоростных режимов питателей с помощью механических устройств ИВА, фрикционной конической передачи, гидравлического привода и др. показало, что они не могут обеспечить плавное регулирование в необходимом диапазоне, а также поддерживать соответствующий момент привода при изменении скорости. Поэтому была рассмотрена возможность изменения скоростных режимов питающих устройств с помощью электрического привода. Это устройство состоит из асинхронного двигателя M с электромагнитной муфтой скольжения ЭМС, редуктора P с большим передаточным числом, тахогенератора ТГ и рабочих питающих валиков ПВ. Двигатель M работает с постоянной скоростью, передавая через электромагнитную муфту и редуктор необходимый момент для питающих валиков. Конт-

роль за скоростным режимом осуществляется посредством тахогенератора. Особенность действия привода заключается в том, что двигатель работает на прямолинейном участке естественной механической характеристики, т. е. в зоне малых скольжений ($p_0 - p_{кр}$), при которых величина передаваемого момента достигает максимального значения $M_{кр}$. Эта зона находится обычно в диапазоне $(1-0,9) p_0$. Для упрощения рассуждений принимаем, что $p_{кр} \approx p_0$, а регулирующим элементом в принятом приводе является электромагнитная муфта ЭМС.

В приводах АД-ЭМС момент M_g , развиваемый двигателем в установившемся режиме, равен моменту M_m на выходном валу муфты, определенному технологическим процессом питающего устройства, равны также и их приращения:

$$\Delta M_d = \Delta M_m. \quad (1)$$

Момент, передаваемый муфтой, является нелинейной функцией тока i_b в обмотке возбуждения и объемной плотности ρ хлопка-сырца. Приращение этой нелинейной функции определяется на основе разложения ее в ряд:

$$\Delta M_m = f(i_b, \rho) = \frac{dM_m}{di_b} \Delta i_b + \frac{dM_m}{d\rho} \Delta \rho. \quad (2)$$

Нагрузка на привод определяется режимом работы рабочего механизма (питающих валиков). Известно, что работа питающих валиков протекает с постоянным изменением нагрузки, т. е. момента сопротивления M_c . При возникновении какого-либо возмущающего воздействия моменты и скорость получают приращения ΔM_m , ΔM_c , $\Delta \rho$. В задачу питающего устройства входит поддержание заданной производительности за счет изменения скорости питающих валиков с учетом величины скольжения в ЭМС и регулирования величины передаваемого момента. Поэтому при выдаче хлопка-сырца питающими валиками в рабочую машину режим ЭМС должен быть таким, чтобы момент, передаваемый от ЭМС к питающим валикам, обеспечивал примерно постоянную производительность, т. е. момент сопротивления рабочего механизма уравнивался бы моментом, развиваемым приводом. Известно, что производительность питающего устройства Q пропорциональна объемной плотности хлопка-сырца и скорости питающих валиков. Для поддержания заданной производительности питателя, например при повышении объемной плотности, необходимо снизить число оборотов питающих валиков. Нами установлено, что производительность питателя имеет нелинейную зависимость от скорости питающих валиков. Таким образом, задача сводится к тому, чтобы изменять скорость питающих валиков в соответствии с вышеприведенными технологическими особенностями процесса. С этой целью нами была построена номограмма, позволяющая установить графически зависимость изменения скорости питающих валиков от изме-

нения объемной плотности хлопка-сырца с целью обеспечения примерно постоянной производительности питателя. Номограмма построена на случай работы питающих валиков без учета влияния ЭМС (рис. 3). В первом квадранте дана полученная нами зависимость $Q = f(n)$, в четвертом квадранте зависимость $Q = f(\rho)$. При построении номограммы значения Q , ρ , n принимались одинаковыми для обеих функций. При наличии общей переменной Q можно получить зависимость $n = f(\rho)$ и построить ее во втором квадранте.

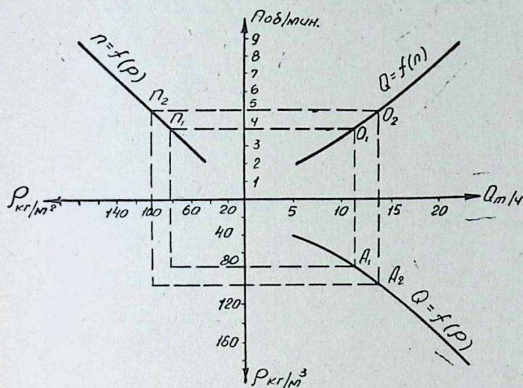


Рис. 3. Номограмма изменения скорости питающих валиков в зависимости от изменения объемной плотности хлопка-сырца (без учета ЭМС)

Таким образом, из номограммы видно, что получение постоянной производительности может быть обеспечено либо изменением объемной плотности ρ , либо изменением скорости питающих валиков n . Следовательно, получение постоянной производительности приводит к изменению усилий на питающие валики, изменяя их момент. При этом особенности работы ЭМС приведут к изменению скольжения S , представляющего величину разности скорости вращения входного (ведущего) вала $n_{вх}$ и выходного (ведомого) вала муфты $n_{вых}$. Поэтому ниже будет рассмотрена зависимость

$$S = f(\rho).$$

Имея зависимость $M = f(\rho)$, полученную для питающих валиков и представленную в четвертом квадранте (рис. 4), и зная механическую характеристику ЭМС $M = f(n)$, изображенную в первом квадрате того же рисунка, можно аналитическим или графическим способом, методом исключения общей переменной,

которой в нашем случае является момент M , получить зависимость скорости питающих валиков $n = f(\rho)$ с учетом особенностей работы ЭМС.

При изменении момента нагрузки и измененном значении тока возбуждения скорость вращения ведомой части муфты также изменяется. Например, при увеличении момента выше установ-

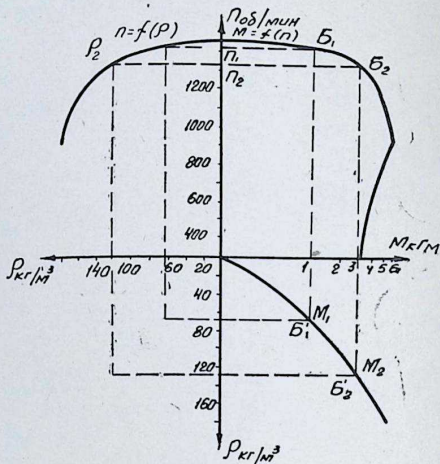


Рис. 4. Номограмма изменения скорости питания валиков от изменения объемной плотности хлопка-сырца с учетом особенностей работы ЭМС

ленного значения скорость вращения электрической муфты падает за счет увеличения скольжения S . В связи с этим увеличивается индуцированная ЭДС, что, в свою очередь, приводит к росту момента муфты. Однако новое равновесие момента муфты нагрузки наступает при более низком значении скорости вращения.

Установив таким образом связь между скольжением S и объемной плотностью ρ , $S = f(\rho)$ выбираем режим питающего устройства. Этот режим характеризуется точкой B_1 . При заданной объемной плотности ρ_1 , характеризующей производительность питающего устройства, электромагнитная муфта будет передавать момент M_1 . Изменение нагрузки, например увеличение объемной плотности до значения ρ_2 , приводит к увеличению момента до значения M_2 (точка B_2), что при $i_b = \text{const}$ равносильно уменьшению скорости выходного вала муфты скольжения от n_1

до p_2 . С изменением p_2 перемещается точка B_2 . Приращение момента приводит к изменению режима работы питающего устройства.

Таким образом, изменение фактических свойств хлопка-сырца приводит к изменению значения скорости ЭМС. Однако зависимость $p = f(\rho)$ четвертого квадранта является нелинейной (как видно по кривой рис. 2). Поэтому для достижения необходимой скорости питающих валиков с целью получения заданной производительности, необходимо изменять значения величины тока возбуждения ЭМС, которая может быть определена в соответствии с известной формулой

$$i_v = \sqrt{\frac{M_m}{\sqrt{\frac{p_{вхм} - p_{выхм}}{K}}}} \quad (3)$$

где M_m — момент передаваемый муфтой;

$p_{вхм}$ — число оборотов входного вала муфты,

$p_{выхм}$ — число оборотов выходного вала муфты,

i_v — ток возбуждения муфты,

K — коэффициент пропорциональности.

СОДЕРЖАНИЕ

Изаков Ф. Я. О направлении научно-исследовательской работы кафедры автоматике	4
Изаков Ф. Я., Каменир Э. А. Принятие экономических решений в условиях неопределенности	9
Мякинин Е. Г., Немировский А. Е. Схема замещения и оценка неравномерности увлажнения изоляции электрических двигателей	14
Шмаков Б. В. Задачи автоматизации электростанций очистительных машин	20
Изаков Ф. Я., Шмаков Б. В., Каменир Э. А. Пути автоматизации электрообработывающих машин (ЭОМ)	25
Изаков Ф. Я., Дондоков Д. Д. К определению скорости движения заряженной частицы аэрозоля дискового электростатического генератора	31
Файн В. Б. Вольт-амперная характеристика коронного разряда при наличии плохо проводящего слоя на некоронирующем электроде	35
Файн В. Б. Теория процесса очистки воздуха от пыли при аэро-ионизации	37
Кунгуров С. Л. Пути автоматизации установок искусственной ионизации воздуха в птицеводстве	42
Дондоков Д. Д. О влиянии электростатического поля на дисперсность частиц аэрозолей	45
Благих В. Т. Принципы автоматизации управления микроклиматом животноводческих помещений	49
Бродский Л. Л. Система автоматического регулирования микроклимата в картофеле- и овощехранилищах с активной вентиляцией	54
Новиков Ю. Н. Снижение амплитуды автоколебаний температуры в сельскохозяйственных объектах	64
Байдюк П. В., Раджабов А. Р., Исмаилов Н. Автоматизированная электротепловая установка для сушки плодов и винограда	69
Царев А. С., Варнавских А. Б. Автоматизированная система для управления режимом освещения	75
Данилов В. Н. Тиристорный двухпозиционный регулятор температуры электродного проточного водонагревателя	82
Плюхин П. С., Степанов В. В., Наливайко И. М., Числов В. А. Переработка птичьего помета высокой влажности	86
Найденов В. И. Задачи и методы программного управления средствами раздачи кормов на комплексах по откорму крупного рогатого скота	91
Файн В. Б. Исследование некоторых свойств пыли птицеводческих помещений	94
Морев А. Д. Теория механизма отражения энергии СВЧ в волноводе, частично заполненном жидким диэлектриком	101
Филиппов Р. Л., Бояришинов Л. Н. Исследование влияния температуры при измерении жирности молока с помощью энергии СВЧ	105
Филиппов Р. Л., Фурсов В. И. Анализ существующих методов дезинсекции зерна и других сыпучих материалов	108
Шмаков Б. В. Классификация датчиков контроля качества разделения	114

Шугуров М. М. Интегральные измерители расхода сыпучих материалов	120
Бабаев Б. М. Выбор рациональной структуры автоматических оптимизаторов для управления сельскохозяйственными процессами	128
Борок А. М. Электростатические распылители для обработки растений	133
Пелипенко А. М., Белоковский И. М. К вопросу регулирования интенсивности питания хлопком-сырцом сушильно-очистительных машин	139

Редактор *Кирысва Л. И.*
Технический редактор *Пашина А. И.*

Подписано к печати 31/XII-1975 г. Формат бумаги 60×90/16. ФБ23016. Объем
7 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Цена 67 коп.

Челябинская обл. типография управления издательств, полиграфии и книжной
торговли, г. Челябинск, ул. Творческая, 127. Заказ 2658.

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
13 21 и 23	7 сверху	посевной	предпосевной Не должно быть ссылки на рис. 1. Вместо позиции 8 следует читать 7, вместо 7—8.
26	Рис. 2 подпису- точная подпись		
32	6 сверху	моделирующей в основном технологическом промежутке	моделирующей процессы, происходящие в основном технологическом промежутке
33	22 сверху 6 снизу	У — кинематическая вязкость воздуха $0,015V_x^2 + AV + B -$ $-v_{ox}^2 - e^{-\frac{2t}{q}} = 0$	вязкость воздуха $0,015V_x^2 + AV_x + B -$ $- \frac{2t}{a} = 0$
33	4 снизу	$A = 0,32V_{ox}^2 +$ $+ 0,02BV_{ox} + 2OV_{ox}$	$A = 0,32V_{ox}^2 + 0,02BV_{ox} -$ $- 2OV_{ox}$
34	5 сверху	составляющая F_z	составляющая V_z
46	18 сверху	на изоляционный	на изолированный
1	22 сверху	порядка 400 мкм	порядка 40 мкм
47	9, 10 снизу	$= 3 \text{ кВ}$ $= 3 \text{ кВ}$	$V = 3 \text{ кВ}$ $V = 21 \text{ кВ}$
55	табл. 1	$TC^\circ C$	$mc^\circ C$
	13 сверху	m^3	m^3
	3 снизу	$\alpha_{\text{уд}}$	$\alpha_{\text{уд}}$
56	3 снизу	$^\circ C/4$	$^\circ C/ч$
90	2 сверху 18 сверху	фазочувствительный каскад 2 + 2,5 Под ред. Одесса	фазочувствительный каскад 2 — 2,5 Под ред. Окресса Чел обл. тип. Зак. 2350

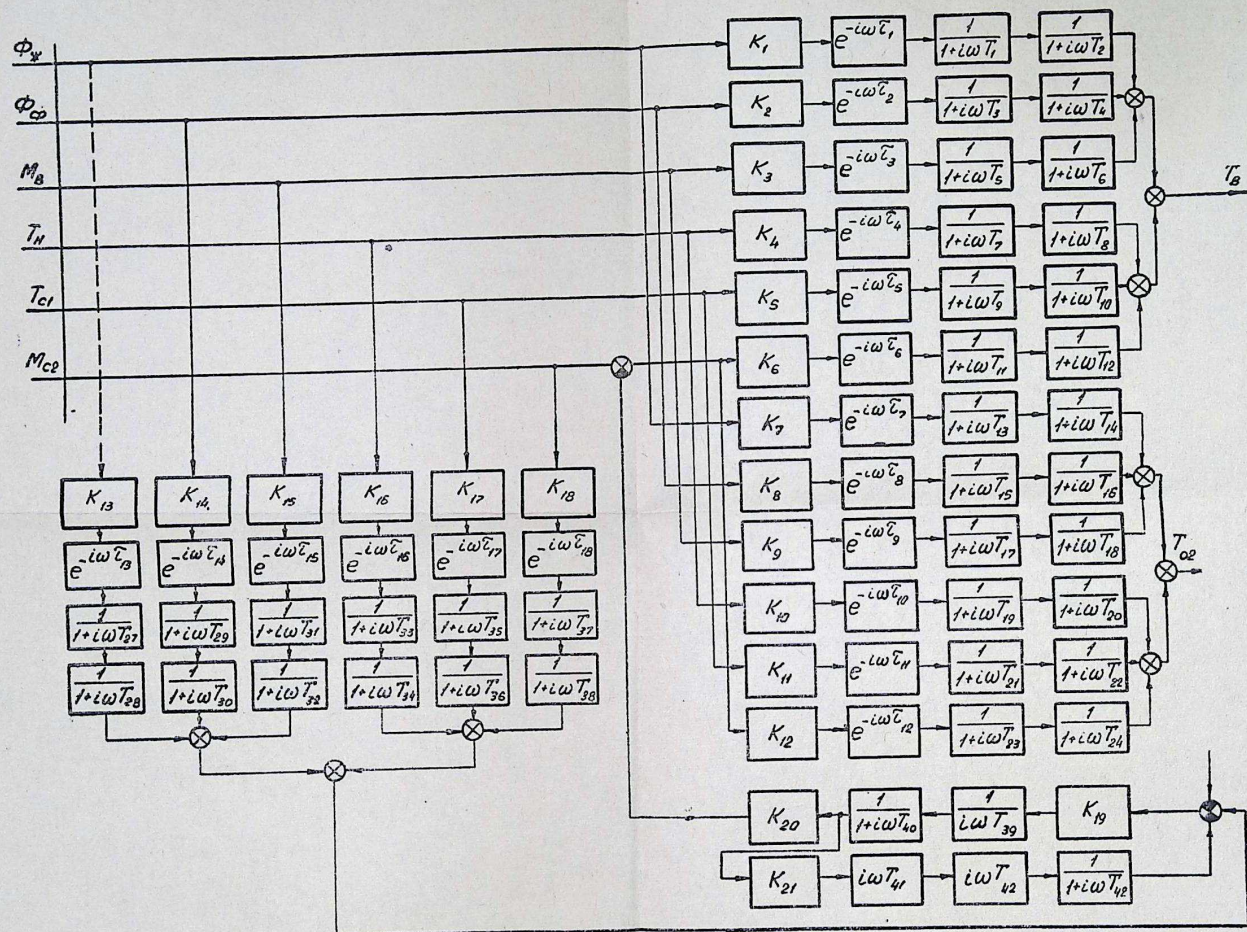


Рис. 1. к статье Благих В. Т. «Принципы автоматизации управления микроклиматом животноводческих помещений»

67 к.