

УДК 621.3:636.5

ПЕРСПЕКТИВА ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ КОРМОВ БЫСТРЫМИ ПУЧКАМИ ЭЛЕКТРОНОВ

А.В. Дубровин, доктор технических наук

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства

В этой статье автор обсуждает информатизацию и автоматизацию технологий в птицеводстве. Производство осуществляется в автоматизированном режиме по технико-экономическому критерию.

Информационные технологии при автоматизации технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр.

Электронная стерилизация в настоящее время является самым перспективным способом обеззараживания различного рода продукции. В отличие от широко применявшихся ранее химической и высокотемпературной стерилизации, электронная стерилизация обладает рядом преимуществ: нетоксична, не дает нежелательных побочных эффектов, низкочувствительна, обеспечивает поточный способ обработки. Особенно актуальны эти вопросы для всех видов мясных, рыбных и молочных продуктов, т.е. для ингредиентов комбикормов. При электронной стерилизации нет необходимости переупаковывать и перефа-совывать стерилизуемый материал. Она чрезвычайно важна для регионального здравоохранения и для любых муниципальных и коммерческих фирм, занимающихся производством, хранением торговых продуктов питания людей и кормления животных и птицы, для предприятий АПК [1]. Однако в сельскохозяйственном производстве электронное обеззараживание посредством быстрых пучков электронов практически отсутствует.

Обычно обрабатываемые материалы подаются с помощью транспортной ленты в камеру, где под воздействием ионизированного излучения, создаваемого линейным электронным ускорителем, они проходят обработку (стерилизуются) и затем выводятся из зоны облучения. Работа ускорителя основана на принципе резонансного взаимодействия электронов с полем стоячей электромагнитной волны СВЧ диапазона. Ускорители отличаются большой надежностью и производительностью при высокой стерилизующей дозе облучения (до 25 кГр). Грей (обозначение: Гр, Gy) – единица измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения в системе СИ. Поглощенная доза равна одному грею, если в результате поглощения ионизирующего излучения вещество получило один джоуль энергии в расчете на один килограмм массы. Через другие единицы измерения СИ грей выражается следующим образом: $\text{Гр} = (\text{Дж/кг}) = (\text{м}^2/\text{с}^2)$. Единица названа в честь

британского учёного Льюиса Грэя в 1975 году. Ранее широко использовалась (а иногда используется и до сих пор) внесистемная единица поглощённой дозы «рад» (радиан). $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ [2].

На рис. 1 приведено изображение реальной рабочей зоны действующей в настоящее время станции стерилизации.

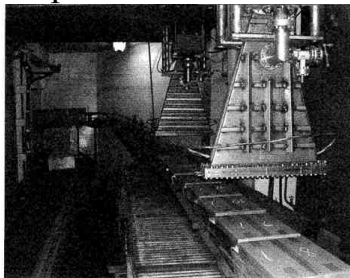


Рис. 1. Иллюстрация рабочей зоны станции стерилизации:
на конвейере расположены ящики с продукцией. Раструбы над конвейером представляют собой окна вывода электронов. Окна вывода электронов из ускорителей находятся над транспортером, на котором располагаются облучаемые объекты

Основным элементом проектируемой в настоящее время российскими специалистами новой территориальной станции для обеззараживания кормов и других продуктов сельского хозяйства предполагается линейный ускоритель электронов PLA-15-10, уникальная конструкция которого разработана НИЯФ МГУ совместно с ООО «Базовые технологии ВП». На рис. 2 приведены две из возможных конструкций разработанных ускорителей.

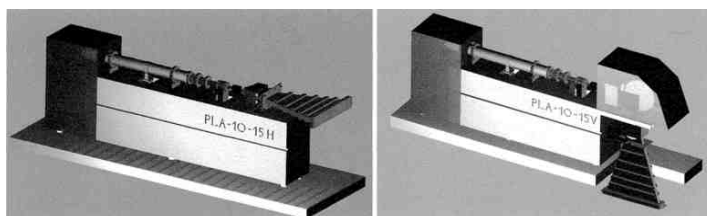


Рис. 2. Две конструкции разработанных линейных ускорителей электронов

Под воздействием пучка электронов высокой энергии обеспечивается полное уничтожение всех известных микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибков, простейших и т. п.), а также любых других живых организмов, населяющих стерилизуемый объект (насекомые, клещи, черви и др.). Электронная обработка *однородной* продукции проводится в соответствии с заранее установленным технологическим режимом и требуемой дозой облучения, для некоторых изделий и продуктов режим обработки подбирается индивидуально. Мощность ускорителя и скорость транспортера задаются и поддерживаются таким образом, чтобы доза облучения точно соответствовала нормативной дозе. Облучение осуществляется за счет торможения электронов в веществе. Доза облучения фиксируется непрерывно приборами, а также специальными индикаторными полосками. В большинстве современных

ускорителей применяется принцип высоковольтного ускорения, т.е. энергия электронов соответствует напряжению, создаваемому выпрямителем (источника питания ускорителя электронов) [3]. Существует пропорциональная зависимость между энергией пучка ускоренных электронов и напряжением питания ускоряющей структуры ускорителя электронов [4].

Другой известный пример ускорителя электронов – ускоритель УЭЛВ-10-10С российской фирмы «Корекс» – с ускоряющей структурой с бегущей волной, длина структуры 2,05 м. Отличительная особенность ускорителя – возможность плавной регулировки энергии электронов в диапазоне 5 – 10 МэВ за счет изменения нагрузки пучком при средней мощности в пучке 10 – 12 кВт. Ускоритель УЭЛР-10-10С – с ускоряющей структурой со стоячей волной. Система управления усовершенствуется по мере модернизации ускорителей и модифицируется в соответствии с пожеланиями заказчиков. В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию систем оперативной перестройки энергии электронов. Отличительная особенность – компактность ускоряющей структуры, длина которой составляет 1,1 м. Энергия электронов может регулироваться в пределах 8 – 10 МэВ при средней мощности в пучке 9 – 10 кВт [5].

Цель исследований – создание научно-технической основы экономически наилучшей и энергетически рациональной автоматизации процессов электронного обеззараживания кормов и других продуктов сельского хозяйства.

Материал и методика исследований. Для обеспечения заданного по дозе облучения режима обеззараживания продукта с его определенной массой следует увеличивать напряжение питания ускорителя пропорционально скорости перемещения продукта в активной зоне облучения. Чем короче активная зона, тем больше должно быть напряжение питания разгонного участка линейного ускорителя электронов. При определенной конструкции ускорителя и установки для обеззараживания ее параметры в целом неизменны, а изменяются в основном только массы обеззараживаемых материалов. Методика исследований основана на математическом моделировании процесса прохождения взвешиваемого и обеззараживаемого материала через зону облучения.

Новое научно-техническое решение энергосберегающего обеззараживания кормов и других продуктов сельского хозяйства позволяет осуществить следующее: не нужно устанавливать постоянный режим облучения с расчетом на обеззараживание наиболее массивного и соответственно наиболее энергоёмкого продукта. Достаточно в процессе подачи продуктов на установку для обеззараживания знать требуемые для них нормативные дозы облучения и измерять их массы, например, с помощью поточного измерителя массы. Затем вычислять необходимое напряжение питания ускорителя и другие электронные юстировки, корректировать режим облучения каждого продукта при поступлении его в зону облучения и таким образом с заданной точностью обеззараживать каждый продукт определенной массы.

Результаты исследований. Подобное автоматизированное устройство (рис. 3) работает следующим образом. Режим работы ускоряющей структуры ускорителя электронов 1 с выходным направляющим раструбом 2 определяется задатчиком дозы облучения 14. Скорость измерительного транспортера 5 и ленточного или планчатого магистрального транспортера 3 для перемещения обеззараживаемой продукции устанавливается задатчиком скорости рабочих органов обоих транспортеров 7. Обеззараживаемый материал 22, 23, 24 в виде, например, упаковок с кормом или с мясом бройлеров загружается на измерительный транспортер 5, который может располагаться как в помещении для радиационного обеззараживания пучками ускоренных электронов, так и связанного с ним помещения.

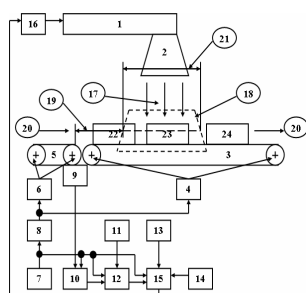


Рис. 3. Функциональная схема энергосберегающей установки для обеззараживания:

1 – ускоритель электронов; 2 – выходной направляющий раструб ускорителя; 3 – ленточный или планчатый магистральный транспортер; 4 – исполнительный элемент (электродвигатель и механическая передача) электропривода магистрального транспортера; 5 – измерительный транспортер; 6 – исполнительный элемент (электродвигатель и механическая передача) электропривода измерительного транспортера); 7 – задатчик скорости рабочих органов обоих транспортеров; 8 – регулятор скорости рабочих органов обоих транспортеров; 9 – силоизмерительный тензометрический датчик; 10 – вычислитель мгновенной по времени массовой загрузки измерительного транспортера (при равных скоростях рабочих органов обоих транспортеров сигналы мгновенных по времени загрузок на выходе измерительного транспортера и на входе в зону облучения на магистральном транспортере равны, но смещены по времени на величину задержки поступления обеззараживаемого материала с выхода весоизмерительного транспортера в начало зоны облучения); 11 – задатчик расстояния между выходом измерительного транспортера и началом зоны облучения (расстояние, соответствующее времени задержки между моментом времени измерения массы материала и моментом времени начала подачи материала в зону облучения); 12 – элемент управляемой временной задержки; 13 – задатчик размера (длины) зоны облучения по длине магистрального транспортера); 14 – задатчик дозы облучения; 15 – вычислительный блок; 16 – регулятор напряжения питания ускорителя электронов (напряжения питания ускоряющей структуры ускорителя электронов); 17 – пучок ускоренных электронов; 18 – зона облучения; 19 – расстояние между выходом измерительного транспортера и началом зоны облучения (это расстояние проходит материалом за время задержки между измерением массы вещества и началом его подачи в зону облучения); 20 – направление движения рабочих органов

обоих транспортеров; 21 – размер (длина) зоны облучения по длине магистрального транспортера; 22, 23, 24 – обеззараживаемый материал

Ручная загрузка при работающем ускорителе электронов даже при минимальном тормозном излучении целесообразна в другом помещении, что достигается либо удлинением магистрального транспортера 3, либо установкой добавочного промежуточного транспортера в линию обеззараживания. В вычислительный блок 15 поступают следующие сигналы. Это сигнал скорости от датчика скорости рабочих органов обоих транспортеров 7, сигнал длины облучаемого участка магистрального транспортера 3 от датчика размера зоны облучения 13, сигнал дозы облучения от датчика дозы облучения 14, задержанный по времени сигнал мгновенной массовой загрузки от вычислителя мгновенной по времени массовой загрузки 10 измерительного транспортера 5.

Вычислительный блок 15 вырабатывает корректирующий сигнал для регулятора напряжения питания ускоряющей структуры 16 ускорителя электронов 1. В результате в момент времени поступления передней по ходу транспортера части продукта в зону облучения корректируется энергетический режим электронного обеззараживания в соответствии с массой данного продукта (рис. 4). В момент выхода задней по ходу транспортера части продукта из зоны облучения ускоритель переходит в режим холостого хода без излучения электронов. До поступления в зону облучения очередной упаковки с обеззараживаемым материалом осуществляется режим экономии энергии излучения, пучки ускоренных электронов отсутствуют, поскольку значение задержанного сигнала на соответствующем входе вычислительного блока 15 равно нулю.

Поэтому энергосбережение по сравнению с обеззараживанием без предложенной автоматизации тем больше, чем больше промежутки между загруженными на транспортерную линию обеззараживаемыми продуктами (рис. 4, а). При загрузке продуктов вплотную друг к другу экономия энергии достигается за счет различий между общепринятым постоянным режимом облучения схожих по качеству продуктов с различными массами и устанавливаемыми автоматически для каждого такого продукта отдельным режимом обеззараживания с меньшей мощностью излучения (рис. 4б). Обеспечивается энергосберегающее автоматизированное управление обеззараживанием кормов и продуктов животноводства и птицеводства. Такая автоматизация процесса энергосберегающего обеззараживания полностью исключает необходимость достаточно неудобной и трудозатратной загрузки транспортера линии, сложившейся на практике традиции, материалами, однородными по составу, массовым и габаритным показателям вплотную друг к другу.

Экономические препятствия широкому внедрению линейных ускорителей в сельскохозяйственное производство связаны в основном с их чрезвычайно высокой для отрасли ценой (далеко не самый дорогой ускоритель стоит порядка 0,5 – 1,0 млн. долл. США) и с необходимостью использования специального защищенного помещения. Вместе с тем, использование радиационных методов более технологично, экологически безопасно, экономически выгодно. Цена стерилизации одного килограмма

продукта составляет ориентировочно 0,34 цента США (10 коп.) против 1,2 цента – в термическом варианте, 1,5 цента – в газовом и свыше 5 центов – в химическом варианте обеззараживания [5].

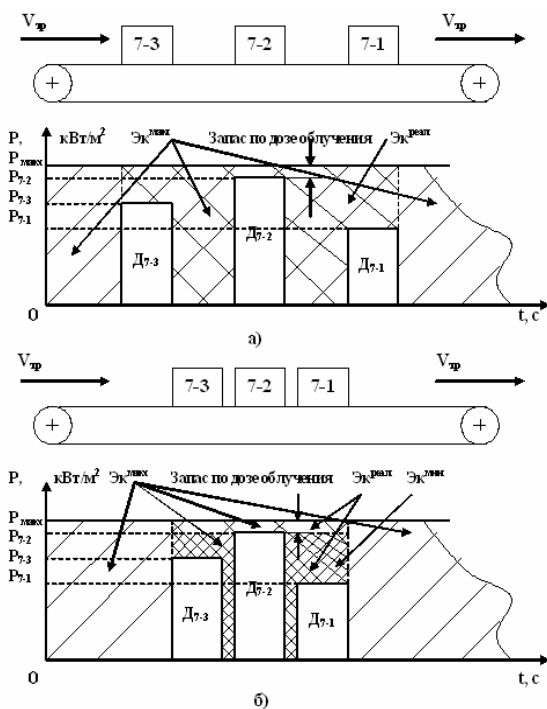


Рис. 4. Иллюстрация экономии энергии и повышения точности управления облученностью зоны облучения при обеззараживании материалов, поступающих по транспортерам в зону обеззараживания (облучения):

$V_{тр}$ – скорость рабочего органа магистрального транспортера 7-1, 7-2, 7-3 – продукты (материалы), поступившие на магистральный транспортер с заметными интервалами между ними (рис. 4, а) и почти без этих интервалов (рис. 4, б); t – время движения продуктов по магистральному транспортеру, с; P – требуемая облученность, кВт/м²; P_{\max} – нерегулируемая облученность в расчете на наиболее массивный продукт (материал); P_{7-1} , P_{7-2} , P_{7-3} – требуемая облученность для продуктов 7-1, 7-2, 7-3; D_{7-1} , D_{7-2} , D_{7-3} – требуемая доза облучения для продуктов 7-1, 7-2, 7-3; $Эк^{\max}$ – наибольшая экономия энергии на обеззараживание при введении автоматизации; $Эк^{\text{реал}}$ – реальная экономия энергии на обеззараживание при ручном операторском управлении включением и выключением ускорителя электронов по результатам телеметрического визуального контроля поступления партии продуктов 7-1, 7-2, 7-3 в зону облучения и контроля выхода их из неё; $Эк^{\min}$ – наименьшая экономия энергии на обеззараживание при ручном операторском управлении, без запаса по дозе облучения и при наименьших не устранимых промежутках между продуктами

В условиях рыночной экономики автоматизированное определение непосредственно в ходе технологического процесса экономически оптимальных и энергетически рациональных режимов работы практически любых сельскохозяйственных биотехнических систем и разработка систем и

средств автоматизации технологических процессов по экономическому критерию являются экономически и энергетически целесообразными и практически вполне осуществимыми. Например, известны способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортом птицефабрики. Автоматически устанавливается такое значение скорости движения ленты транспортера, при котором обеспечивается наименьшая в любой момент времени сумма затрат от расчетной потери стоимости поврежденных при транспортировке яиц и на электроэнергию для электропривода транспортера [6].

Результатом разработки нового решения экономичного обеззараживания должно стать достижение экономически оптимального и энергетически рационального режима обеззараживания кормов и других продуктов пучками быстрых электронов. Автоматически определяется экономический минимум суммы стоимостей потерь обеззараживаемой продукции и эксплуатационных энергетических затрат на облучение и на транспортировку кормов и других продуктов сельского хозяйства. При подаче продуктов на установку для обеззараживания надо не только знать требуемые для них дозы облучения и их массы, определять необходимое напряжение питания ускорителя, в зависимости от массы продукта корректировать режим облучения каждого продукта при поступлении его в зону облучения.

Следует также искусственно сформировать по величине аргумента облученности функциональные зависимости затрат от потерь продуктов из-за их зараженности в отсутствие облученности или при ее малых уровнях. Также необходимо знать зависимости затрат от потерь кормов и других продуктов из-за чрезмерно сильного облучения их пучками быстрых электронов, которые взаимодействуют с клеточной структурой биомассы кормов и других продуктов.

Первая из этих зависимостей $Z_{\text{прод1}}$ нелинейно убывает с ростом облученности $P_{\text{обл}}$, начинаясь с определенного (заранее известного по результатам измерений санитарно-гигиенических свойств материалов, поступающих на радиационную стерилизационную обработку) уровня зараженности биоматериала (рис. 5). Вторая зависимость $Z_{\text{ост1}}$ нелинейно возрастает, начинаясь с минимального значения порога облученности, достаточного для появления первых необратимых изменений в биологических продуктах растительного и животного происхождения. Допустимый уровень затрат на потери продукции из-за таких изменений её качества определяется в конкретных опытных работах.

Также следует сформировать аналогичные зависимости затрат на электроэнергию для транспортировки продуктов $Z_{\text{тран1}}$ и для их облучения $Z_{\text{облуч1}}$ от величины облученности. Третья зависимость $Z_{\text{тран1}}$ есть постоянная величина при постоянной скорости движения рабочего органа транспортера и при неизменной массе продуктов, изменяющаяся по значению пропорционально скорости движения рабочего органа транспортера и массе

продуктов. Четвертая зависимость $Z_{обл\text{уч}1}$ линейно возрастает с ростом облучённости $P_{обл}$.

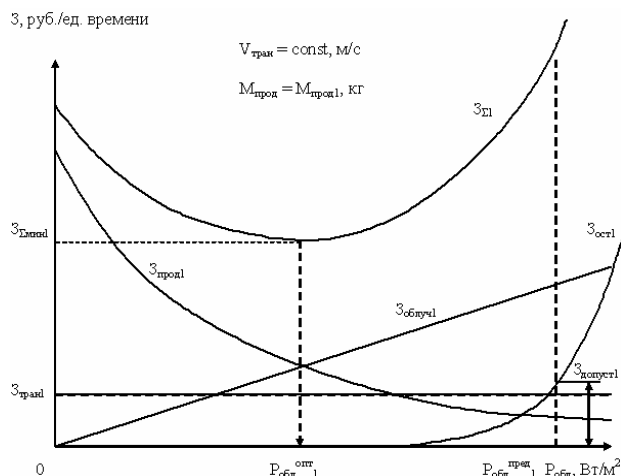


Рис. 5. Иллюстрация экономичного и энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства:

Z – затраты при обеззараживании продукта, руб./ед. времени; $V_{тран}$ – скорость движения рабочего органа магистрального транспортера, м/с; $M_{продук}$ – масса обеззараживаемого продукта, кг; $Z_{продук1}$ – стоимость потерь продукта, руб./ед. времени; Z_{oc1} – стоимость потерь продукта из-за его изменений в результате переоблучения, руб./ед. времени; $Z_{тран1}$ – затраты на транспортировку продукта в зоне обеззараживания (облучения); $Z_{обл\text{уч}1}$ – затраты на облучение; $P_{обл}^{пред1}$ – предельное значения облучённости $P_{обл}$ при конкретном значении скорости движения рабочего органа магистрального транспортера $V_{тран}$; $Z_{допуст1}$ – стоимость допустимых потерь продукта из-за его изменений в результате переоблучения, руб./ед. времени; $Z_{\Sigma1} = Z_{продук1} + Z_{oc1} + Z_{обл\text{уч}1} + Z_{тран1}$ – целевая функция суммарных затрат, руб./ед. времени; $Z_{\Sigma\text{min}1}$ – наименьшее значение целевой функции суммарных затрат $Z_{\Sigma1}$, руб./ед. времени; $P_{обл}^{opt1}$ – экономически оптимальное (наилучшее) значение облучённости $P_{обл}$, Вт/м²

Остается полученные четыре функции затрат сложить в диапазоне изменения искусственно сформированного сигнала облучённости и определить минимальное значение этой целевой функции (критерия оптимизации по минимуму суммы указанных затрат) $Z_{\Sigma1} = Z_{продук1} + Z_{oc1} + Z_{обл\text{уч}1} + Z_{тран1}$. Таким образом, устройством (рис. 6) производится точное и экономически оптимальное и при этом энергосберегающее обеззараживание каждого продукта с его массой.

Блок вычисления целевой функции суммарных затрат 12 по данным заданий, формирования и измерения соответствующих сигналов рассчитывает целевую функцию суммарных затрат на обеззараживание кормов и продуктов животноводства и птицеводства. Блок определения наименьшего значения целевой функции суммарных затрат 13 по существу является оптимизатором, устанавливающим экономически оптимальное значение облучённости, соответствующее минимуму этой функции. Это

значение в виде выходного сигнала блока 13 подается на задающий вход регулятора облучённости 7, что корректирует (поправляет) установленный ранее режим ускорения электронов в блоке регулирования напряжения электропитания 8 ускоряющей системы ускорителя электронов и ускорителя электронов с выходным рупором 9.

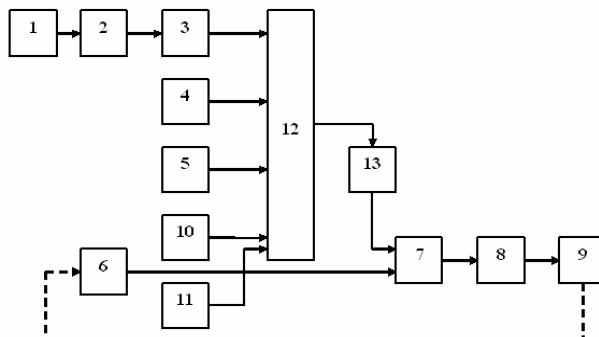


Рис. 6. Функциональная схема устройства экономичного и энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов животноводства и птицеводства:

1 – датчик наибольшего срока хранения обеззараживаемых кормов и продуктов; 2 – датчик максимальной дозы облучения; 3 – датчик максимальной облученности; 4 – датчик скорости движения рабочего органа магистрального транспортера $V_{тран}$; 5 – датчик массы обеззараживаемых кормов и продуктов $M_{прод}$; 6 – датчик облученности $P_{обл}$, размещённый в зоне обеззараживания (облучения); 7 – регулятор облучённости $P_{обл}$; 8 – блок регулирования напряжения электропитания ускоряющей системы ускорителя электронов; 9 – ускоритель электронов с выходным рупором, направленным на зону обеззараживания (облучения); 10 – датчик значений искусственного сигнала облученности $P_{обл}$ в технологическом диапазоне изменения облученности $P_{обл}$ от нуля до её предельного значения $P_{обл}^{пред}$ (предельного значения $P_{обл}^{пред}$ при конкретном значении скорости движения рабочего органа магистрального транспортера $V_{тран}$: чем больше скорость, тем больше требуется и допускается предельное значение облученности); 11 – блок датчиков констант и коэффициентов математических моделей управления режимом облученности обеззараживаемых кормов и продуктов с массой $M_{прод}$; 12 – блок вычисления целевой функции суммарных затрат $Z_{\Sigma} = Z_{прод} + Z_{ост} + Z_{облуч} + Z_{тран}$; 13 – блок определения экстремального (оптимального, наименьшего) значения целевой функции суммарных затрат $Z_{\Sigma}^{мин}$

Выводы

1. Благодаря предлагаемым научно-техническим решениям процесс обеззараживания проходит экономично, с экономически наименьшими затратами, и с рациональными затратами энергии. При этом достигается эффективное обеззараживание продуктов с различной массой, поскольку производится контроль их массы и соответствующее регулирование режима облучения данного материала, т.е. кормов и прочих продуктов.

2. Обеззараживание пучками ускоренных электронов мяса бройлеров, искусственно обсемененного сальмонеллами и листериями, увеличивает срок его хранения с 4 – 7 суток до 23 суток без изменения органолептических пока-зателей, что проверено в недавних опытах 2012 года [7]. Поэтому надежное обеззараживание комбикормов, имеющих содержание влаги, поглощающей излучение, на порядок меньше чем у свежего мяса, практически гарантировано.

3. Экономически оптимальное автоматизированное управление сельскохозяйственными технологиями и технологическими процессами представляет собой важный очередной современный и весьма перспективный этап осуществления инновационных приоритетных энергосберегающих и информационных технологий в животноводстве и птицеводстве и в сельском хозяйстве в целом.

Список литературы

1. Комплекс безотходного птицеводства и свиноводства с собственным производством кормов и энергии: патент 2423826 Рос. Федерация: МПК⁷ А 01 К 29/00, С 05 F 3/00 /Дубровин А.В. и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ Всерос. науч.-исслед. ин-т электриф. сельск. хоз-ва. №2009100452/21; заявл. 13.01.2009; опубл. 20.07.2011, Бюл. №20 (Пч.). – 21 с.

2. Кутьков В.А., Ткаченко В.В., Романцов В.П. Радиационная безопасность персонала атомных станций. Москва-Обнинск: Атомтехэнерго, ИАТЭ, 2003. – 344 с.

3. Ускорители электронов серии ИЛУ (импульсные линейные ускорители)». Новосибирск: Институт ядерной физики СО РАН, 1998. URL: http://www.inp.nsk.su/~tararysh/accel/ilu_r.html. (Дата обращения 24.08.2012).

4. Частотный наносекундный ускоритель электронов для инициирования URL: <http://www.main.isuct.ru/files/konf/ISTAPC2005/proc/6-7>. (Дата обращения 24.08.2012).

5. Сайт: corex-spb.ru/fabric.htm.

6. Способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортом птицефабрики: патент 2414396 РФ: МПК⁷ В 65 В 23/00 /Дубровин А.В.; заявитель и патентообладатель ГНУ Всерос. науч.-исслед. ин-т электриф. сельск. хоз-ва. №2009114598/21; заявл. 20.04.2009; опубл. 20.03.2011, Бюл. №8 (Пч.). – 18 с.

7. Дубровин А.В. Перспективное электрооборудование для энергосберегающего обеззараживания кормов и продуктов АПК //Техника и оборудование для села, 2012. №11(184). – С.26 – 29.

In this article the autor say about informatisation and automatisaton technologies in poultry houses. Manufacturing is carried out in the automated mode by tehcnical and economic criterion.

Information technologies by automation of technological processes, efficacy of production, technical and economic parameter.