

УДК 631:362.7

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

*П.С. Агеев, магистрант 1 года обучения;  
С.А. Сутягин, кандидат технических наук, доцент;  
Г.В. Карпенко, кандидат технических наук, доцент;  
А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент;  
В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор  
тел.: 89050359200, andrejpravlu@yandex.ru  
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА*

**Ключевые слова:** история развития технологии сушки, методика исследований, перспективные технологии.

Рассмотрены основные исторические этапы становления научно-го обоснования процессов тепловой обработки зерна. Выявлены перспективные пути развития средств механизации процессов тепловой обработки зерна с учетом энергосбережения.

**Введение.** Решению проблем, возникающих в процессе теплового воздействия на зерно, большое внимание уделено в исследованиях и разработках многих других отечественных и зарубежных учёных.

В проведённых исследованиях подробно рассмотрены теоретические и практические аспекты протекания различных видов теплового воздействия на зерно при конвективном способе теплоподвода. Также научно обоснованы и экспериментально подтверждены пути улучшения существующих технологий и средств механизации процессов тепловой обработки зерна. Кроме того, проведена значительная работа по обоснованию и исследованию новых, перспективных технологий теплового воздействия на зерно, а также созданию и внедрению высокоэффективных средств механизации реализующих предлагаемые технологии.

Следует отметить, что развитие и изучение теоретических и практических аспектов процессов тепловой обработки зерна было бы за-

труднительным без становления и развития соответствующих научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных организаций. Результатом объединённых усилий учёных этих организаций стало обоснование режимов сушки зерна различных культур для различного целевого назначения (продовольственное, семенное), создание и внедрение новых, эффективных конструкций зерносушилок.

**Материалы и методы исследований.** К первооснователям теоретических основ процесса теплового воздействия на зерно можно отнести М.В. Ломоносова. Открытый им закон естественного движения газов в рудниках (1742 г.) в дальнейшем был положен в основу описания различных процессов, в том числе процесса сушки зерна. Примерно в этот же период Г.В. Рихман, объяснив действие психрометра, сделал ряд важных выводов, которые позволили впоследствии естествоиспытателю Д. Дальтону сформулировать закон об испарении воды со свободной поверхности.

Дальнейшее развитие теории сушки относят к 1900...1911 годам. Этот период характеризуется появлением основ гидродинамики и термодинамики влажного газа. В это время В.Е. Грум-Гржимайло развил теорию движения газов в зерносушилках. Благодаря дальнейшим проведённым исследованиям А.П. Ворошилова, М.Ю. Лурье, Н.М. Михайлова метод сушки топочными газами значительно интенсифицировался.

В 1918 году Л.К. Рамзин предложил  $i - d$  диаграмму влажного воздуха (на 5 лет раньше аналогичной психрометрической диаграммы немецкого теплотехника Р. Молье). Рамзин также является основателем классического графоаналитического метода теплового расчёта зерносушилок. Позже эти исследования продолжили Гирш, Гаусбранд и др. Было создано научное направление в зерносушильной технике, позволяющее на основе статических законов термодинамики и закона Дальтона определять и анализировать тепловую эффективность процессов теплового воздействия на зерно.

Последующее развитие теории сушки было нацелено на проведение фундаментальных исследований кинетики процесса сушки (обоснование на основе законов тепло- и влагообмена продолжительности и механизма теплового воздействия на зерно). Значительный вклад в это направление внесли Льюис, Гирш, Шервуд, Маршалл, М.Ю. Лурье, А.П. Ворошилов, Н.М. Михайлов, И.М. Фёдоров, В.А. Поснов, Я.М. Миниович, Г.К. Филоненко, А.В. Лыков, П.Д. Лебедев, А.А. Гинзбург и многие другие. Проведённые этими учёными исследования позволили научно обосновать выбор способов и режимов сушки зерна. Так, акаде-

мик А.В. Лыков в 1934 году открыл и научно обосновал перенос влаги под влиянием термовлагопроводности [1].

Результатами проведенных исследований учёными указанного периода стало получение и интерпретация кривых сушки (в координатах скорость сушки - влажность зерна), кривых скорости сушки (в координатах влажность зерна - время) и температурных кривых (в координатах температура зерна - влажность зерна) [4].

Существенное значение для развития науки и техники сушки стало создание В.М. Кирпичёвым теории подобия и моделирования.

Благодаря исследованиям П.А. Ребиндера, С.М. Липатова, А.В. Думанского, Ю.Л. Кавказова появилась научная база для изучения технологии сушки в неразрывной связи молекулярного переноса теплоты и влаги внутри обрабатываемого зерна с предельно-допустимыми напряжениями, возникающими в процессе тепловой обработки. В дальнейшем учения о формах связи влаги в зерне, о процессах внутреннего влагопереноса были расширены трудами А.С. Гинзбурга, Е.Д. Казакова, Г.А. Егорова [5].

Большое влияние на развитие отрасли зерносушения оказали научные изыскания в области биохимии зерна, технологии его хранения и переработки – А.Н. Баха, В.П. Горячкина, А.И. Опарина, В.Л. Кретовича, Н.П. Козьминой, Л.А. Трисвятского, Я.Н. Куприцы, С.Д. Птицына и др.

Первые русские исследователи процесса сушки зерна (И. Чернопятов, 1867 г., Н. Румянцев, 1896 г.) обратили внимание на то, что зерно под действием высоких температур теряет всхожесть. Ими также было замечено, что высокая температура особенно пагубно действует на сырое зерно. По мере подсыхания зерна высокие температуры менее опасны. По данным, полученным академиком В.П. Горячкиным, сухие семена ( $\omega_3 \leq 5\%$ ) переносят нагрев до температуры 110...120 °С и выдержку в нагретом состоянии в течение 20 минут без снижения всхожести и энергии прорастания, в то время как сырые и влажные семена ( $\omega_3 \geq 20\%$ ) в значительной степени теряют всхожесть при нагреве лишь до 45...50 °С [65]. На основе изучения термоустойчивости зерна различных культур С.Д. Птицын установил зависимость максимально допустимой температуры нагрева зерна, °С, для злаковых культур [2]:

$$t_{3max} = \frac{2350}{0,37(100 - \omega_3) + \omega_3} + 20 \quad \text{тогда}$$

где  $\omega_3$  - относительная влажность зерна, %;  $\tau$  - экспозиция (время выдержки) зерна, мин.

Значения  $t_{з\text{тот}}^x$ , подсчитанные по формуле для различных значений экспозиции сушки, показали, что чем выше влажность зерна и больше его выдержка в нагретом состоянии, тем ниже максимально допустимая температура нагрева зерна.

До последнего времени методы математического расчёта процессов сушки не получали должного развития, что в значительной степени объяснялось недостаточными сведениями о теплофизических свойствах зерна. Решению этой проблемы посвящены труды Г.И. Красовской, Г.А. Егорова, Е.Н. Сизаковой, В.А. Казаряна, С.Д. Птицына и др. Проведённые ими исследования теплофизических характеристик единичного зерна и зернового слоя показали, что коэффициенты теплопроводности, температуропроводности единичного зерна значительно отличаются от тех же показателей неподвижного слоя зерна [1].

Отдельное место в теории теплового воздействия на зерно занимают исследования его термического обеззараживания. Впервые термическое обеззараживание было применено в Германии и США в тот период, когда более 50 % посевов зерновых было заражено пыльной головнёй. В 1888 г. впервые Генсен применил против пыльной головни нагрев семян в горячей воде. Аппель внёс изменения и дополнения в эту методику, её признали как единственный метод борьбы с пыльной головнёй [4].

В нашей стране термическое обеззараживание впервые было применено на Верхнянской селекционной станции. Предварительно зерно замачивали в металлических желобах ёмкостью по 100 кг в течение 4...5 ч при температуре воды 30 °С. Затем семена прогревали в горячей воде в специальных резервуарах, куда опускали корзины с зерном массой по 24 кг. Корзины с целью равномерного прогрева зерна до температуры 52...53 °С периодически вынимали и опускали, затем выдерживали 7 минут, при 54 °С - 6 минут и 55 °С - 5 минут. После этого зерно охлаждали и высушивали [3].

Результаты исследований и их обсуждение. В настоящее время также многие учёные уделяют значительное внимание решению проблем, возникающих в процессе тепловой обработки зерна (повышение энергоэффективности процесса, снижение металлоёмкости устройств для тепловой обработки зерна и т.д.).

Следует отметить, что благодаря проведённым ранее исследованиям механизм воздействия теплоты на зерно в процессе его обработки практически полностью изучен и обоснован. Конечно, это не исключает появления инновационных исследований в этом направлении, однако вероятность их появления в ближайшее время очень мала.

Поэтому отличительной особенностью современных исследований является оптимизация режимов теплового воздействия на зерно на основе использования существующих теоретических закономерностей и передовых достижений науки и техники применительно к существующим, серийно выпускаемым средствам механизации процессов тепловой обработки зерна, реализующих конвективный способ теплопередачи [7-11].

Переходом на новый этап в развитии экспериментально-аналитических методов расчета послужила идея совмещения методов теории подобия и математического планирования эксперимента, т. е. получение уравнений регрессии в виде функциональной связи между обобщенными переменными. Этот подход в настоящее время получает все большее применение [6].

Однако при всей его простоте трудности, связанные с расчетом переменных режимов обработки, коррелирующих с изменением текущих свойств объекта исследований, до последнего времени оставались непреодолимыми, так как существующие методы планирования эксперимента позволяют получить уравнения регрессии, описывающие процесс только в статике. Если же разбить процесс на ряд зон, в каждой из которых рассматривать процесс теплового воздействия в статике за счет осреднения кинетических параметров по зонам, то в этом случае применение методов планирования эксперимента оправдано. Чем больше зон, тем выше точность получаемых результатов.

Применение метода аналогий характерно для современного этапа развития науки и техники как эффективного средства решения актуальных научных и практических задач [5].

В расчётах кинетики процесса теплового воздействия на зерно всё большее распространение получают методы аналогии процессов тепломассообмена и тепломассопереноса. При этом практическое использование этих методов при исследовании и расчёте указанных процессов является сложной задачей, так как использование данных, полученных на пилотной модельной установке, при разработке промышленной установки связано с трудностями масштабного перехода. Это, в частности, обусловлено различной термодинамической обстановкой, которая может быть создана в натуре и модели. Так, известно, что одним из условий однозначности является равенство соответствующих критериев. На практике часто проектируют многосекционные установки, состоящие из отдельных секций, размеры которых соответствуют пилотной модели.

**Заключение.** Подытоживая вышесказанное, следует отметить, что благодаря многочисленным экспериментальным исследованиям процессы тепловой обработки зерна достаточно развиты, а существующие средства механизации этих процессов достаточно совершенны. Тем не менее, в теории и практике тепловой обработки зерна есть не разрешенные полностью актуальные проблемы, что не исключает появления нового в этом направлении. С развитием технологий тепловая обработка зерна постоянно совершенствуется, постоянно появляются новые средства механизации. Актуальность проблемы реализации процессов тепловой обработки зерна на высоком технологическом уровне, с минимальными энергозатратами, при обеспечении экологичности процесса, с каждым годом возрастает.

#### *Библиографический список*

1. Карпенко Г.В. Обоснование теплофизических параметров установки для сушки зерна контактного типа / Г.В. Карпенко, В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, М.А. Карпенко // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (в рамках XIX Международной специализированной выставки «Агро-Комплекс-2009»). 2009. С. 84...87.
2. Курдюмов В.И. Совершенствование средств механизации переработки птичьего помета / В.И. Курдюмов, Н.Н. Аксенова, А.А. Павлушин, Е.В. Спирина // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2012. С. 80...83.
3. Курдюмов В.И. Тепловая обработка зерна при подготовке комбикорма для поросят // В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2012. № 3 (7). С. 102-107.
4. Курдюмов В.И. Тепловая обработка зерна в установках контактного типа // В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин: монография. – Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – 290 с.
5. Курдюмов В.И. Энергозатраты на процесс сушки зерна / В.И. Курдюмов В.И., А.А. Павлушин, С.А. Сутягин // Вестник ВИЭСХ. 2012. Т. 2. № 7. С. 52-54.
6. Курдюмов В.И. Теоретические и экспериментальные аспекты контактного способа передачи теплоты при сушке зерна / В.И. Курдю-

- мов, А.А. Павлушин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - № 3. - С. 106-110.
7. Патент на изобретение RU 2411432 Устройство для сушки зерна. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Сутягин С.А.
  8. Патент на полезную модель RU 96639. Устройство для сушки зерна. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Постников И.А.
  9. Патент на полезную модель RU 119862. Устройство для сушки зерна. Курдюмов В.И., Павлушин А.А.
  10. Патент на изобретение RU 2428642 Устройство для сушки зерна. Курдюмов В.И., Павлушин А.А.
  11. Патент на изобретение RU 2453123. Устройство для сушки пищевых продуктов. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Сутягин С.А.

## **MILESTONES OF DEVELOPMENT AND CURRENT STATUS OF RESEARCH DURING HEAT TREATMENT OF GRAIN**

*Ageev P.S., Sutyagin S.A., Karpenko G.V., Pavlushin A.A., Kurdyumov V.I.*

**Keywords:** history of drying technology, research methodology, advanced technology.

The basic historical stages of development of scientific substantiation process of heat treatment of grain. Identifying promising ways of development of mechanization of processes of heat treatment of grain, taking into account energy efficiency.