

ЭКСПАНДИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АПК

А. ОСТРИКОВ, В. ВАСИЛЕНКО, доктора техн. наук, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»;
В. АФНАСЬЕВ, д-р техн. наук, **И. БОГОМОЛОВ**, ОАО «ВНИИКП»

Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ содержит большое количество крахмала, который медленно усваивается организмом животных и птицы, при этом продуктивно используются лишь определенные его формы в небольшом количестве (20–25%). Для повышения питательности и усвояемости зернового сырья в комбикормовой отрасли применяются несколько методов его обработки, в том числе экспандирование.

Обработка комбикорма в экспандере проводится при высокой влажности — до 26%. Нагревается продукт до рабочей температуры (105–110°C) путем ввода пара и воздействия силы трения. При необходимости температуру повышают до 130°C, давление — до 4МПа. Время прохождения продукта через экспандер составляет несколько секунд. На выходе продукта из экспандера влага, содержащаяся в нем, мгновенно испаряется, при этом температура его падает до 90°C.

Экспандат в зависимости от рецептуры, температуры и давления может быть тестообразной структуры либо иметь вид толстых хлопьев или комков, а в зависимости от режимов обработки — различную плотность, что особенно важно при производстве комбикормов для рыб (например, плавающие или медленно тонущие). На плотность экспандата влияет также содержание в нем массовой доли жира (табл. 1).

Для оценки степени воздействия на перерабатываемый материал применяется комплексный показатель интенсивности обработки — SME (Specific Mechanical Energy). Значение

Таблица 1. Влияние массовой доли жира на плотность экспандата

Массовая доля жира, %	Плотность, кг/м ³
0	253
5	308
10	408
15	528

ние SME характеризует количество удельной механической энергии, отдаваемой экспандируемому материалу в процессе обработки. Она может определяться как удельная энергия поглощения и рассчитываться по формуле:

$$SME = \frac{n_{\text{раб}} P_{\text{в}} k_3}{n_{\text{max}} t} \cdot \frac{1}{100}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$$

где $n_{\text{раб}}$ — скорость вращения шнека, с⁻¹;

$P_{\text{в}}$ — мощность на валу привода, кВт;

k_3 — коэффициент загрузки, %;

n_{max} — максимальная скорость вращения шнека, с⁻¹;

t — производительность, кг/ч.

При увеличении массовой доли жира в продукте и, соответственно, объемной массы экспандата удельная энергия поглощения понижается (снижается эффект диссипации), то есть преобразование механической энергии в тепловую за счет трения. Поэтому рекомендуется содержание жира в продукте поддерживать на уровне 15%. Количество жира свыше 15% необходимо добавлять после экспандирования, чтобы избежать снижения прочности экспандата (рис. 1). Например, комбикорм для карповых рыб относится к медленно тонущим,

поэтому его объемная масса должна составлять около 400 кг/м³, содержание жира при экспандировании — не более 10%, остальное количество наносится на поверхность гранул. Это улучшает свойства корма за счет увеличения поверхностного натяжения и снижения растворимости.

На изменение объемной массы продукта влияет как количество жира, так и его источник. Результаты наших экспериментов показали, что жиры, которые содержатся в зерновых и бобовых культурах, почти не влияют на увеличение объемной массы экспандата, в отличие от жира, введенного в чистом виде. В связи с этим при экспандировании рациональнее использовать шроты и растительный жир, чем полножирные растительные компоненты. При дражировке жир наносят преимущественно на теплый продукт для лучшего впитывания.

На рисунке 2 показано, что количество поглощаемого экспандатом жира зависит от условий нанесения и окончательной объемной массы продукта. Меньшая объемная масса позволяет ввести больше жира.

Одним из целевых параметров, характеризующих качество протекания процесса экспандирования, мы вы-

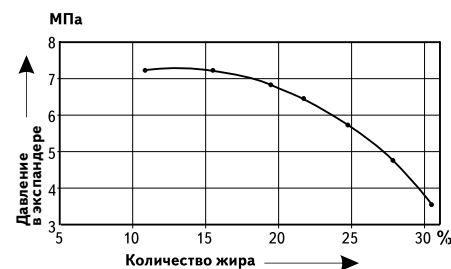


Рис. 1. Влияние массовой доли жира в сырье на прочность гранул

брали увеличение скорости вращения шнека, которое одновременно воздействует на удельную нагрузку подачи продукта, потребляемую мощность и среднее значение вязкости материала (рисунки 3–5).

При увеличении частоты вращения шнека с 4 с^{-1} до 5 с^{-1} мгновенно повышаются давление в головке экс-

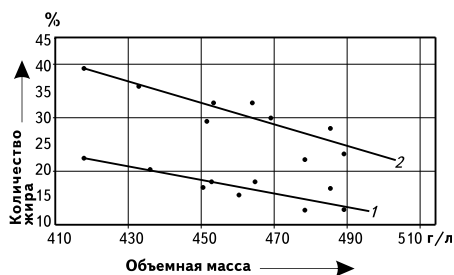


Рис. 2. Влияние объемной массы на количество поглощаемого жира при его нанесении в вакууме (1) и в атмосферных условиях (2)

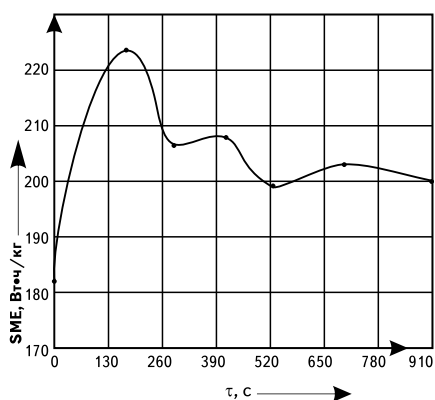


Рис. 3. Изменение удельной механической энергии в зависимости от времени экспандирования и частоты вращения шнека (4 с^{-1} – 5 с^{-1})

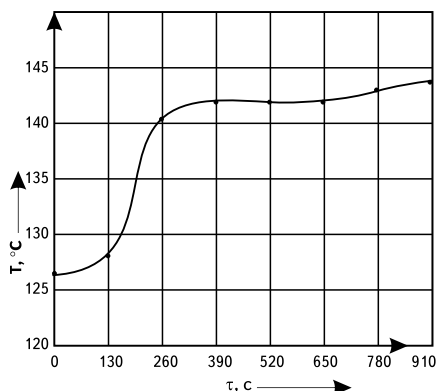


Рис. 4. Изменение температуры продукта в зависимости от времени экспандирования и частоты вращения шнека (4 с^{-1} – 5 с^{-1})

пандера и SME, после чего они резко снижаются до новых стационарных значений. При этом удельная механическая энергия при вращении шнека с частотой 5 с^{-1} выше, чем при вращении с частотой 4 с^{-1} , а крутящий момент и давление обычно ниже. Очевидно, с повышением скорости вращения шнека длина заполненной части цилиндра увеличивается из-за меньшей вязкости материала, чем в головке экспандера. Как только менее вязкий материал достигает головки, длина заполненной части цилиндра уменьшается. Это можно наблюдать по начальным резко растущим значениям SME, крутящего момента и давления. Кроме того, при увеличении SME повышается температура.

Таким образом, первичный эффект от повышения скорости вращения

шнека (при постоянных производительности цилиндра и температуре в нем) заключается в увеличении удельной механической энергии.

Повышение содержания влаги в материале существенно сказывается на его реологических свойствах, которые при постоянной скорости вращения шнека и производительности экспандера влияют на крутящий момент, вязкостную диссипацию и, следовательно, на температуру.

Изменения, происходящие в определенный промежуток времени при добавлении в продукт воды, представлены на рисунке 6.

В то время как реальный выход продукта и геометрия головки остаются неизменными, давление напрямую зависит от реологических свойств. По сравнению с увеличением скорости вращения шнека, когда резко возрастают значения удельной механической энергии, крутящего момента и давления, эти параметры при начальном повышении содержания влаги изменяются минимально.

Таким образом, изменение технологических параметров зависит от реологических свойств продукта, на которые влияют содержание влаги и температура.

Из изложенного выше следует, что для конкретной рецептуры продукта, геометрии экспандера и производственных условий (температуры в предматричной зоне, скорости вращения шнека, общей производи-

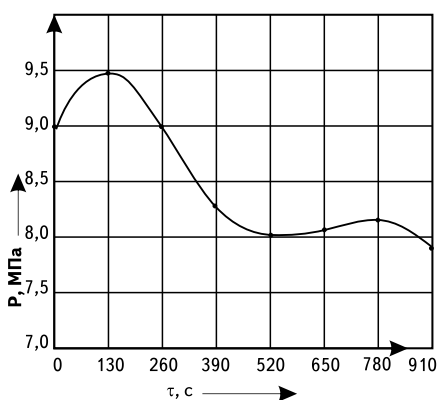


Рис. 5. Изменение давления в головке экспандера в зависимости от времени экспандирования и частоты вращения шнека (4 с^{-1} – 5 с^{-1})

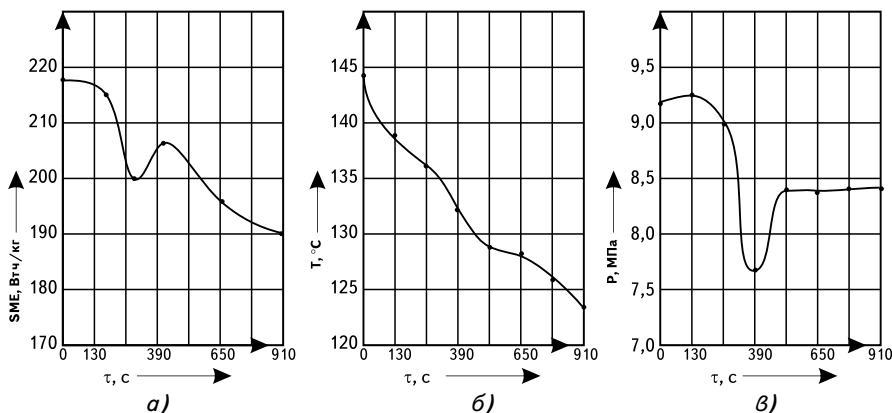
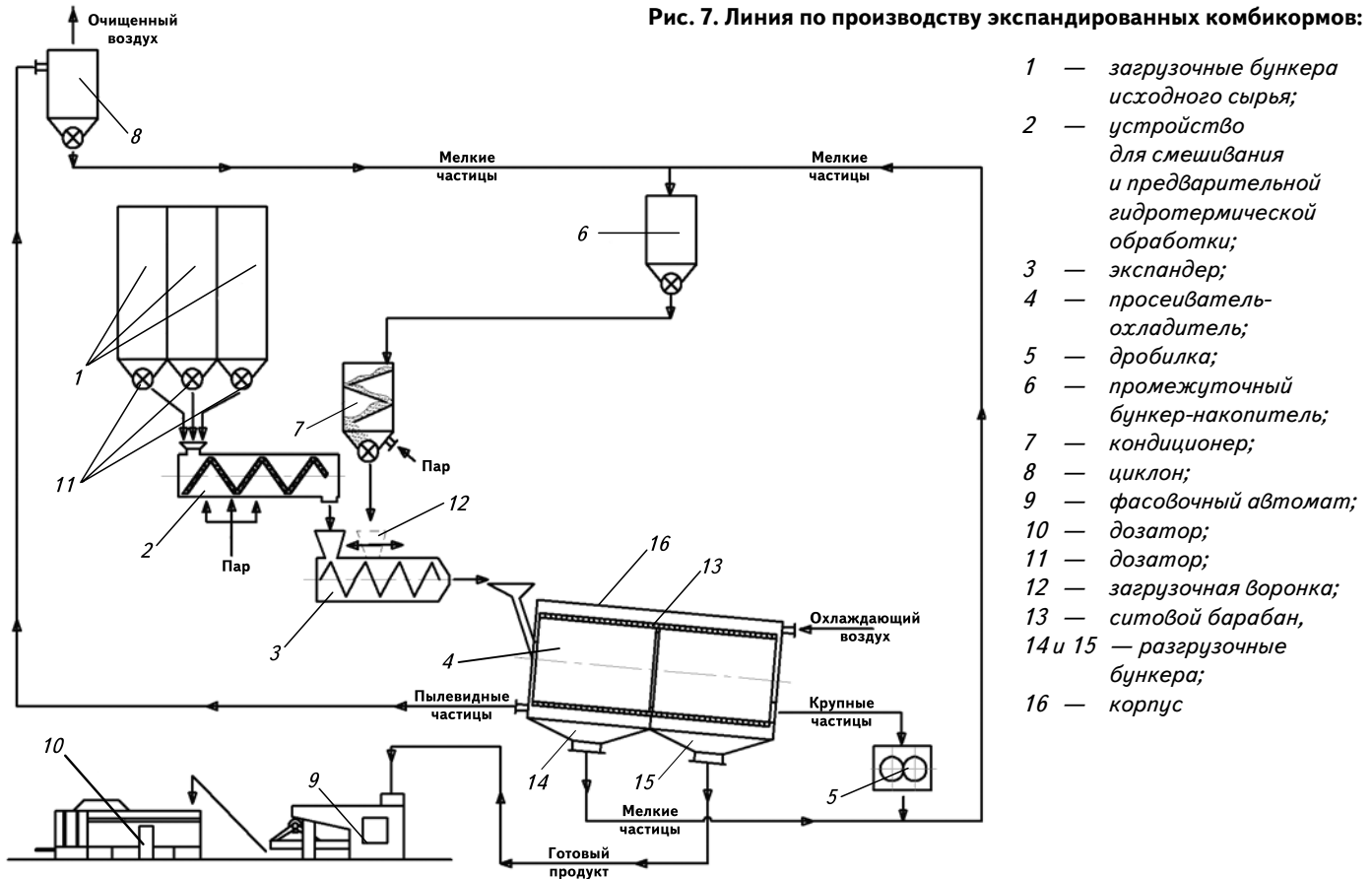


Рис. 6. Изменение удельной механической энергии (а), температуры (б) и давления в головке экспандера (в) в зависимости от времени экспандирования и содержания влаги в продукте (от 18% до 20%)

Рис. 7. Линия по производству экспандированных комбикормов:



- 1 — загрузочные бункера исходного сырья;
- 2 — устройство для смешивания и предварительной гидротермической обработки;
- 3 — экспандер;
- 4 — просеиватель-охладитель;
- 5 — дробилка;
- 6 — промежуточный бункер-накопитель;
- 7 — кондиционер;
- 8 — циклон;
- 9 — фасовочный автомат;
- 10 — дозатор;
- 11 — дозатор;
- 12 — загрузочная воронка;
- 13 — ситовой барабан,
- 14 и 15 — разгрузочные бункера;
- 16 — корпус

тельности, влажности сырья) необходимый термомеханический процесс может быть определен с помощью сдвиговых напряжений, скорости вращения шнека и длины заполненной части цилиндра. Поглощенная экспандируемым материалом энергия сил сдвига и трения запасается в виде тепловой энергии, количество которой влияет на качественные показатели готового продукта.

Нами разработана линия по производству экспандированных комбикормов (рис. 7). Исходное сырье из загрузочных бункеров подается в устройство для смешивания и предварительной гидротермической обработки. Корпус этого устройства выполнен в виде горизонтальной емкости с патрубками, через которые подается пар. Внутри нее расположен вращающийся перфорированный шнек, с помощью которого пар вводится в продукт. После гидротермической обработки продукт направляется на экспандирование. По всей длине корпуса экспандера размещается загрузочная воронка.

Экспандат охлаждается в просеивателе-охладителе, выполненном в форме цилиндра с воронкой для подачи продукта, а также с патрубками для нагнетания охлаждающего воздуха и для отвода отработанного воздуха с пылевидными фракциями. В охладителе под наклоном закреплен вращающийся ситовой барабан, состоящий из двух секций. Первая секция имеет более мелкие отверстия, чем вторая, отверстия которой соответствуют необходимому размеру измельченных частиц экспандата. Нижняя часть просеивателя-охладила разделена на два разгрузочных бункера. В одном из них собирается мелкая фракция (проход первой секции), в другом — экспандат необходимого размера (проход второй секции), откуда он направляется на фасовочный автомат. Сход с наклонного барабана — крупная фракция — идет вначале в дробилку на измельчение, а затем в промежуточный бункер-накопитель, куда поступает и мелкая фракция. Отработанный воздух из

просеивателя-охладила с пылевидными фракциями подается в циклон, где они улавливаются и транспортируются в тот же промежуточный бункер-накопитель. Из него все продукты направляются в кондиционер для обработки паром, далее в экспандер для повторного формования.

Комбикорм, полученный при рациональных параметрах процесса экспандирования и оптимально выбранном соотношении компонентов, анализировали по комплексу показателей, характеризующих его кормовые свойства (обменную энергию, питательные вещества), а также изучали влияние на его качество условий и сроков хранения.

Органолептические показатели экспандированного комбикорма: внешний вид — измельченный экспандат в виде крупки одинакового размера; цвет — соответствующий цвету рассыпного комбикорма, из которого получают экспандат, или темнее (при вводе красителей); запах — соответствующий набору доброкачественных

компонентов исходного комбикорма без затхлого, плесневелого и других посторонних запахов.

Данные по микробиологическим показателям экспандированного комбикорма, приведенные в таблице 2, соответствовали требованиям ТУ 92618-031-02068108-2009.

В течение 61 дня были проведены производственные испытания по скормливанию экспандированных комбикормов карпу: ПК 0-110-1 для сеголеток (размер измельченных частиц экспандата — 3,5 мм); ПК 0-111 для двух- и трехлеток (4,7 мм). Корм вырабатывался с необходимой плавучестью, которая обеспечивала полное его поедание карпом, выращиваемым в глубоководных бассейнах объемом 5 м³.

Интенсивнее рыбы потребляли корм при температуре воды 23–29°C, при температуре ниже 15°C они практически перестали его поедать и, соответственно, расти. В зимний период большинство рыб не питалось и при температуре 4–6°C находилось в малоподвижном состоянии. В это время обмен веществ у них был понижен. За зимний период карп терял от 5 до 10% веса.

Для кормления устанавливали специальные кормушки. В первые дни количество корма составляло не более 1% от массы рыб. Сеголеток кормили два раза в день, разделив дневной рацион пополам; двухлеток — один раз в день. При кормлении трехлеток карпа суточный рацион составлял 6% от их массы.

Эксперимент проводили в двукратной повторности. Контролем служили сеголетки товарной рыбы (двух- и трехлетки), выращиваемые в производственном масштабе на естественной кормовой базе и комбикормах.

Результаты опыта показали, что экспандированный комбикорм, сба-

Таблица 2. Микробиологические показатели экструдированного комбикорма

Показатель	Допустимые значения	Содержание
КМАФАнМ, не более, КОЕ/г	1×10 ⁴	0,4×10 ⁴
БГКП (колиформы) в 1 г корма	Не допускаются	Отсутствуют
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы в 25 г корма	Не допускаются	Отсутствуют
<i>B. cereus</i> , не более, КОЕ/г	1×10 ⁵	Отсутствуют
Плесени, не более, КОЕ/г	50	Отсутствуют

Таблица 3. Показатели продуктивности карпа

Показатель	Группа					
	сеголетки		товарная двухлетка		товарная трехлетка	
	конт- рольная	опытная	конт- рольная	опытная	конт- рольная	опытная
Живая масса, г						
в начале опыта	21,25	21,29	360,51	362,15	694,05	695,12
в конце опыта	23,48	23,56	363,76	365,98	698,16	700,23
Прирост массы, г	2,23	2,27	3,25	3,83	4,11	5,11
Среднесуточный прирост, г	0,036	0,037	0,052	0,063	0,067	0,083

Таблица 4. Химический состав мяса

Группа	Влага	Белок	Жир	Минеральные вещества
Контрольная	77,4	17,3	6,1	2,7
Опытная	78,9	18,1	6,8	2,5

лансированный по питательным веществам, обеспечивал существенный прирост живой массы и улучшение химического состава мяса карпа (таблицы 3 и 4).

В заключение отметим преимущества процесса экспандирования. В отличие от гранулирования на него затрачивается меньшее количество электроэнергии, поэтому себестоимость продукта ниже. При экспандировании по сравнению с экструдированием возможен ввод в корм большего количества жира, мелассы, рыбного гидролизата, жидких белковых кормов. Витамины и другие БАВ не разрушаются, а уничтожаются вредные микроорганизмы, в том числе сальмонелла и грибки.

Полностью клейстеризуется крахмал, его макромолекулы расщепляются на низкомолекулярные фрагменты, в результате чего значительно повышается питательная ценность корма. Резко снижается активность ингибиторов протеаз, что позволяет в значительном количестве использовать бобовые, обеспечивая необходимое содержание белка в комбикорме. Благодаря высокой санитарной чистоте для экспандированного корма не требуются консерванты.

Следует также отметить, что применение компактных экспандеров является экономичным и эффективным способом производства комбикормов. ■