УПРАВЛЕНИЕ ПЛАВУЧЕСТЬЮ КОРМОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ*

Г. ВИК, **Д. КЕРНС**, **Е. БУЛАХ**, компания Wenger, США

ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА

В процессе экструдирования насыпную плотность продукта обеспечивают следующие параметры: уровень внутреннего и/или наружного жира; затраты удельной механической и тепловой энергии; влажность.

В соответствии с требованиями к питательности корма для аквакультуры необходимый *уровень общего жира* должен составлять от 3 до более чем 40%. По мере его повышения ожидается увеличение насыпной плотности кормов. В одном из исследований, проведенных в Техническом центре компании Wenger, рецептура содержала 60% рыбной муки, 24% соевого шрота, 16% пшеничной муки. Эту смесь экструдировали с добавлением рыбьего жира шести различных уровней: 0; 0,9; 1,8; 3,6; 7,2 и 14,4% на стадии кондиционирования в экструзионной одношнековой системе Wenger. Как и предполагалось, с повышением уровня внутреннего жира в процессе экструзии насыпная плотность конечного продукта увеличилась значительно (рис. 1).

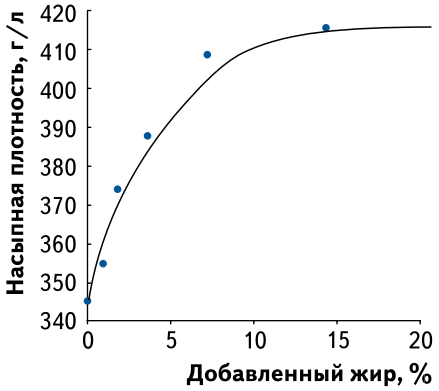


Рис. 1. Влияние добавления жира в процессе экструзии на насыпную плотность экструдата

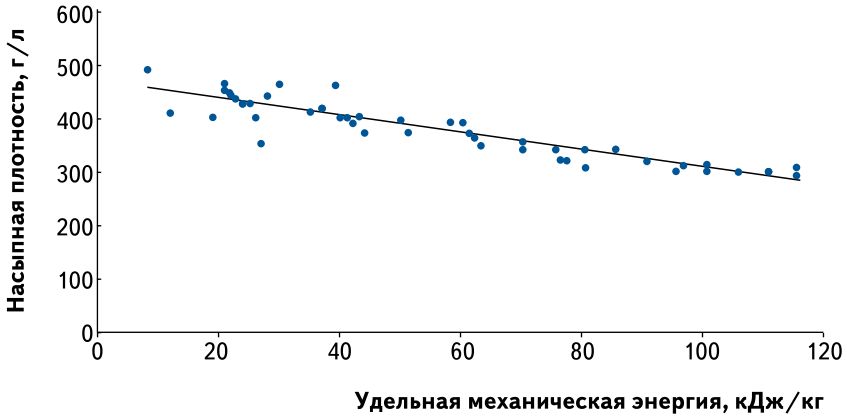


Рис. 2. Влияние удельной механической энергии на насыпную плотность экструдата

Однако содержание жира в экструдате свыше 12% отрицательно сказывается на стабильности гранул. Кроме того, добавление его на этапе экструдирования вызывает «смазывающий» эффект, снижает механическое тепловыделение, желатинизацию крахмала. Жир также ослабляет структурные связи внутри гранулы и таким образом ухудшает ее прочность.

Управление энергией в процессе экструзии в наибольшей степени влияет на насыпную плотность экструдированного корма. С увеличением затрат энергии плотность постепенно снижается. На рисунке 2 показана взаимозависимость между затратами удельной механической энергии и насыпной плотностью конечного продукта.

Влажность экструдируемого материала — также важный параметр процесса, позволяющий контролировать плотность конечного продукта. Низкая его влажность обеспечивает выпуск продукта с высокой плотностью. По мере увеличения влажности, соответственно, снижается плотность. При высоком ее уровне происходит желатинизация крахмала, в результате чего продукт расширяется. Ультравысокое содержание влаги снижает вязкость материала и затрудняет его расширение. Кривая зависимости плотности от влажности на рисунке 3 специфична для каждого продукта.

Существует много других факторов, влияющих на плавучесть: например, поверхностное напряжение, возникающее на границе гранула/ вода, водоизмещение гранулы, температура и соленость воды.

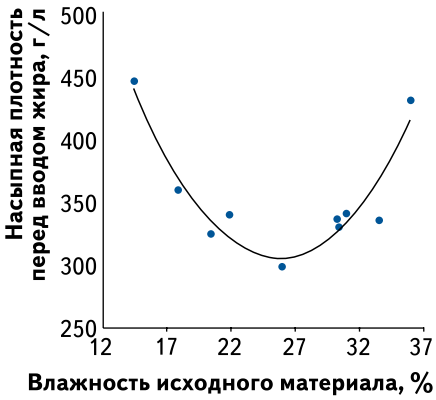


Рис. 3. Влияние влажности исходного материала на насыпную плотность экструдата

*Окончание. Начало в №3-2016

Настройка параметров процесса, как описано выше, может быть применена для обеспечения требуемой насыпной плотности, но в то же время может неблагоприятно повлиять на другие его параметры, в частности на производительность экструзионной системы. Тем не менее, для доведения кормов до необходимой объемной плотности возможно использование дополнительных аппаратных средств, позволяющих применять оптимальные параметры процесса, такие как влажность экструдируемого материала.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Характеристики конечного продукта могут обеспечиваться конфигурацией элементов шнека экструдера. Однако производители кормов для аквакультуры предпочитают не терять время на изменение конфигурации, когда переходят от производства плавающих кормов к тонущим и обратно.

Для контроля насыпной плотности продукта они применяют другие аппаратные средства:

- вентилируемый цилиндр экструдера с помощью вакуума или без него, для удаления воздуха из продукта;
- отдельно варочный и формовочный экструдеры, при этом продукт вентилируется (удаление воздуха) между двумя устройствами;
- изменяющие давление устройства на конце или в середине цилиндра экструдера;
- нагрев и охлаждение секций цилиндра;
- конфигурация шнеков и скорость шнеков;
- матрица экструдера.

Вентилируемый цилиндр экструдера. Воздушный клапан

Цилиндр экструдера обычно заполнен материалом, который находится в нем в условиях увеличивающегося давления до тех пор, пока не выйдет через отверстия матрицы. Высокое давление (0—40 бар) становится результатом значительной степени расширения и низкой плотности продукта, достаточной для производства плавающих кормов. Расширение может быть далее усилено посредством инжекции пара в цилиндр экструдера, что увеличит затраты термальной энергии. Там, где необходим продукт с высокой плотностью (медленно тонущие или тонущие корма для аквакультуры), цилиндр экструдера может быть оснащен вентиляционным устройством (клапаном), которое сбрасывает давление и снижает температуру продукта за счет удаления из него горячего воздуха через выпускной клапан.

Цилиндр экструдера с закрытым вентиляционным отверстием

Цилиндр экструдера с вакуумным устройством

Вакуумное устройство добавляется к вентилируемому цилиндру для того, чтобы увеличить плотность продукта (даже в большей степени) посредством испарительного охлаждения или удаления воздуха из экструдата. Вакуумное устройство (до 0,7 бар) позволяет повысить плотность и прочность каждой гранулы, уменьшить влажность экструдата.

Недостатки вакуумного устройства и вентилируемого цилиндра экструдера:

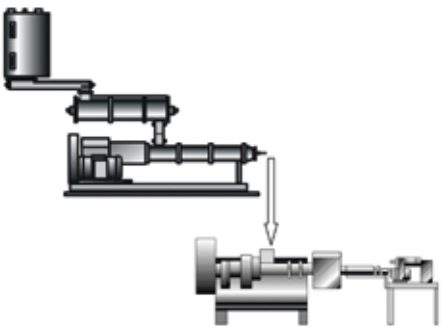
- увеличение инвестиций в аппаратные средства;
- потенциальная производительность экструдера при использовании этих средств снижается на 25—50%;
- утилизация пылевидной фракции продукции из вентиляционного отверстия и воды из вакуумного насоса (эти потоки отходов могут быть переработаны обратно в систему);
- контроль затрат удельной механической энергии снижается.

Варочный и формующий экструдеры

В другом аппаратном средстве, применяемом производителями плавающих и тонущих кормов для аквакультуры, происходит двойной процесс экструзии — варочный и формующий.

В этом процессе первый экструдер применяется только для производства расширенных или плавающих кормов для аквакультуры, а также как варочный для экструдера второй ступени в варочно-формующем процессе. Второй экструдер — формующий (PDU / устройство для уплотнения продукта) используется тогда, когда необходимо обработать очень плотный быстро тонущий корм для аквакультуры. Преимущество такой системы заключается в том, что оба экструдера могут работать с максимально возможной производительностью.

Дело в том, что когда применяется только один экструдер (варочный) для производства очень плотных гранул, то он работает с низкой пропускной способностью для предотвращения расширения (плавающий корм). Добавление второго, формующего, экструдера (с PDU) позволяет полу-



Варочный и формующий экструдеры

чать корма с широким диапазоном по плотности: как максимально расширенные, плавающие корма с помощью одного экструдера, так и очень плотные, полностью (100%) тонущие корма с помощью варочного экструдера и PDU-экструдера.

BPV – клапан противодавления

Характеристики конечного продукта могут управляться сопротивлением на матрице экструдера. Одно из устройств, которое обычно используют производители кормов для аквакультуры, — это BPV-клапан, применяемый для регулирования сопротивления на матрице в процессе работы экструзионной системы. Клапан BPV противодавления с автоматически изменяемым отверстием монтируется на цилиндре экструдера — непосредственно перед матричным узлом.

BPV-клапан на экструдере

Удельная механическая энергия (SME) и давление внутри цилиндра экструдера — это те параметры, которые управляются открытием отверстия клапана. Работа BPV-клапана обеспечивает внутренний контроль напряжения сдвига и удельной механической энергии для регулирования

Управление плотностью кормов с помощью клапана BPV

BPV закрыт на	Индекс скорости экструдера (шнека)	Плотность перед напылением жира, г/л	Уровень жира в конечном продукте после вакуумной пропитки, %
45%	1,0	654	16,2
55%	1,0	628	19,5
65%	1,0	530	23,8
65%	1,3	504	28,4
70%	1,2	420	37,8
70%	1,3	392	40,5

таких важных свойств продукта, как насыпная плотность, размер и однообразность структуры ячеек экструдированного продукта (гранул), желатинизация крахмала; заданная точность формы гранул; абсорбция воды и жира (см. таблицу).

Согласно различным отчетам экструзионный процесс с применением BPV-клапана наиболее стабилен, температурный режим обработки в системе кондиционер/экструдер менее жесткий, что позволяет сохранить питательные и биологически активные вещества корма. Данный клапан исключает необходимость изменять конфигурацию шнека экструдера при работе с различными кормами для аквакультуры: плавающими, медленно тонущими и тонущими.

Неотъемлемая часть возможностей BPV-клапана — отклонение потока обрабатываемого материала от узла матрица/нож и конвейера готового продукта во время обслуживания экструдера, при запуске/остановке, что значительно улучшает санитарные условия в этой зоне процесса.

Конфигурация шнеков и скорость шнеков

Изменение конфигурации шнеков — это уже устаревший способ влияния на затраты механической энергии (увеличение или снижение) для производства продукта. Стандартизация и внедрение VFD-устройств (частотные преобразователи), регулирующих частоту вращения электродвигателей экструдеров, сегодня позволяет почти не изменять конфигурацию шнеков. Благодаря применению VFD-устройств, которыми оснащены новейшие кондиционеры WENGER серий HIP (высокой интенсивности) и HSC (высокий уровень сдвига), может быть достигнута наибольшая управляемость готовностью продукта перед экструзией.

Матрица экструдера

Матрица, даже при наличии всех других инструментов, все еще остается важным элементом для контроля плавучести. «Правильная» матрица (определенные длина канала, диаметр отверстия, угол фаски и площадь отверстий) обязательно должна применяться для достижения заданных и необходимых характеристик конечного корма, как тонущего, так и плавающего. Она, как и соответствующий нож, необходима для производства высококачественного продукта.

ГИБКОСТЬ ПРОЦЕССА

В настоящее время производителям кормов для аквакультуры доступно множество инструментов для управления плотностью и, соответственно, плавучестью продукта. Эта гибкость позволяет регулировать процесс, компенсировать замену одних компонентов другими и отвечать на требования рынка.

Wenger предлагает своим заказчикам поддержку в выборе необходимого процесса, в производстве кормов наиболее легким и эффективным способом. С любым из инструментов компании Wenger можно ознакомиться в ее Техническом центре, который находится в США. ■

WENGER®