

# УПРАВЛЕНИЕ ПЛАВУЧЕСТЬЮ КОРМОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ\*

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

## ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА

В процессе экструдирования на насыпную плотность продукта влияют 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. Этую 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).

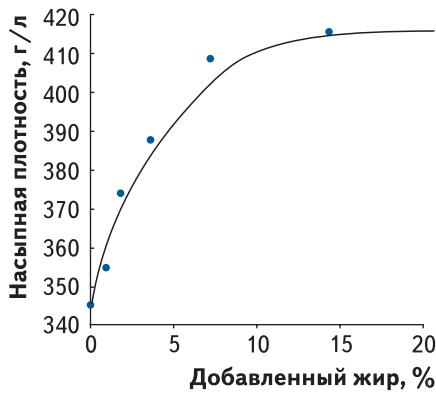


Рис. 1. Влияние добавления жира в процессе экструзии на насыпную плотность экструдата

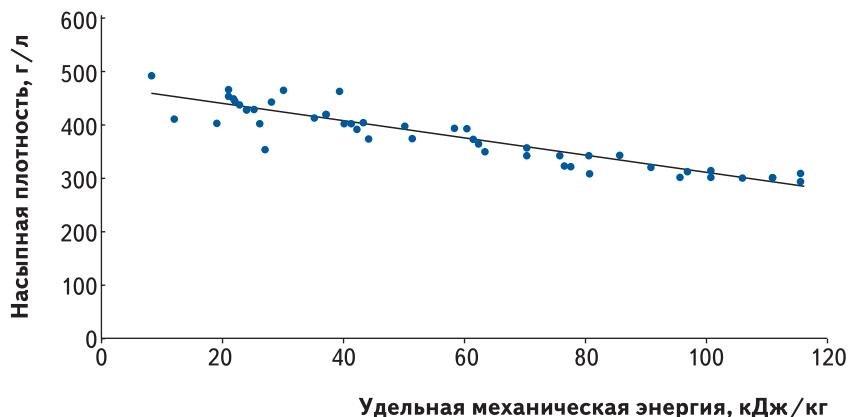


Рис. 2. Влияние удельной механической энергии на насыпную плотность экструдата

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.

Затраты удельной механической энергии в процессе экструзии в наибольшей степени влияют на насыпную плотность экструдированного корма. С увеличением затрат энергии плотность постепенно снижается (рис. 2).

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 расши-

ряется. 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.

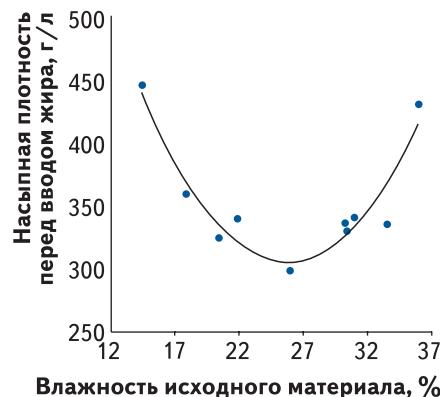


Рис. 3. Влияние влажности исходного материала на насыпную плотность экструдата

\*Окончание. Начало в №4-2021

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 следующие 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 (до 40 бар) становится результатом значительной степени расширения и низкой плотности продукта, достаточной для производства

плавающих кормов. Расширение может быть далее усилено посредством инъекции 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.

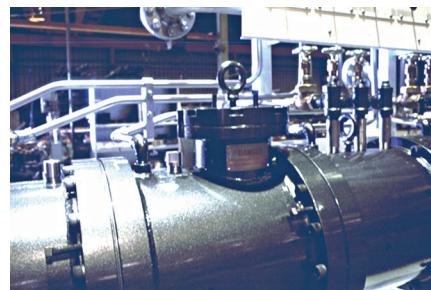
- потенциальная производительность экструдера при использовании этих средств снижается на 25–50%;
- утилизация пылевидной фракции продукции из вентиляционного отверстия и воды из вакуумного насоса (эти потоки отходов могут быть переработаны обратно в систему);
- контроль затрат удельной механической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

### Варочный и формующий экструдеры

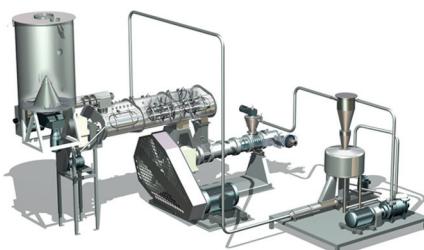
В другом аппаратном средстве, применяемом производителями плавающих и тонущих кормов для аквакультуры, происходит двойной процесс экструзии — варочный и формующий.

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 производить 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 (PDU) позволяет полу-



Цилиндр экструдера с закрытым вентиляционным отверстием

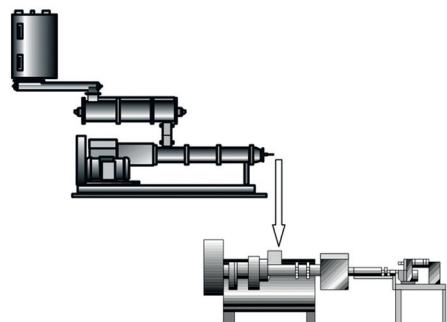


Цилиндр экструдера с вакуумным устройством

Вакуумное устройство устанавливается на вентилируемый цилиндр 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;



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**

Характеристиками конечного продукта можно управлять, изменяя со-противление на матрице экструдера. Одно из устройств, которое обычно используют производители кормов для аквакультуры, — это BPV-клапан, применяемый для регулирования со-противления 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 при-

менению VFD-устройств, которыми оснащены новейшие кондиционеры Wenger серии 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. ■