

## ОСНОВНЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ГОРОХА С БЕЛКОВОЙ ДОБАВКОЙ

Статья содержит результаты исследований процесса экструзии гороховых палочек, обогащенных белковой добавкой Drinde Li. Полученные зависимости позволяют выяснить доминирующее значение каждого исследуемого фактора на кинетические параметры (Р, Т) и с достаточным приближением описать характер протекания процесса экструзии гороха с белковой добавкой Drinde Li.

Интерес к переработке растительного сырья с помощью термопластической экструзии обусловлен двумя основными причинами: большим объемом и разнообразием продукции, производимой с помощью этой технологии, и экономическим эффектом, который дает производство экструзионных продуктов. Высокий экономический эффект производства такого типа продуктов обусловлен прежде всего тем, что один экструдер может заменить целый комплекс машин и механизмов, необходимых для производства продуктов. Его использование позволяет сделать процесс непрерывным, легко контролируемым, универсальным по видам перерабатываемого сырья и готовых продуктов.

Исследование процесса экструзии гороховых палочек, обогащенных белковой добавкой, проводили на экспериментальной установке – одношнековом экструдере. При выборе рецептурного состава смеси гороха с белковой добавкой учитывали ряд факторов. Во-первых, необходимость максимального обогащения экструдированного продукта белками животного происхождения и минеральными веществами для достижения их физиологической дозы. Необходимо наряду с развитой структурой экструдатов стремиться к получению сбалансированных по пищевой ценности продуктов. Во-вторых, достижение приятного вкуса и привлекательной структуры, изменяющих традиционные характеристики гороха. Также стоит отметить, что именно внешний вид является одним из основных факторов при выборе потребителем продуктов питания. Было выяснено, что дозировка белковой добавки Drinde Li 5% оказывает максимальное влияние на органолептические характеристики экструдата, позволяет улучшить потребительские свойства и повысить пищевую ценность готового продукта.

Исследование влияния условий экструзионной обработки смеси гороха с белковой добавкой Drinde Li на характер экструдирования и качество готового продукта позволяет глубже понять и оценить физику данного процесса. С

этой целью была проведена серия экспериментов в широком диапазоне изменения параметров процесса экструзии, используемых при получении аналогичных продуктов.

В качестве целевого параметра, определяющего качество протекания процесса экструзии, нами была выбрана плотность экструдата. Установлено (рис. 1), что с повышением частоты вращения шнека плотность экструдата уменьшается, достигает некоторой величины, соответствующей рациональному режиму работы экструдера, а потом неуклонно повышается, причем чем меньше диаметр проходного сечения матрицы, тем резче уменьшается плотность.

Подобное поведение кривой вспучивания можно объяснить тем, что при малых значениях частоты вращения шнека расплав экструдата больше время находится в предматричной зоне при максимальных значениях температуры и давления. В результате происходит частичное термическое разложение микроструктуры крахмальных зерен, спекание части расплава, что снижает расширение экструдата за счет сил упругого восстановления и препятствует расширению и фиксации структуры при взрывном испарении влаги. При чрезмерно больших значениях частоты вращения шнека аккумулируется энергия, приводящая к нарушению целостности экструдата и, как следствие, повышению плотности экструдата.

Зависимость между содержанием влаги в сырье и давлением обратно пропорциональная. С уменьшением начальной влажности (рис. 1) давление в предматричной зоне экструдера резко возрастает из-за того, что небольшое количество воды во время экструзии еще больше увеличивает вязкость продукта, и тем быстрее, чем меньше его температура перед матрицей.

Анализ полученных кривых показал, что рабочие характеристики экструдера (рис. 2) для всех значений частоты вращения шнека имеют одинаковый вид, т. е. с увеличением производительности давление в предматричной зоне экструдера сначала растет, а затем с некоторо-

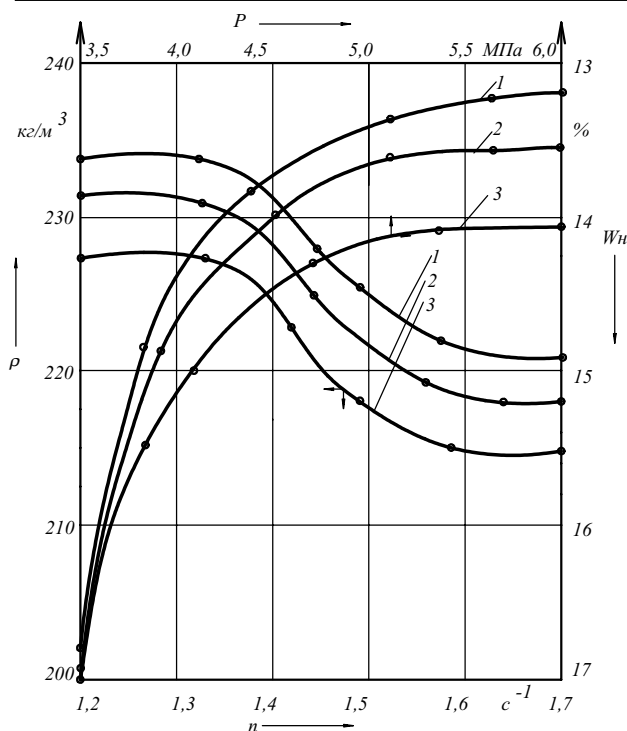


Рисунок 1. Зависимость плотности экструдата от частоты вращения шнека  $w, c^{-1}$  и начальной влажности перерабатываемой смеси от давления в предматричной зоне экструдера при различных диаметрах проходного сечения матрицы  $d_m \times 10^{-3}, m$ : 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4

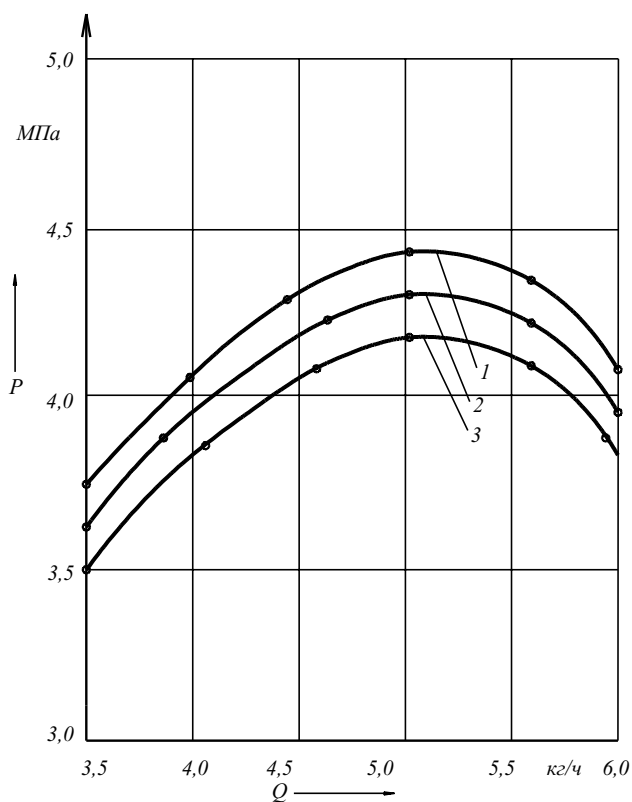


Рисунок 2. Зависимость давления в предматричной зоне экструдера от его производительности при различной частоте вращения шнека  $w, c^{-1}$ : 1 – 9; 2 – 8; 3 – 7

го значения  $Q$  уменьшается. Очевидно, что в режиме полностью закрытого выхода при  $Q = 0$  давление в предматричной зоне непрерывно нарастает, а в режиме открытого выхода  $Q = Q_{max}$  – непрерывно падает. В реальном же процессе экструзии с ростом производительности давление продукта достигает некоторой величины, максимально возможной для данных условий работы экструдера, а потом неуклонно снижается. Максимум на кривых смещается в сторону увеличения производительности.

Одним из факторов, обуславливающих высокое качество экструдатов, является постоянство величины температуры продукта в матрице экструдера. Значительные отклонения температуры вызывают разложение термолабильных питательных веществ. Поэтому для поддержания оптимальной температуры продукта необходимо было стабилизировать величину давления в предматричной зоне экструдера. Это достигалось за счет отвода части расплава из предматричной зоны в зону дозирования.

Использование линии рециркуляции продукта из предматричной зоны в зону дозирования позволит повысить фактическую производительность экструзионного оборудования и получить готовый продукт высокого качества за счет оптимизации температурного режима вследствие стабилизации давления готового продукта в предматричной зоне, а также обеспечивает возможность более высокой точности поддержания технологических параметров и большую надежность системы регулирования процесса экструзии. Анализ полученных кривых показал, что с повышением давления коэффициент перетока увеличивается до некоторого значения (что соответствует рациональным режимам экструдирования), а давление уменьшается (рис. 3), что соответствует рабочим характеристикам экструдера (рис. 4).

Фактическая величина давления экструдата в предматричной зоне экструдера с учетом отводимого рециркулята определяется по формуле:

$$P = P_0 e^{-mk_n}, \quad (1)$$

где  $m$  – эмпирический коэффициент ( $m=1,37..2,10$ );

$K_n$  – доля отводимого рециркулята.

Применение уравнения 1 решает задачу выбора оптимальных параметров экструдирования пищевых смесей с белковыми добавками для получения высококачественных экструзионных продуктов нового поколения.

Зависимости давления и температуры продукта в предматричной зоне экструдера от переменных параметров экструзионного процесса позволяют с достаточной точностью прогнозировать их изменение в исследованном диапазоне значений факторов. Их анализ позволяет сделать заключение о преобладающем влиянии учитываемых факторов на температуру и давление пищевой среды: наибольшее влияние на давление расплава продукта оказывают конструктивные параметры экструдера (величина

диаметра проходного сечения матрицы), а также начальная влажность смеси; геометрические характеристики рабочего органа, скорость вращения шнека и давление продукта максимально влияют на температуру в предматричной зоне экструдера. Они позволяют выявить доминирующее значение каждого исследуемого фактора на кинетические параметры (P, T) и с достаточным приближением описать характер протекания процесса экструзии гороха с белковой добавкой Drinde Li 15/A.

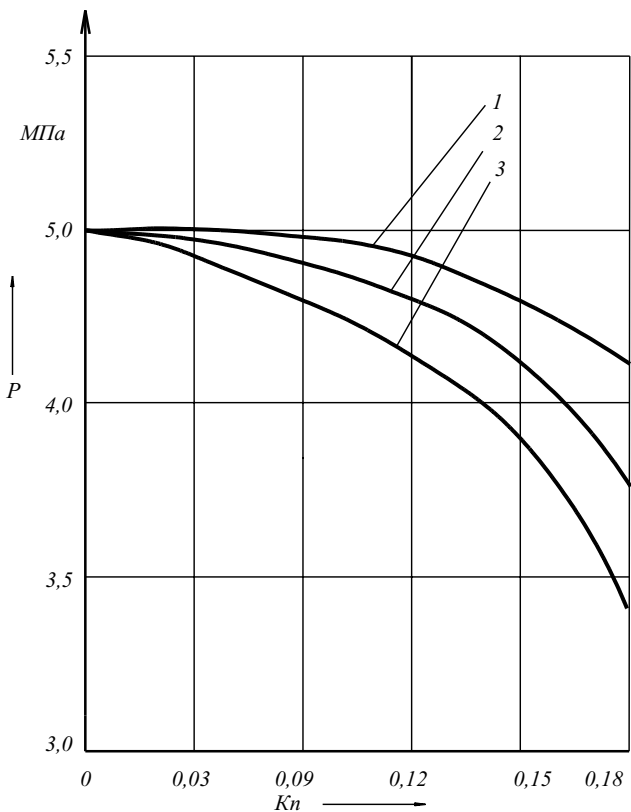


Рисунок 3. Зависимость давления в предматричной зоне экструдера от коэффициента перетока при различных диаметрах проходного сечения матрицы  $d_m \times 10^{-3}$ , м: 1 – 2; 2 – 3; 3 – 4

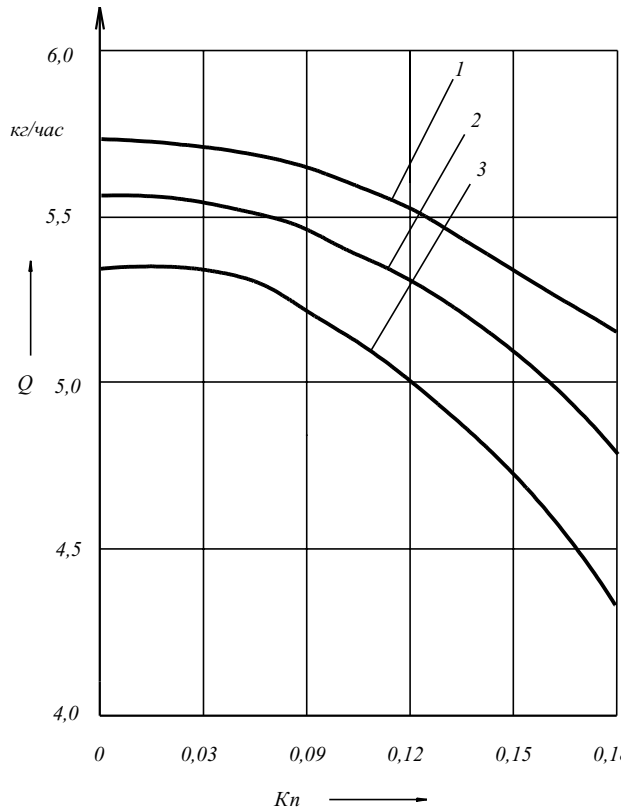


Рисунок 4. Зависимость производительности экструдера от коэффициента перетока при различной частоте вращения шнека  $n$ , с<sup>-1</sup>: 1 – 9; 2 – 8; 3 – 7