

В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук, Д.А. Мусиенко,

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ВЫСОТЫ ФИЛЬЕРЫ НА ПРОЦЕСС ЭКСТРУДИРОВАНИЯ КОМБИКОРМОВ

В результате проведенного эксперимента по изучению влияния высоты щелей двухщелевой с возможностью изменения высоты щелей матрицы при известных влажностях и угловых скоростях вращения шнека на параметры процесса: мощность, производительность, энергоемкость, степень вспучивания, предельную прочность на срез получены уравнения зависимости и поверхности отклика. Построенные поверхности отклика позволяют определить области, в которых комбикорм имеет наилучшие значения контролируемых параметров. Результаты исследований могут быть использованы при экструдировании для получения качественного комбикорма.

Экструдированные комбикорма обладают рядом полезных свойств, обусловленных воздействием на комбикорм рабочего пространства пресса-экструдера. В последнее время появился новый вид экструдированных продуктов растительного происхождения, произведенных в режиме теплого экструдирования [1,2]. Теплое экструдирование занимает промежуточное положение между холодным и горячим режимами экструдирования, обладает достоинствами холодного и горячего режимов и может быть использовано для производства комбикорма с особыми свойствами.

Важным элементом пресса-экструдера является матрица. От ее конструктивных параметров зависят энергозатраты на производство и конечное качество продукта. Для более интенсивного воздействия на комбикорм его экструдировать через щелевые фильеры матрицы.

Разработана конструкция матрицы [3], имеющая две щелевые фильеры с подвижными стенками, которые позволяют плавно регулировать высоту щели в процессе экструдирования при помощи установочных винтов.

Нами был проведен эксперимент по изучению влияния высоты щелей матрицы при различных влажностях и угловых скоростях вращения шнека на параметры процесса: мощность, производительность, энергоемкость, степень вспучивания,

предельную прочность на срез.

При проведении исследования экструдировали кормосмесь, состоящую из 40 % пшеницы, 40 % ячменя и 20 % отрубей. Влажность кормосмеси находилась в диапазоне от 12 % до 30 %, что обеспечивало экструдирование в режимах горячей и теплой экструзии. Перед экструдированием кормосмесь отволаживали в течении 12 часов. Эксперимент проводили при трех угловых скоростях вращения шнека - 10, 15 и 23 рад/с.

Планирование и обработка результатов эксперимента осуществлялись в соответствии с существующей методикой [4].

После обработки результатов эксперимента были получены следующие уравнения зависимости энергоемкости  $E$  [кДж/кг], степени вспучивания  $S$  и предельной прочности на срез  $\sigma$  [МПа] от относительной влажности  $W$  [%] и высоты каналов  $L$  [м].

При угловой скорости вращения шнека — 10 рад/с:

$$E = 19,16 - 5,24W - 2,6L + 3,84L^2 \quad (1)$$

$$S = 1,28 - 0,04W + 0,03L - 0,2W^2 + 0,03L^2 \quad (2)$$

$$\sigma = 3,7 + 1,72W - 0,17L - 0,23WL - 0,28W^2 - 0,76L^2 \quad (3)$$

По уравнениям (1), (2) и (3) построены поверхности отклика на рисунке 1.

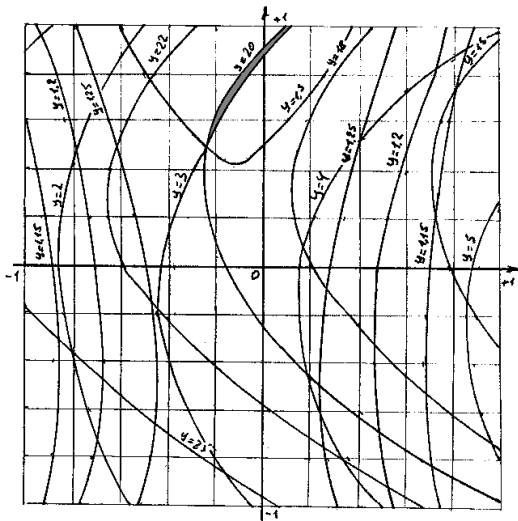


Рисунок 1 - Изображение области оптимальных значений исследуемых параметров при угловой скорости 10 рад/с.

Из рисунка 1 видно, что поверхности отклика, построенные в соответствии с уравнением (1), представляют собой эллипсы вложенные друг в друга, вытянутые вдоль оси влажности  $W$ . Значение энергоёмкости уменьшается в направлении увеличения влажности, и меньшей энергоёмкости соответствует эллипс меньших размеров. Центр эллипсов находится правее центра координат. Доминирующее влияние оказывает на энергоёмкость влажность.

Следы поверхностей отклика, описанные уравнением (2), имеют форму, ветвей параболы расположенных симметрично относительно оси параллельной оси высоты щелей  $L$ . С увеличением степени вспучиваемости, линии приближаются с обеих сторон к своей оси и при значении функции 1,3 и более имеют вид параболы. Здесь определяющим аргументом также является влажность.

Поверхности отклика предельной прочности на срез в зависимости от влажности и высоты фильеры, уравнение (3), имеют вид вложенных эллипсов с центром расположенным книзу правее от центра координат. Увеличение прочности происходит, в основном, за счет увеличения влажности и эллипс с большей прочностью имеет меньший размер.

Увеличение энергоёмкости является нежелательным явлением, поскольку ведет к увеличению затрат. Также нежелательно увеличение предельной прочности на срез,

поскольку тогда животное тратит много энергии на пережевывание и переваривание гранул комбикорма, ухудшается усваиваемость корма. Увеличение степени вспучиваемости — наоборот — является положительным моментом, поскольку чем более вспученный продукт, тем более глубоко в нем происходит декстринизация, тем выше усваиваемость комбикорма животным.

При угловой скорости вращения шнека — 15 рад/с:

$$E = 9,86 - 2,66W - 1,74L + 0,77WL + 2,6W^2 \quad (4)$$

$$S = 1,53 - 0,03W + 0,03L - 0,26W^2 - 0,14L^2 \quad (5)$$

$$\sigma = 2,89 + 1,2W - 0,24L - 0,27WL - 0,57W^2 - 0,13L^2 \quad (6)$$

По уравнениям (4), (5) и (6) построены поверхности отклика на рисунке 2.

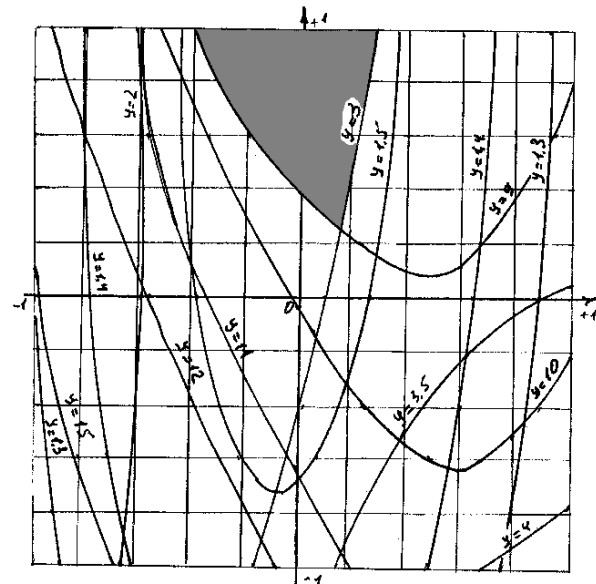


Рисунок 2 - Изображение области оптимальных значений исследуемых параметров при угловой скорости 15 рад/с.

Поверхности отклика построенные по уравнению (4) представляют собой эллипсы вложенные друг в друга, причем меньшему эллипсу соответствует меньшая энергоёмкость. Центр эллипсов расположен справа сверху от нулевой координатной точки за пределами исследуемой области.

Следы поверхностей построенные по уравнению (5) также представляют собой вложенные эллипсы с центром на оси высоты фильеры  $L$ . Степень вспучиваемости увеличивается, с уменьшением размеров эллипсов.

Построенные по уравнению (6)

поверхности отклика имеют форму ветвей параболы. На предел прочности на срез определяющее воздействие, как и в случае угловой скорости 10 рад/с, оказывает влажность, поскольку следы поверхностей отклика расположены вдоль оси высоты фильеры.

При угловой скорости вращения шнека — 23 рад/с:

$$E = 9,2 - 1,4W - 0,76L \quad (7)$$

$$S = 1,61 + 0,97W - 0,22L - 0,13WL - 0,94W^2 + 0,06L^2 \quad (8)$$

$$\sigma = 3,16 + 0,97W - 0,22L - 0,13WL - 0,94W^2 + 0,06L^2 \quad (9)$$

По уравнениям (7), (8) и (9) построены поверхности отклика на рисунке 3.

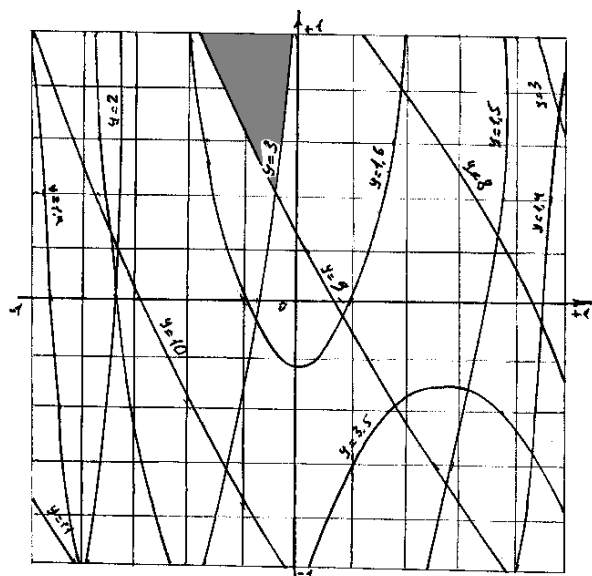


Рисунок 3 - Изображение области оптимальных значений исследуемых параметров при угловой скорости 23 рад/с.

Следы поверхностей отклика построенные по уравнению (7) имеют вид ветвей параболы. Энергоемкость уменьшается по направлению вправо вверх. В этом случае нельзя говорить о том какой аргумент оказывает решающее влияние на

значение функции, поскольку следы расположены приблизительно под углом минус 45° к оси влажности W.

Следы поверхностей отклика построенные по уравнению (8) имеют вид вложенных эллипсов. Центр эллипсов находится на оси высоты каналов L, выше нуля координат. Степень вспучиваемости с уменьшением размеров эллипсов увеличивается. На значение функции определяющее воздействие оказывает влажность.

Следы поверхностей по уравнению (9) имеют форму ветвей параболы. Увеличение предельной прочности на срез происходит с увеличением влажности комбикорма.

На основе вышеизложенных рассуждений на рисунках 1, 2 и 3 выделены области, где энергоемкость и прочность имеют наименьшее значение при максимальном значении степени вспучиваемости.

Результаты исследований позволяют сформулировать конкретные рекомендации для практического использования результатов экспериментов:

— при неизменной высоте фильер и скорости вращения рабочего органа наилучшей с точки зрения получения качественного комбикорма при низких энергозатратах является влажность  $W=15\%$ ;

— при неизменных влажности исходной смеси ( $W=15\%$ ) и частоте вращения шнека — высота фильер 0,004 м.

При анализе поверхностей отклика видно, что комбикорм с наилучшими показателями качества при изменении влажности и высоте фильер при постоянной угловой скорости вращения шнека 10 рад/с получается в области между следами поверхностей энергоемкости соответствующей  $E = 20$  кДж/кг и предельной прочностью на срез —  $\sigma = 3$  Мпа; при 15 рад/с — в области между следами поверхностей отклика энергоемкости  $E = 9$  кДж/кг и предельной прочностью на срез  $\sigma = 3$  Мпа, а при 23 рад/с — между следами поверхностей соответствующим  $E = 9$  кДж/кг и предельной прочностью на срез  $\sigma = 3$  Мпа.

#### Список использованной литературы

1. Медведев Г.М. Разработка новых видов экструдированных сухих завтраков. Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИ Хлебпродинформ.- 1995.- 18с.
2. Попов В.П. Разработка технологии производства сухих полуфабрикатов крекеров с использованием варочных экструдеров. Автореферат кандидатской диссертации. -М., 1995. - 24с.
3. Патент РФ № 2092056. Б. и. 1997, № 28
4. Грачев Ю. П. Математические методы планирования экспериментов. с М.: Пищевая промышленность, 1979. s 200 с.

Статья поступила в редакцию 24. 04. 2000г.