

Рис. 4. Собственные частоты колебаний в зависимости от схемы закрепления

Заключение. Для стабилизации эффективных показателей работы и в целях предохранения упругой стойки культиватора в момент перегрузки, необходимо в ее конструкцию предусмотреть регулятор жесткости, что позволяет ее использовать на почвах различной влажности и твердости.

Библиографический список

1. Ишкин, П. А. Повышение эффективности разуплотнения почвы комбинированным орудием при мелкой осенней полосовой обработке : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ишкин Павел Александрович. – Пенза, 2008. – 19 с.
2. Чаткин, М. Н. Обзор современных энергосберегающих технологий обработки почвы / М. Н. Чаткин, О. А. Ягин, С. Е. Федоров // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2010. – С. 65-68.
3. Багманов, Р. С. Улучшение качества предпосевной обработки почвы и снижение энергозатрат путем обоснования параметров культиватора с упругими рабочими органами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Багманов Рубин Сабирович. – Москва, 2012. – 18 с.
4. Дмитриев, С. Ю. Проектирование, измерения и автоматизация упругих элементов машин и механизмов с использованием компьютера / С. Ю. Дмитриев, Ю. П. Дмитриев // Роль молодых ученых в решении приоритетного национального проекта «Развитие АПК» : мат. студенческой науч. конферен. – Чебоксары, 2007. – С. 90-93.
5. Седашкин, А. Н. Влияние вынужденных колебаний на разрушение почвы / А. Н. Седашкин, С. Е. Федоров, С. Ю. Городсков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2010. – С. 66-68.
6. Пат. 132940 Российская федерация, МПК А01В35/24 Культиватор на упругих стойках / Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Костин А. С. – №2013120755 ; заявл. 06.05.2013 ; опубл. 10.10.2013, Бюл. №28. – 2 с.
7. Федоров, С. Е. Исследование динамики пружинной стойки методом «эквивалентного бруса» / С. Е. Федоров, М. Н. Чаткин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. – Саранск, 2013. – С. 66-68.
8. Лукашевич, А. А. Построение и реализация схем прямого метода конечных элементов для решения контактных задач // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 12. – С. 18-23.

УДК 631.363.7

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, 25А.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Фомина Мария Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, 1г.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Терюшков Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440007 Пензенская область, г. Пенза, 1-й Городищенский проезд, 7-1.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Чупшев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014 Пензенская область, г. Пенза, ул. Конструкторская, 12.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Ключевые слова: смеситель, цикл, смешивание, выгрузка, смесь, производительность.

Цель исследования – аналитически обосновать длительность цикла работы смесителя периодического действия. Повышение продуктивности животных требует улучшения качества кормов. Одним из способов

повышения качества корма является приготовление смесей. Наиболее качественные смеси обеспечивают смесители периодического действия. Их особенностью является предварительная загрузка компонентов смеси и последующий период их смешивания рабочим органом. После приготовления смеси открывается выгрузное отверстие и готовая смесь выгружается. В ряде случаев используются смесители ступенчатого смешивания, в которых вначале готовится предварительная смесь, догружаются дополнительные добавки и получается смесь. Иногда осуществляется несколько подобных ступеней смешивания. В статье дается описание разработанной конструкции вертикального лопастного смесителя периодического действия для приготовления кормовых смесей. Используя известные теоретические положения прикладной механики, аналитически выводятся выражения длительности смешения компонентов смеси и выгрузки готового корма из смесителя. Выгрузку корма из смесителя можно разделить на два интервала времени. Первый интервал – пока разгружается смесь выше выгрузного отверстия (высота выгрузного отверстия постоянна). Второй интервал – когда разгружается смесь на высоте выгрузного отверстия (высота смеси изменяется от высоты выгрузного отверстия до практического нуля, т.е. высота выгрузного отверстия – переменная величина). В статье теоретически обоснуются выражения времени цикла работы смесителя, включая время смешения и разгрузки вертикального смесителя. Представлены формулы для определения длительности смешивания, время выгрузки материала через прямоугольное боковое отверстие и полное время цикла.

Повышение продуктивности животных требует улучшения качества кормов. Одним из способов повышения качества корма является приготовление смесей. Наиболее качественные смеси обеспечивают смесители периодического действия. Их особенностью является предварительная загрузка компонентов смеси и последующий период их смешивания рабочим органом. После приготовления смеси открывается выгрузное отверстие и готовая смесь выгружается [1].

В ряде случаев используются смесители ступенчатого смешивания, в которых вначале готовится предварительная смесь, догружаются дополнительные добавки и получается смесь. Иногда осуществляется несколько подобных ступеней смешивания [2].

Цель исследования – аналитически обосновать длительность цикла работы смесителя периодического действия.

Задача исследования – определить теоретические выражения, описывающие цикл работы смесителя периодического действия, время загрузки, смешения и выгрузки.

Материалы и методы исследований. Предлагается для приготовления кормовых смесей использовать лопастной смеситель разработанной авторами конструкции [3, 4]. Он состоит (рис. 1) из емкости смесителя 9, привода в составе электродвигателя 1 и муфты 2, передающей вращающий момент на вертикальный вал 5 и далее к мешалке 4. Загрузка ингредиентов смеси осуществляется через загрузочный бункер 8. Выгрузка готовой смеси осуществляется через выгрузное окно 12 по выгрузному лотку 13. Используя известные теоретические положения прикладной механики, аналитически выводятся выражения длительности смешения компонентов смеси и выгрузки готового корма из смесителя.

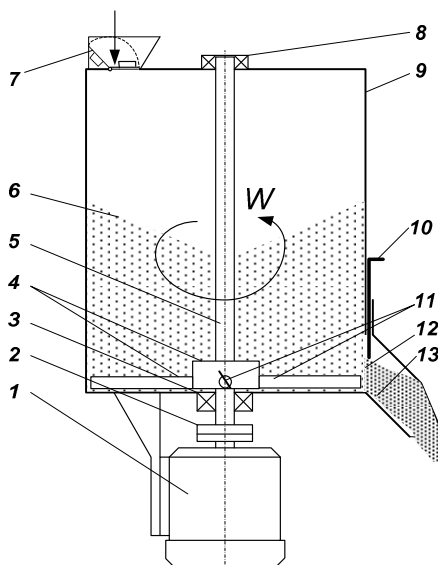


Рис. 1. Смеситель периодического действия:

1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3, 8 – подшипник; 4 – мешалка; 5 – вал; 6 – смесь; 7 – загрузочный бункер; 9 – емкость смесителя; 10 – заслонка; 11 – лопасти мешалки; 12 – выгрузное окно; 13 – выгружаемый корм

Результаты исследований. Конструктивные и энергетические параметры обосновывались авторами в ряде работ [3, 4]. Однако функционально не выявлялась длительность цикла работы устройства.

Время цикла приготовления смеси (τ) включает в себя [1, 5-7]:

$$T_{\text{ц}} = T_3 + T_c + T_b + T_d, \quad (1)$$

где T_3 – время загрузки компонентов, с; T_c – время смешения компонентов, с; T_b – время выгрузки готовой смеси, с; T_d – подготовительно-заключительные операции при работе дозирующего и смесительного оборудования, обеспечивающего подготовку смесительного агрегата следующему циклу, с.

Время загрузки компонентов дозаторами в смеситель определяется особенностями дозирующего устройства и способом загрузки компонентов смеси. В общем случае время загрузки компонентов (τ) можно определить:

$$T_3 = \frac{M}{Q_d}, \quad (2)$$

где Q_d – производительность системы дозирования компонентов смеси, кг/с.

Длительность смешивания компонентов смеси смесителем определим на основе материалов [7].

Процесс перемешивания компонентов смеси может описываться показательной функцией по аналогии с процессом диффузии [8, 9]. Согласно этой аналогии, для описания равномерности приготавливаемой смеси справедливо уравнение:

$$\Theta = 1 - e^{-kT}, \quad (3)$$

где k – эмпирический коэффициент интенсивности перемешивания; T – длительность перемешивания материала [8], с. Для различных смесителей (включая разные значения конструктивных и кинематических параметров одного и того же смесителя) значение эмпирического коэффициента интенсивности перемешивания k будет различным [7]. Соответственно графики изменения равномерности смеси Θ для таких смесителей также будут отличаться интенсивностью (рис. 2).

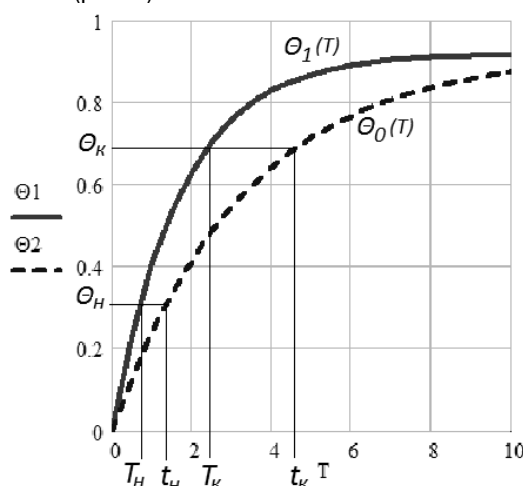


Рис. 2. Изменение равномерности смеси Θ (0,01%) в зависимости от длительности смешивания T (с)

При одинаковой системе работы дозирующих устройств начальное качество смеси Θ_H на момент загрузки компонентов смеси в обоих вариантах смесителей будет одинаковым.

Необходимое качество смеси Θ_K достигнет требуемого значения через некоторый промежуток времени, например для двух разных смесителей промежуток времени смешения составит:

$$T_{C1} = T_K - T_H, \quad T_{C2} = t_K - t_H, \quad (4)$$

где T_H и t_H – условное время смешивания, соответствующее промежутку времени до начала перемешивания, для достижения равномерности смеси, соответствующей качеству смеси Θ_H начала перемешивания, с.

По условию минимальной энергоемкости смесеприготовления наиболее вероятно сокращение длительности смешивания. Соответственно, зная эмпирическую величину k (эмпирический коэффициент интенсивности перемешивания для смесителя), можем найти требуемую длительность смешения компонентов конкретного смесителя.

Условное время до начала смешивания определится:

$$T_H = -\frac{1}{k} \ln(1 - \Theta_H). \quad (5)$$

Условное время до окончания смешивания определится:

$$T_K = -\frac{1}{k} \ln(1 - \Theta_K). \quad (6)$$

Время смешения (с) в общем виде определится:

$$T_C = T_K - T_H = -\frac{1}{k} \ln \frac{(1 - \Theta_K)}{(1 - \Theta_H)}. \quad (7)$$

Время выгрузки смеси можно определить на основе данных статьи [10].

Если в смесителе диаметром D (м) загружена масса компонентов смеси M (кг), то при средней плотности смеси высота корма в смесителе составит H (м).

При этом координата положения центра тяжести X_C (м) радиального элементарного сектора [10] в момент времени t поворота некой лопасти мешалки, вращающейся на валу 4 вокруг вертикальной оси вертикальной цилиндрической емкости 2 (рис. 3), относительно начала выгрузного отверстия 1 на ее боковой поверхности (при котором $t=0$), определится относительно оси вращения:

$$X_C = C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \frac{g \cdot f_1 \cdot H}{\omega^2 \cdot S_l}, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения; ω – угловая скорость вращения мешалки, рад/с; S_l – высота выгрузного отверстия, м;

$$C_1 = \frac{(X_C - B) \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}; C_2 = X_C - \frac{X_C \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} - B; B = \frac{g \cdot f_1 \cdot H}{\omega^2 \cdot S_l}; \lambda_1 = -\omega \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1}); \lambda_2 = -\omega \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1}).$$

При выгрузке материала сектор смещается в радиальном направлении, не успевая заполняться. Радиальные сектора составляют в совокупности всю поверхность дна смесительной емкости.

Радиальная скорость перемещения центра тяжести радиального сектора (м/с) будет функцией времени поворота лопасти (соответственно времени расположения лопасти относительно начала выгрузного отверстия) [10]:

$$\vartheta = \dot{X}_C = C_1 \cdot \lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 t}. \quad (9)$$

Подача материала (кг/с) через выгрузное отверстие в виде прямоугольной щели определится:

$$Q = Q_v \cdot \rho = (S_l \cdot S_o \cdot v_{cp}) \cdot \rho \text{ или } Q = S_l \cdot S_o \cdot \rho \cdot \frac{\sum v_i}{N_i}. \quad (10)$$

где S_o – ширина выгрузного отверстия, м; v_{cp} – средняя скорость выхода материала из смесителя через выгрузное отверстие в радиальном направлении, м/с; v_i – скорость выхода материала из смесителя в радиальном направлении на i -м участке, м/с; N_i – количество i -х участков выгрузного отверстия, шт.; ρ – плотность вороха материала в смесительной емкости при работе мешалки, кг/м³.

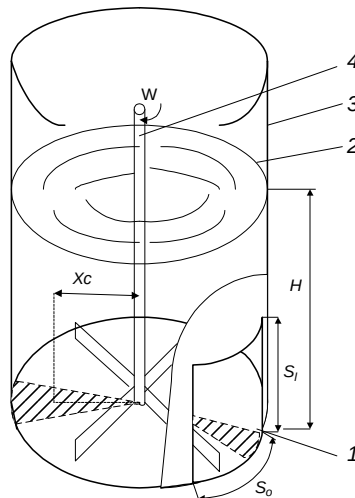


Рис. 3. Схема размещения размеров при выгрузке материала из емкости смесителя:

1 – выгрузное отверстие; 2 – верхний слой материала; 3 – емкость смесителя; 4 – вращающийся вал с мешалкой

При разгрузке за бесконечно малое время ΔT из смесителя выгрузится масса корма M_1 (кг) и объем смеси V_1 (м³):

$$M_1 = \Delta T \cdot Q, V_1 = M_1 / \rho. \quad (11)$$

Высота слоя корма в смесителе уменьшится на ΔH . Теперь высота корма составит $H - \Delta H$. Изменение высоты корма в смесителе (м) составит:

$$\Delta H = 4 \cdot V_1 / (\pi \cdot D^2) = 4 \cdot (\Delta T \cdot Q / \rho) / (\pi \cdot D^2) \quad \text{или} \quad \Delta H = 4 \cdot \Delta T \cdot Q / (\pi \cdot \rho \cdot D^2). \quad (12)$$

Выгрузку корма из смесителя можно разделить на два интервала времени. Первый интервал – пока разгружается смесь выше выгрузного отверстия (высота выгрузного отверстия постоянна). Второй интервал – когда разгружается смесь на высоте выгрузного отверстия (высота смеси изменяется от высоты выгрузного отверстия до практического нуля, т.е. высота выгрузного отверстия – переменная величина).

Определим время первого интервала времени (с), когда конечная высота слоя корма составит S_l :

$$\Delta \tau_1 = (\pi \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \Delta H) / (4 \cdot Q), \quad \text{или} \quad \Delta \tau_1 = (H - S_l) \cdot (\pi \cdot D^2 \cdot \rho) / (4 \cdot Q). \quad (13)$$

Определим длительность второго интервала времени (с), когда высота слоя корма в смесителе изменяется от высоты отверстия S_l до нуля:

$$\Delta \tau_2 = \int_{S_l}^0 \left[\frac{\Delta H \cdot A}{S_l - \Delta H} \right] d\Delta H = \int_{S_l}^0 (-\Delta H \cdot A - A \cdot S_l \cdot \ln(S_l - \Delta H)) d\Delta H, \quad (14)$$

где $A = \pi \cdot D^2 / \left(4 \cdot S_o \cdot \frac{\sum v_i}{N_i} \right)$ – показатель, определяемый из формул 10 и 13.

Учитывая, что логарифм нуля математически определить невозможно, граничным условием (соответствующим условному нулю) примем размер частиц смеси в соответствии с зоотехническими требованиями – 0,001 м.

Время второго интервала (с) выразится:

$$\Delta \tau_2 = [-S_l \cdot A - A \cdot S_l \cdot \ln(0,001) + A \cdot S_l \cdot \ln(S_l)]. \quad (15)$$

На основании данных формул можно найти время, в течение которого координата центра тяжести опустится до дна, что и будет длительностью выгрузки (с):

$$T_B = \Delta \tau_1 + \Delta \tau_2. \quad (16)$$

Заключение. Аналитически описана длительность цикла T_u (с) работы вертикального смесителя периодического действия с боковым выгрузным отверстием в виде прямоугольной щели:

$$T_u = \frac{M}{Q_d} + -\frac{1}{k} \ln \left(\frac{1 - \Theta_k}{1 - \Theta_n} \right) + \left(\frac{(H - S_l) \cdot (\pi \cdot D^2 \cdot \rho)}{4 \cdot Q} + [-S_l \cdot A - A \cdot S_l \cdot \ln(0,001) + A \cdot S_l \cdot \ln(S_l)] \right) + T_d. \quad (17)$$

Библиографический список

1. Коновалов, В. В. Механизация технологических процессов животноводства / С. И. Щербаков, В. Ф. Дмитриев. – Пенза, 2006. – 232 с.
2. Терюшков, В. П. Определение энергоемкости смесеобразования быстроходных смесителей / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, О. Н. Широкова, М. В. Коновалова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3. – С. 76-81.
3. Коновалов, В. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров смесителя сухих кормов с плоскими лопастями / В. В. Коновалов, В. Ф. Дмитриев, М. В. Коновалова // Научное обозрение. – 2011. – №1. – С. 24-28.
4. Коновалов, В. В. Результаты теоретических исследований процесса перемешивания в смесителе периодического действия / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2012. – №2. – С. 51-55.
5. Новиков, В. В. Обоснование параметров лопастной мешалки / В. В. Новиков, С. П. Симченкова, В. И. Курдюмов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №2. – С. 104-108.
6. Ларюшин, Н. П. Теоретическое исследование рабочего процесса барабанной картофелесортировки / Н. П. Ларюшин, О. Н. Кухарев, В. С. Бочкарев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №3. – С. 19-25.
7. Коновалов, В. В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, М. В. Фомина, А. С. Калиганов // Нива Поволжья. – 2013. – №3 (28). – С. 77-83.
8. Стукалкин, Ф. Г. Исследование кормосмесителей непрерывного действия и методика их расчета : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф. Г. Стукалкин. – Ленинград, 1965. – 21 с.

9. Коновалов, В. В. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера / В. В. Коновалов, В. В. Новиков, Д. Н. Азиаткин, А. С. Грецов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №3. – С. 72-78.

10. Коновалов, В. В. Моделирование подачи материала при разгрузке вертикального смесителя / В. В. Коновалов, А. С. Калиганов, М. В. Фомина, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : сб. науч. тр. – 2014. – №06 (22). – С. 67-74.

УДК 631.363

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА В РАБОЧЕМ ПРОЦЕССЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭКСТРУДЕРА

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: shaburovs@mail.ru

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440072, г. Пенза, ул. Антонова, 26.

E-mail: surr@bk.ru

Воронина Полина Константиновна, аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440061, г. Пенза, ул. Герцена, 44.

E-mail: worolina89@mail.ru

Ключевые слова: экструдат, растительное, сырье, влажность, термовакuumное, воздействие.

Цель исследований – теоретическое обоснование термовакuumного эффекта при обработке сырья растительного происхождения в модернизированном экструдере. Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов. Получают такие экструдаты с помощью машин, оснащенных короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых в обрабатываемом материале происходит резкий сброс давления, обуславливающий взрывное испарение воды и образование пористой макроструктуры. В процессе оценки интенсивности испарения влаги при получении экструдатов наибольшие трудности возникают при рассмотрении перехода жидкости в перегретое состояние и последующего за ним детонационного вскипания, под которым понимается лавинообразное образование центров кипения в объеме перегретой жидкости и ее быстрое испарение. Кроме взрывного испарения свободной воды влажность экструдата уменьшается за счет сушки путем конвективного массообмена. Опираясь на первый закон Фика, уравнения состояния идеального газа, а также на теорию подобия, в работе представлен расчет конвективного массообмена влаги в условиях получения экструдата при атмосферном давлении и при пониженном давлении воздуха в вакуумной камере модернизированного экструдера. При этом скорость испарения влаги с поверхности экструдатов при использовании вакуумной камеры возрастает примерно в 30 раз, что оправдывает ее применение с целью интенсификации образования пор в готовом продукте и его обезвоживании.

Технологические процессы термопластической экструзии сырья растительного происхождения получили широкое применение при производстве готовых пищевых продуктов; зерновых экструдированных полупродуктов для использования в технологии кондитерских, хлебобулочных и мясных изделий; кормов для различных групп животных, птицы и рыб. Большинство этих экструдатов представляют собой продукты пористой макроструктуры, получаемые путем переработки сырья с высоким содержанием крахмалов [1, 2, 3].

Для получения экструдатов с пористой макроструктурой используют экструдеры с короткими неохлаждаемыми фильерами, при выходе из которых обрабатываемого материала в нем происходит резкое падение давления и «взрывное» испарение воды. При этом интенсивность образования пор зависит не только от конструктивно-технологических параметров экструдера, но и от содержания крахмала в обрабатываемом сырье и его влажности.