

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА СЫРЬЯ НА ПОДАЧУ ВАКУУМНОГО НАСОСА МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭКСТРУДЕРА

Курочкин А.А., Чекайкин С.В.

Теоретические и экспериментальные исследования механизма формирования капиллярно-пористой структуры экструдатов показали, что одним из эффективных способов формирования свойств экструдированного сырья растительного происхождения является термовакуумное воздействие на него в момент выхода из фильеры машины. На основе уравнения баланса массы сырья, обрабатываемого экструдером, предложены теоретические зависимости, учитывающие влияние термовакуумного эффекта на расчетную производительность (подачу) его вакуумного насоса. Полученные данные позволяют аналитическими методами с достаточной для практического применения точностью обосновать основные параметры вакуумной линии модернизированного экструдера.

Ключевые слова: *экструдер, растительное сырье, объемный расход, экструдат, термовакуумное воздействие, вакуумная камера, коэффициент взрыва.*

Введение

Теоретические и экспериментальные исследования механизма формирования капиллярно-пористой структуры экструдатов показали, что одним из эффективных способов формирования основных свойств экструдированного сырья растительного происхождения является термовакуумное воздействие на него в момент выхода из фильеры машины.

В последние 15–20 лет в России и за рубежом опубликовано ряд научных работ, связанных с получением экструдатов на основе термовакуумного эффекта, а также выданы патенты на технические средства позволяющие его реализовать [3, 6–13].

Прикладное значение этих разработок нашло отражение в технологиях получения хлебобулочных изделий, напитков, а также при обработке биологических отходов с целью получения корма для животных [1, 4, 5].

Известно, что получение экструдатов из растительного сырья относится к чрезвычайно энергоемким технологическим процессам и, при этом, большая часть затрачиваемой энергии расходуется на нагрев до достаточно высоких температур обрабатываемого сырья. В большинстве случаев интенсивность формирования тех или иных свойств экструдатов является функцией температуры обработки растительного сырья в тракте машины [2].

Рабочий процесс экструдера, реализующего термовакуумный эффект, позволяет получить требуемый результат (коэффициент взрыва) при значительно меньшей температуре, что существенно экономит расход электроэнергии.

В связи с этим, можно предположить, что исследование рабочего процесса экструдера с термовакуумным эффектом с целью обоснования основных параметров его вакуумной линии представляется достаточно актуальной задачей.

Цель исследования – теоретическое обоснование потребной производительности (подачи) вакуумного насоса модернизированного экструдера с термовакуумным эффектом.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является модернизированный экструдер с вакуумной камерой.

В работе применялся аналитический метод исследований, основанный на системном подходе к изучаемой проблеме.

Результаты и их обсуждение

Основу рабочего процесса экструдера с вакуумной камерой составляют операции, характерные для серийной машины аналогичного назначения: перерабатываемое сырьё из загрузочного бункера с помощью дозатора направляется в рабочую зону экструдера и, захваченное шнеком, последовательно перемещается по внутреннему тракту машины, одновременно измельчаясь, нагреваясь и уплотняясь.

Отличительным признаком модернизированного экструдера является то, что при выходе из шнековой части машины обрабатываемый материал посредством отверстия в фильере матрицы поступает не в среду с атмосферным давлением, а в камеру с пониженным давлением (0,2–0,5 кПа) [8].

Быстрый переход экструдата из области высокого давления (рабочий объем машины) в среду с пониженным давлением (вакуумная камера), в сравнении с серийным экструдером позволяет значительно увеличить интенсивность декомпрессионного взрыва, так как кипение воды, находящейся в продукте, осуществляется при меньшей температуре, чем это происходит при работе штатно уком-

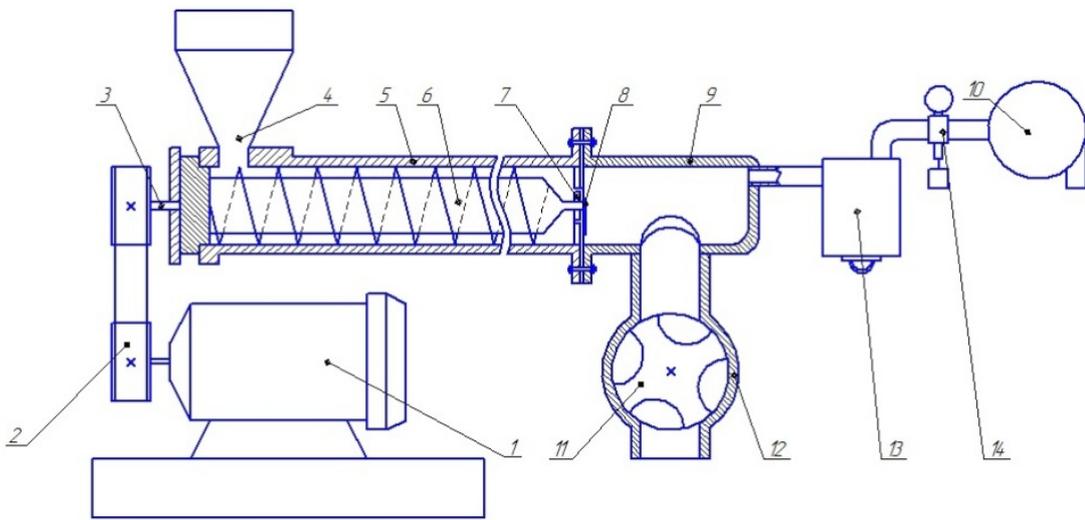


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – вал; 4 – загрузочная камера; 5 – корпус экструдера; 6 – шнек; 7 – фильера; 8 – режущее устройство; 9 – вакуумная камера; 10 – вакуумный насос; 11 – шлюзовой затвор; 12 – выгрузная камера; 13 – вакуум-баллон; 14 – вакуум-регулятор

плектованной машины. Таким образом, снижается расход электроэнергии, необходимой для нагрева сырья, а также обеспечивается более мягкий режим воздействия на термолабильные ингредиенты получаемого экструдата. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера с камерой для термовакуумной обработки получаемого экструдата приведена на рис. 1.

Работает модернизированный экструдер следующим образом. Исходное сырьё посредством загрузочной камеры направляется в шнековую часть экструдера. Захваченный шнеком продукт последовательно проходит зоны прессования и дозирования машины, а затем выводится через фильеру матрицы в вакуумную камеру.

Термовакуумное воздействие на экструдат в камере модернизированного экструдера позволяет регулировать структурные и функциональные свойства готового продукта, а также его влажность [2].

Принцип работы вакуумной камеры модернизированного экструдера основан на постоянном удалении водяных паров, выделяющихся из экструдата при соответствующих давлении и температуре. Объем этих паров зависит от содержания влаги в сырье и готовом экструдате, а также давления воздуха (водяных паров) в вакуумной камере.

При установившемся (стационарном) режиме и малых изменениях плотности водяного пара необходимая скорость воздушного потока в вакуумной камере экструдера определяется уравнением [2]:

$$v = \frac{\omega}{S} \quad (1)$$

где ω – скорость откачки паров из камеры, м³/с;

S – площадь вакуумной камеры, м².

Длительность выхода вакуумной системы экструдера на стационарный режим работы

$$t_p = \frac{V}{\omega} \quad (2)$$

где V – объем вакуумной камеры экструдера, м³.

Учитывая, что полученное по формуле (2) время, по существу определяет период времени, за который происходит откачивание воздуха из вакуумной камеры экструдера, условие эффективного функционирования вакуумной системы в разрабатываемой конструктивно-технологической схеме машины можно записать как

$$t_p \ll T_n, \quad (3)$$

где T_n – время работы вакуумного насоса, с [5].

С другой стороны, при установившемся режиме работы вакуумной камеры скорость откачивания из нее воздуха определяется условием равновесия между количеством влаги, испаряемой с поверхности продукта (экструдата) и объемом водяных паров, отводимых из камеры вакуумным насосом.

В связи с этим для обоснования основных параметров вакуумной линии модернизированного экструдера необходимо знать законы изменения в ней давления в зависимости от основных параметров рабочего процесса экструдера и самой камеры (объемный расход сырья в экструдере и его взаимосвязь с коэффициентом взрыва, давление в вакуумной системе, объем камеры и др.).

На первом этапе теоретических исследований выясним роль и физический смысл коэффициента взрыва экструдата и его связь с объемным расходом сырья в машине, для чего составим уравнение баланса массы экструдата, находящегося в тракте экс-

трудера (до выхода из фильеры) и массы экструдата после выхода из фильеры

$$M_t = M_f + M_w \quad (4)$$

или

$$V_t \cdot \rho_t = V_f \cdot \rho_f + V_w \cdot \rho_w, \quad (5)$$

где V_t и V_f – объем экструдата соответственно до выхода и после выхода из фильеры экструдера, м³;

V_w – объем водяного пара, образовавшегося в результате декомпрессионного взрыва экструдата в вакуумной камере машины, м³;

ρ_t и ρ_f – плотность экструдата до выхода и после выхода из фильеры экструдера, кг/м³;

ρ_w – плотность водяного пара, кг/м³.

Примем условно, что на данном этапе исследований масса водяного пара равна 0 и перепишем уравнения (4) и (5) в виде

$$M_t = M_f \quad (6)$$

и

$$V_t \cdot \rho_t = V_f \cdot \rho_f, \quad (7)$$

Объем экструдата после выхода обрабатываемого сырья из фильеры и попадания его в вакуумную камеру экструдера можно записать и в несколько ином виде

$$V_f = V_t + \Delta V_t, \quad (8)$$

где ΔV_t – приращение объема экструдата после выхода его из фильеры экструдера, м³;

Подставим в формулу (8) значение объема экструдата после выхода из фильеры, полученного на основании уравнения (7), и после некоторых преобразований запишем

$$\frac{DV_t}{V_t} = \frac{\rho_t - \rho_f}{\rho_f} \quad (9)$$

Обозначим $\frac{DV_t}{V_t} = k_v$ – коэффициент взрыва

экструдата. Тогда этот коэффициент может быть представлен и в таком виде

$$\frac{\rho_t - \rho_f}{\rho_f} = k_v \quad (10)$$

С учетом преобразований формулу (9) можно переписать в виде

$$V_t = DV_t \cdot \frac{1}{k_v} \quad (11)$$

Умножая обе части уравнения (11) на ρ_t и учитывая выражение (6), получим

$$M_f = DV_t \cdot \frac{\rho_t}{k_v} \quad (12)$$

Обозначим

$$\frac{\rho_t}{k_v} = \xi \quad (13)$$

Коэффициент, представленный формулой (13) назовем коэффициентом, учитывающим влияние термовакuumного эффекта на приращение объема экструдата после выхода его из фильеры экструдера.

Тогда выражение (12) можно переписать в виде

$$M_f = \xi \cdot DV_t \quad (14)$$

В уравнение (4) подставим значение массы экструдата после выхода из фильеры – уравнение (14)

$$M_t = \xi \cdot DV_t + M_w \quad (15)$$

Из уравнения (15) можно определить массу водяного пара

$$M_w = M_t - \xi \cdot DV_t \quad (16)$$

Таким образом, объем водяного пара, который необходимо постоянно откачивать из вакуумной камеры экструдера с целью обеспечения его рационального технологического процесса, можно определить из выражения

$$V_w = \frac{V_t \cdot \rho_t - \xi \cdot DV_t}{\rho_w} \quad (17)$$

С учетом формулы (13) можно также оценить связь объема водяного пара с коэффициентом взрыва экструдата k_v :

$$V_w = \frac{V_t \cdot \rho_t \cdot k_v - DV_t \cdot \rho_t}{\rho_w \cdot k_v} \quad (18)$$

Таким образом, уравнения (17) и (18) позволяют определить объем водяных паров, которые необходимо удалить из вакуумной камеры экструдера.

дера в единицу времени при заданном объеме перерабатываемого сырья за этот же период работы машины. На основе приведенных аналитических зависимостей достаточно просто установить связь производительности (подачи) вакуумного насоса экструдера и коэффициентов, учитывающего влияние термовакuumного эффекта и взрыва экструдата.

Выводы

Полученные теоретические зависимости учитывают влияние термовакuumного эффекта и коэффициента взрыва экструдата на необходимую производительность (подачу) вакуумного насоса в экспериментальном экструдере и, в конечном итоге, позволяют аналитическими методами определить основные параметры его вакуумной камеры.

Список литературы

- [1] Воронина П.К. Формирование качества пива в процессе сбраживания пивного суслу с использованием экструдата ячменя / П.К. Воронина, А.А. Курочкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4. С. 100-103.
- [2] Инновации в пищевой экструзии / А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, А.А. Блинохватов и др. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. 247 с.
- [3] Курочкин А.А. Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 14-20.
- [4] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 36-40.
- [5] Курочкин, А.А. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой / А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76-81.
- [6] Patent US 7001636 B1 Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the implementation of the method. / Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen – №09/937172; Pub. 21.02.2006.
- [7] Пат. 2460315 Российская Федерация МПК7 А23L1/00. Способ производства экструдатов / заявители: Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Авроров, П.А. Ерушов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА. – № 2011107960; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. 6 с.
- [8] Пат. 2561934 Российская Федерация МПК7 В29С47/12. Экструдер с вакуумной камерой / заявители: Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, Р.В. Шабнов, А.А. Курочкин, В.А. Авроров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ. – № 2014125348; заявл. 23.06.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. 7с.
- [9] Пат. 2610805 Российская Федерация МПК А23К 40/25, А23К 10/26, А23К 10/37. Способ производства кормов / заявители: П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, А.Л. Мишанин; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенский ГТУ. – № 2015119627; заявл. 25.05.2015; опубл. 12.02.2017, Бюл. № 5. 8 с.
- [10] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2579488 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова ; 2014146596/13 ; заявл. 19.11.2014 ; опубл. 10.4.2016, Бюл. №10. 8 с.
- [11] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2592619 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова ; 2015109402/13 ; заявл. 17.3.2015 ; опубл. 27.7.2016, Бюл. №21. 8 с.
- [12] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29-34.
- [13] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 104-111.

THE INFLUENCE OF THE VOLUMETRIC FLOW OF RAW MATERIALS TO SUPPLY THE VACUUM PUMP UPGRADED EXTRUDER

Kurochkin A.A., Chekalkin S.V.

Theoretical and experimental studies of the mechanism of formation of the capillary-porous structure of extrudates have shown that one of the effective ways of forming the properties of extruded raw materials of plant origin is the thermal vacuum effect on it at the time of exit from the die of the machine. On the basis of the equation of the mass balance of the raw material

processed by the extruder, the theoretical dependences are proposed, taking into account the influence of the thermal vacuum effect on the design performance (supply) of its vacuum pump. The obtained data allow to justify the main parameters of the vacuum line of the modernized extruder with sufficient accuracy for practical application by analytical methods.

Keywords: *extruder; vegetable raw materials, volume flow, extrudate, thermal vacuum action, vacuum chamber; explosion coefficient.*

References

- [1] Voronina P.K. Formirovanie kachestva piva v protsesse sbrazhivaniya pivnogo susla s ispol'zovaniem ekstrudata yachmenya / P.K. Voronina, A.A. Kurochkin // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyai-stvennoi akademii. 2012. No 4. pp. 100-103.
- [2] Innovatsii v pishchevoi ekstruzii /A.A. Kurochkin, P.K. Gar'kina, A.A. Blinokhvatov i dr. Penza: RIO PGAU, 2018. 247 p.
- [3] Kurochkin A.A. Teoreticheskoe obosnovanie termovakuumnogo effekta v rabochem protsesse modernizirovannogo ekstrudera /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. No 3. pp. 14-20.
- [4] Kurochkin A.A. Tekhnologiya proizvodstva kormov na osnove termo-vakuumnoi obrabotki otkhodov s/kh proizvodstva / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya.– 2014. No 4 (01). pp. 36-40.
- [5] Kurochkin A.A. Polikomponentnyi ekstrudat na osnove zerna pshenitsy i semyan rastoropshi pyatnistoi / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, // Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. No 4. pp. 76-81.
- [6] Patent US 7001636 B1 Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the implementation of the method. /Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen. No 09/937172; Pub. 21.02.2006.
- [7] Pat. 2460315 Rossiiskaya Federatsiya MPK7 A23L1/00. Sposob proizvodstva ekstrudatov /zayaviteli: G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Avrorov, P.A. Erushov; patentoobladatel' FGOU VPO Penzenskaya GTA. No 2011107960; zayavl. 01.03.2011; opubl. 10.09.2012, Byul. No 25. 6 p.
- [8] Pat. 2561934 Rossiiskaya Federatsiya MPK7 V29S47/12. Ekstruder s vakuumnoi kameroy /zayaviteli: G.V. Shaburova, P.K. Voronina, R.V. Shabnov, A.A. Kurochkin, V.A. Avrorov; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VO Penzenskii GTU. No 2014125348; zayavl. 23.06.2014; opubl. 10.09.2015, Byul. No 25. 7 p.
- [9] Pat. 2610805 Rossiiskaya Federatsiya MPK A23K 40/25, A23K 10/26, A23K 10/37. Sposob proizvodstva kormov /zayaviteli: P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, A.L. Mishanin; patentoobladatel' FGOU VPO Penzenskii GTU. No 2015119627; zayavl. 25.05.2015; opubl. 12.02.2017, Byul. No 5. 8 p.
- [10] Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii : pat. 2579488 Rossiiskaya Federatsiya : MPK A 21 D 8/02 / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova ; 2014146596/13 ; zayavl. 19.11.2014 ; opubl. 10.4.2016, Byul. №10. 8 p.
- [11] Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii : pat. 2592619 Rossiiskaya Federatsiya : MPK A 21 D 8/02 / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova ; 2015109402/13 ; zayavl. 17.3.2015 ; opubl. 27.7.2016, Byul. №21. 8 p.
- [12] Teoreticheskoe opisanie protsessa vzryvnogo ispareniya vody v ekstrudere s vakuumnoi kameroy / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina // Innovative machinery and technology. 2015. № 1 (02). pp. 29–34.
- [13] Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym soderzhaniem lipidov i pishchevykh volokon / A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2016. № 3 (42). pp. 104–111.