



В.Б. ЕГОРОВ, канд. техн. наук, ассистент кафедры
автоматизации производственных процессов
Одесская национальная академия пищевых технологий

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ КАК ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Реализация приведенной концепции модели технологической линии производства комбикормов, в силу ее специфических свойств как ОУ, представляет собой достаточно наукоемкую задачу. В частности, т.к. количество регламентированных переменных процесса производства комбикормов весьма существенно превышает количество доступных для реализации управляющих воздействий, то стабилизировать процесс по всем регламентированным переменным на основе классических подходов к построению САУ, невозможно.

Ключевые слова: гарантирование, стабильность, объект управления, технологический процесс.

Implementation of the provided model concept of a compound feeds technological production line, owing to its specific properties as OC, represents rather knowledge-intensive task. In particular, since the quantity of the regulated variables of process of production of compound feeds very significantly exceeds number of managing directors of influences available to realization, to stabilize process on all regulated variables on the basis of classical approaches to creation of SAC, it is impossible.

Key words: guaranteeing, stability, object of management, technological process.

Технологический агрегат как объект управления (ОУ) является гораздо более сложным, чем представление о них, отражаемое в используемых моделях. Причем вид этих моделей, а также вид критерия оптимальности (наиболее часто – это критерий (функционал) «обобщенной работы») жестко определяются методом синтеза – они должны допускать аналитическое решение задачи, а разработанный регулятор – быть физически реализуемым. Последнее достигается, прежде всего, запретом на использование в моделях ОУ запаздывания и включением в критерий составляющей производной управления (с заранее не заданной весовой матрицей). Это «запрещает» появление в алгоритмах регуляторов физически нереализуемых звеньев чистого опережения и бесконечных значений управляющих воздействий [1].

Особенностью современных технологических комплексов является дискретно–непрерывный харак-

тер их функционирования. Прежде всего, это заключается в том, что гибкие производственные системы состоят из отдельных подсистем. Состояния последних изменяются как непрерывно, так и дискретно в определенные моменты времени. Примерами технологических систем подобного типа являются аппараты периодического действия, многостадийные технологические процессы, а которых возможно изменение последовательности связей между отдельными стадиями, технологические процессы, допускающие изменение маршрутов обработки материалов на заданном оборудовании [2].

Характерными особенностями большинства технологических агрегатов (ТА) как ОУ, позволяющими позиционировать их как специфический класс ОУ, ОУ технологического типа, и обуславливающими принципиальные трудности создания высококачественных систем автоматического управления (САУ)

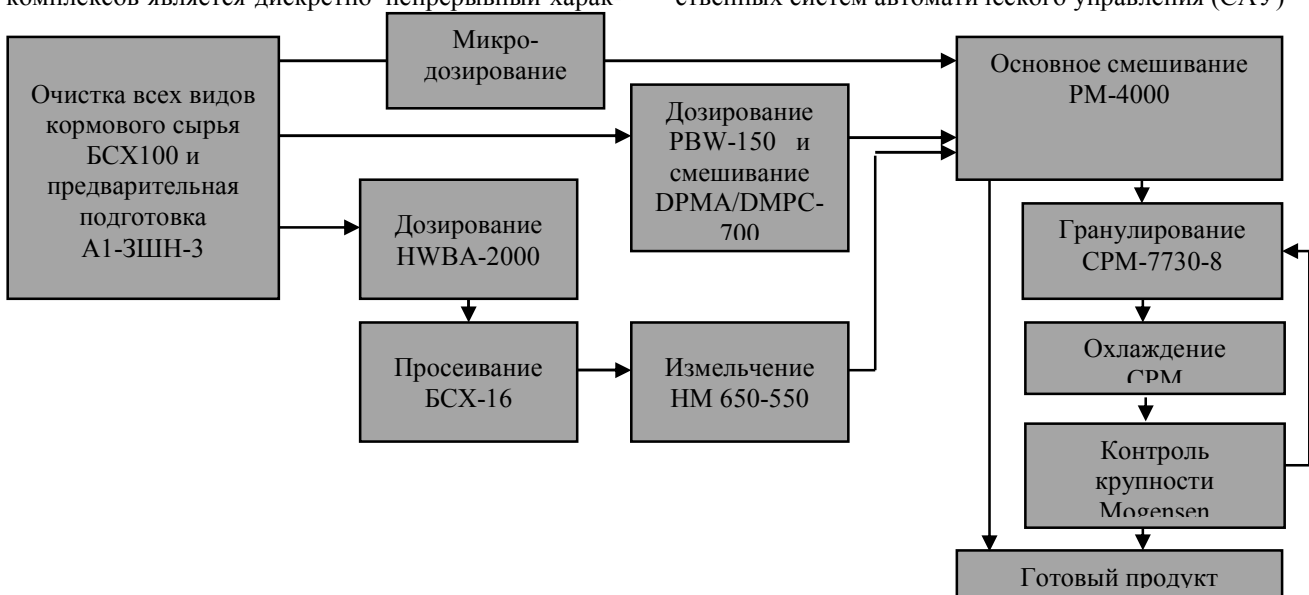


Рис. 1. Структурная схема производства комбикормов
Раздельнянского комбикормового завода компании «Агротрейд-Юг».

ТА, являются [1]:

а) физическая распределенность каналов управления ТА, проявляющаяся в значительных запаздываниях реакции управляемых переменных на управляющие воздействия;

б) большое количество факторов, существенно влияющих на работу ТА, но практически недоступных для прямого измерения (характеристики сырьевых и энерготехнических потоков, состояние рабочих органов и активных зон ТА), проявляющихся как неконтролируемые возмущения (координатные, параметрические), и изменяющие значения управляемых переменных, свойства каналов управления, оптимальные режимы работы ТА.

Справедливо для всех технологических процессов:

Для определения показателей качества доступных для квазинепрерывного измерения в ходе протекания технологического процесса, с целью их дальнейшего применения для оценки стабильности, необходимо проанализировать линию производства комбикормов (Рис. 1) как объект управления, который в свою очередь содержит как составляющие технологические агрегаты как ОУ.

На эффективность любого технологического процесса влияют, как правило, три группы факторов, в том случае, если не принимать во внимание факторы, которые характеризуют окружающую среду. Так как для каждого технологического процесса, который реализуется с помощью соответствующего оборудо-

Обозначение	Описание	Определение
Q	Производительность технологического процесса	$Q = \frac{m}{\tau}; (1.1)$ определяется путем измерения массы продукта m , который получают на выходе за период τ
$N_{\text{оа}}$	Удельные затраты энергии	$N_{\text{оа}} = \frac{E}{Q}; (1.2)$ соотношение затрат энергии (E) на обеспечение технологического процесса к его продуктивности
St	Стабильность технологического процесса	$St = \frac{D[x_i]_{\min}}{D[x_i]_{\max}} \cdot e^{-\frac{ (\bar{x} - x_{\delta}) }{\delta}}; (1.3)$
P	Мощность технологического процесса	-
d (мм)	Диаметр частиц, гранул	Гранулометрическая характеристика
W (%)	Содержание массовой доли влаги	$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100; (1.4)$ m_1, m_2 - масса бюксы до и после высушивания, г; m - масса пустой бюксы, г
K (градусы Неймана)	Кислотность	$K = \frac{10 V}{m}; (1.5)$ V - объем щелочи, использованный для титрования, мл, m - масса загрузки кормовой смеси или комбикорма, г.
ρ (кг/м ³)	Насыпная плотность	$td = \frac{m}{V}; (1.6)$ m - масса продукта; V - объем продукта;
C_p	Способность к сжатию сыпучего продукта	$C_p = \frac{td - \rho}{\rho}; (1.7)$ td - реальная плотность вещества, как соотношение массы вещества к объему вещества после удаления из него воздуха между частичками; ρ - насыпная плотность, как соотношение массы вещества к объему вещества, которое оно свободно занимает;
C_h	Когезивность, характеристика способности порошкообразного сырья слипаться	$C_h = \frac{td}{\rho}; (1.8)$ td - реальная плотность вещества; ρ - насыпная плотность вещества;
\bar{f}	Неконтролируемые возмущения	-

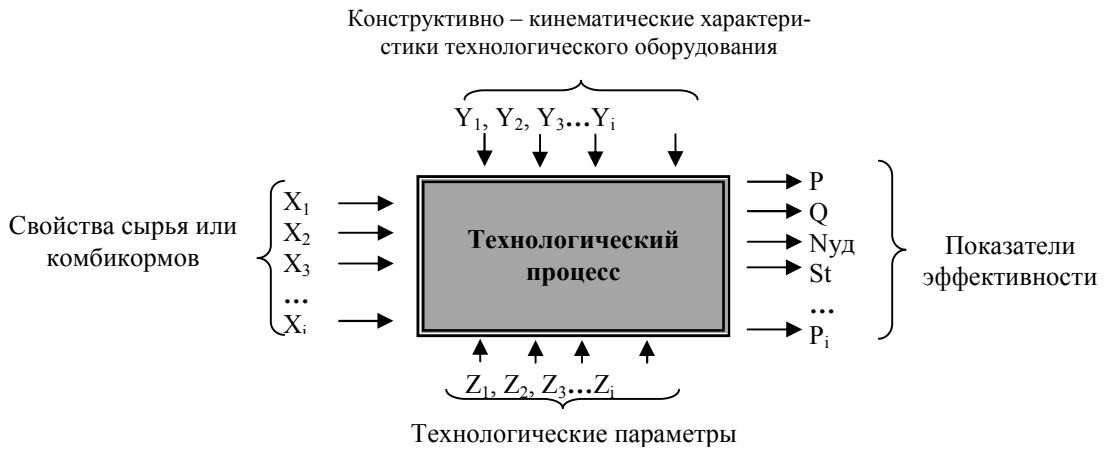


Рис. 2. Параметрическая схема технологического процесса.

вания или комплекта оборудования, производителем устанавливаются граничные пределы изменений факторов внешней окружающей среды, изменение или несоблюдение которых может существенно повлиять на эффективность технологического процесса или даже привести к его аварийной остановке.

Для общего анализа любого технологического процесса используют параметрические схемы процессов [3] (Рис. 2)

Анализ описания технологической линии производства комбикормов на примере Раздельнянского комбикормового завода позволяет составить параметрические схемы для ключевых технологических процессов структурной схемы производства приведенного на Рис.1.

Сепарирование

Технологический процесс сепарирования – процесс разделения на составляющие части сыпучих, твердых или жидких смесей. Эффективность очистки сырья и комбикормов от примесей E (%) характеризует качественную сторону процесса сепарирования. Значение этого показателя [3] можно рассчитать по формуле (Регламент [$E > 70\%$]):

$$E = \frac{B}{A} \cdot (100 - a); \quad (1.9),$$

где B - вес выделенных примесей, г.; A - вес примесей в неочищенном сырье, г.; a - содержание пол-

ноценного сырья (зерна и т.д.) в отходах, % от массы отходов.

При производстве комбикормов не допускается содержание больше 2% полноценного сырья в отходах. Также качественную сторону процесса сепарирования характеризует коэффициент извлечения η_B (%), который определяется по формуле:

$$\eta_B = \frac{\Pi}{\Pi_0} \cdot 100; \quad (1.10),$$

где Π - количество извлеченной в процессе сепарирования проходовой фракции, г; Π_0 - Общее содержание проходовой фракции, г.;

Коэффициент недосева ξ (%) рассчитывают по следующей формуле:

$$\xi = \frac{\Pi_0 - \Pi}{M - \Pi} \cdot 100; \quad (1.11),$$

где M - вес смеси, которая поступила на процесс сепарирования, г;

Таким образом, проанализировав приведенные выше показатели качества прохождения процесса сепарирования, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса сепарирования (Рис. 3).

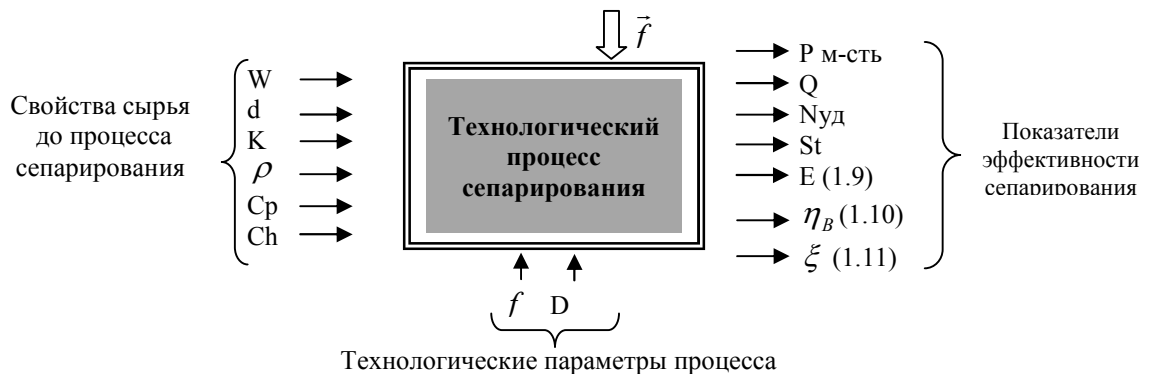


Рис. 3. Параметрическая схема технологического процесса сепарирования.

Обозначение	Описание	Определение
f	Коэффициент живого сечения	$f = \frac{\sum_{i=1}^n F_1}{F_0}; (1.12)$ <p>n - количество отверстий в полотне сита; F_1 - площадь i-го отверстия сита, m^2; F_0 - плотность поверхности полотна сита, m^2;</p>
D	Толщина слоя сыпучего тела → нагрузка продукта на ситовую поверхность.	Регламент [14...20 мм]

Шелушение

Технологический процесс шелушения представляет собой совокупность способов механического влияния на внешние пленки зерна с целью снижения содержания в готовом продукте сырой клетчатки. Эффективность технологического процесса шелушения [3] определяют по формуле (1.13)

$$E_{\text{ш}} = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 100\%; (1.13),$$

где K_1 и K_2 - количество нешелушенных зерен до и после шелушильной машины, %; [Регламент (>80, при содержании сырой клетчатки в шелушенном зерне ячменя $C_k \leq 3,5\%$), [Регламент (>55, при содержании сырой клетчатки в шелушенном зерне овса $C_k \leq 5,3\%$)].

Таким образом, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса шелушения (Рис. 4)

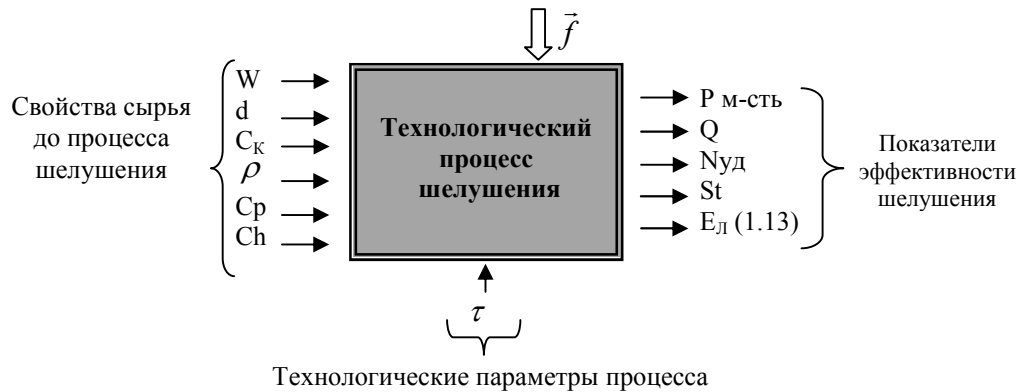


Рис. 4. Параметрическая схема технологического процесса шелушения.

Обозначение	Описание	Определение
τ	Время пребывания зерна в рабочей зоне шелушильной машины.	(относится к вертикальным абразивным машинам)
C_k	Содержание сырой клетчатки	Регламент зависит от типа сырья

Измельчение (дробление)

Технологический процесс измельчения представляет собой процесс уменьшения размеров эластично – хрупкого тела от начальной крупности до необходимой под действием внешних усилий [3]. Эффективность технологического процесса дробления [3] определяют по формуле (1.14)

$$i = \frac{S_k}{S_0}; (1.14),$$

где S_k - конечная суммарная площадь частиц измельченного продукта; S_0 - суммарная площадь частиц продукта до измельчения;

Также для характеристики степени измельчения используется модуль крупности, который определяется в результате ситового анализа и соответ-

ствующих вычислений (1.15):

$$M = \frac{d_1 m_1 + (d_1 + d_2) \cdot m_2 + (d_2 + d_3) \cdot m_3 + \dots + (d_{N-1} + d_N) \cdot m_N}{2P}; мм (1.15),$$

где d_1, d_2, \dots, d_N - диаметр отверстий сит, который использовались для анализа измельченного продукта, мм; d_1 - диаметр отверстий наименьшего сита, мм; P - суммарная масса пробы образца измельченного материала, отобранного для ситового анализа, г; m_1, m_2, \dots, m_N - масса остатка продукта на соответствующем сите, г; N - количество сит, которые использовались для ситового анализа.

Таким образом, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса дробления (Рис. 5).

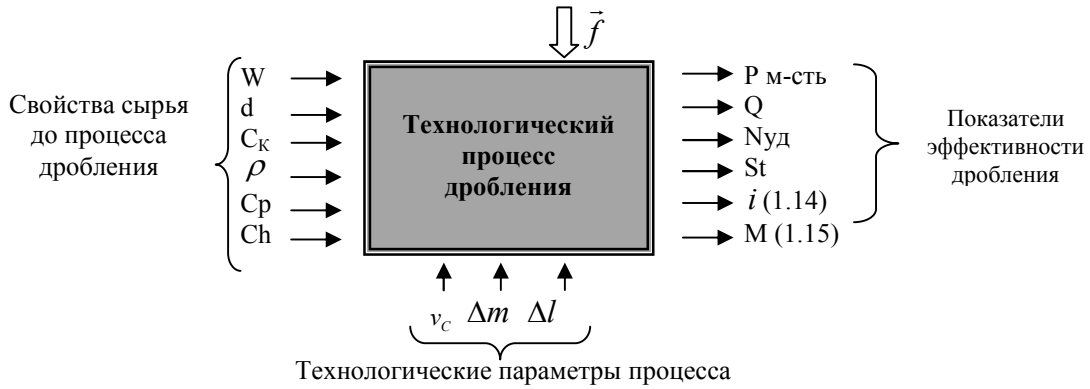


Рис. 5. Параметрическая схема технологического процесса дробления.

Обозначение	Описание	Определение
v_c	Угловая скорость молотков, м/с.	Регламент для зерна пшеницы $v_c \geq 43$ м/с; Регламент для зерна ячменя $v_c \geq 70$ м/с; Регламент для любой кормового сырья $v_c \geq 130$ м/с;
Δm	Разница в весе между самым тяжелым молотком и самым легким, г.	Регламент $\Delta m \leq 0,5$;
Δl	Рабочий зазор между концами молотков и ситовой поверхностью дробилки, мм.	Регламент $\Delta l \in [25 - 27]$ для $v_c = 100$ м/с;

Дозирование

Под дозированием понимают взвешивание или объемное порционирование утвержденных рецептом порций компонентов комбикормов [3].

Эффективность технологического процесса весового дозирования компонентов комбикормов оценивают по абсолютной и относительной погрешностям. Абсолютную погрешность определяют по формуле:

$$\Delta a = \frac{P}{100} \cdot \sigma_{\Delta}; \quad (1.16),$$

где P - грузоподъемность весового дозатора, кг.; σ_{Δ} - точность дозирования, $\pm \%$.

При этом, точность весового дозирования, в свою очередь, определяют так (1.17):

$$\pm \sigma_{\Delta} = \pm \sigma_{\Delta 1} \pm \sigma_{\Delta 2} \pm \sigma_{\Delta 3}; \quad (1.17),$$

где $\pm \sigma_{\Delta 1}$ - точность дозирования в статическом состоянии весовой системы; $\pm \sigma_{\Delta 2}$ - погрешность от динамической нагрузки системы, удара или вибрации; $\pm \sigma_{\Delta 3}$ - погрешность дистанционного автоматического управления;

Относительную погрешность весового дозирования оценивают по формуле (1.18):

$$\Delta_B = \frac{\Delta a}{M} \cdot 100; \quad (1.18),$$

где M - вес компонента, который необходимо взвесить, кг.;

Таким образом, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса дозирования (Рис. 6)

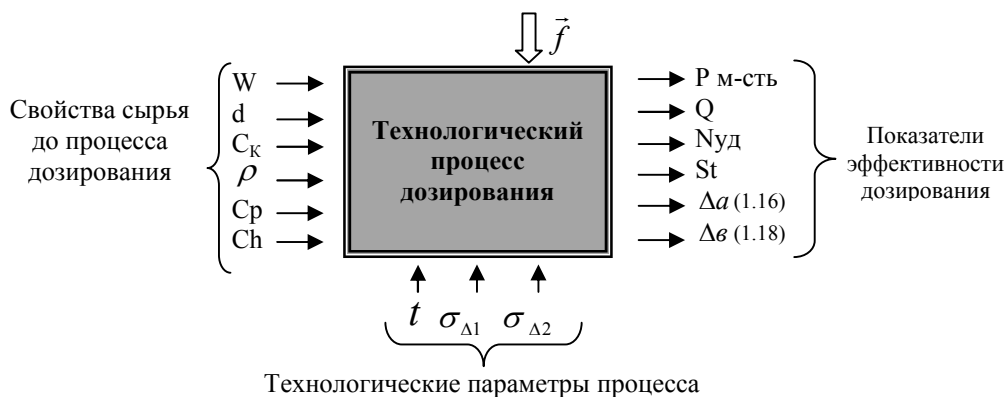


Рис. 6. Параметрическая схема технологического процесса дозирования.

Обозначение	Описание	Определение
t	Температура окружающей среды	Регламент $t \in [+ 1 \dots + 35 \text{ } ^\circ \text{C}]$;
$\sigma_{\Delta 1}$	Точность дозирования в статическом состоянии весовой системы	Регламент $\sigma_{\Delta 1} = \pm 0,1\%$;
$\sigma_{\Delta 2}$	Погрешность от динамической нагрузки системы, удара или вибрации	Регламент $\sigma_{\Delta 2} = \pm 0,1 \dots 0,2\%$;

Смешивание

Смешивание – процесс принудительного перераспределения частиц отдельных компонентов до момента генерирования однородной смеси [3]. Для оценки эффективности процесса смешивания смесь условно считают двухкомпонентной. Один компонент выделяют как «ключевой», все остальные объединяют в другой «условный». Таким образом, в двухкомпонентной смеси случайной величиной является содержание «ключевого» компонента в определенном микрообъеме. «Ключевой» компонент должен быть сравнительно просто определяем в пробе и иметь несуществующие у остальных свойства: соль, железо, медь, кобальт. Однородность смеси определяют по формуле (1.19):

$$\Theta = 1 - V_C; \quad (1.19),$$

где V_C - коэффициент вариации (в безразмерном виде); Коэффициент вариации, в свою очередь, определяют по формуле (1.20):

$$V_C = \frac{1}{x} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}} \cdot 100; \quad (1.20),$$

где x_i - фактические данные про содержание ключевого компонента в пробах; x - математическое ожидание; n - количество проб, при $n \geq 10$; Гипотетически считают, что если «ключевой» компонент в смеси распределен равномерно, то и все остальные компоненты тоже распределены равномерно [3].

Таким образом, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса смешивания (Рис. 7).

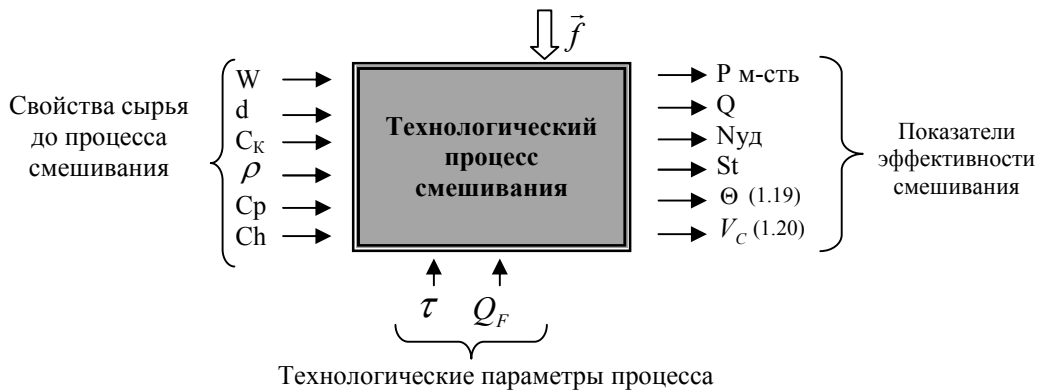


Рис. 7. Параметрическая схема технологического процесса смешивания.

Обозначение	Описание	Определение
τ	Время пребывания смеси в рабочем пространстве смесителя	Регламент $\tau \in [180 \dots 300 \text{c}]$ при условии нахождения смеси в фазе конвективного или диффузионного смешивания;
Q_F	Наполнение	Регламент $Q_F \in [+ 70 \dots + 75\%]$;

Гранулирование

Гранулирование – технологический процесс, при котором происходит сжатие подготовленного соответствующим образом сыпучего продукта в ограниченном пространстве в течении определенного времени. Исходя из регламента, что при эффективном гранулировании объемная масса должна увеличиться с 450...550 до 600...630 кг/м³ [3], определяем коэффициент эффективности технологического процесса гранулирования (1.21):

$$E_G = \frac{\rho_0}{\rho_K} \cdot 100; \quad (1.21),$$

где ρ_0 - удельная плотность сырья до гранулирования, кг/м³; ρ_K - удельная плотность продукта гранулирования, кг/м³; В соответствии с регламентом

$$E_G \in [9 \dots 40\%];$$

Таким образом, представляется возможным сформулировать параметрическую схему технологического процесса гранулирования (Рис. 8)

Пресс-грануляторы являются характерным объектом технологического типа, для которого задача повышения эффективности функционирования входит в противоречие с задачей обеспечения безаварийности. Сглаживание этого противоречия достигается в рамках систем гарантирующего управления (СГУ) [1].

При производстве комбикормов и комбикормовых смесей ситуация с сырьем для производства характеризуется следующими факторами:

а) рецептура комбикормов, как результат, последовательность включения ТА в ходе непосредст-

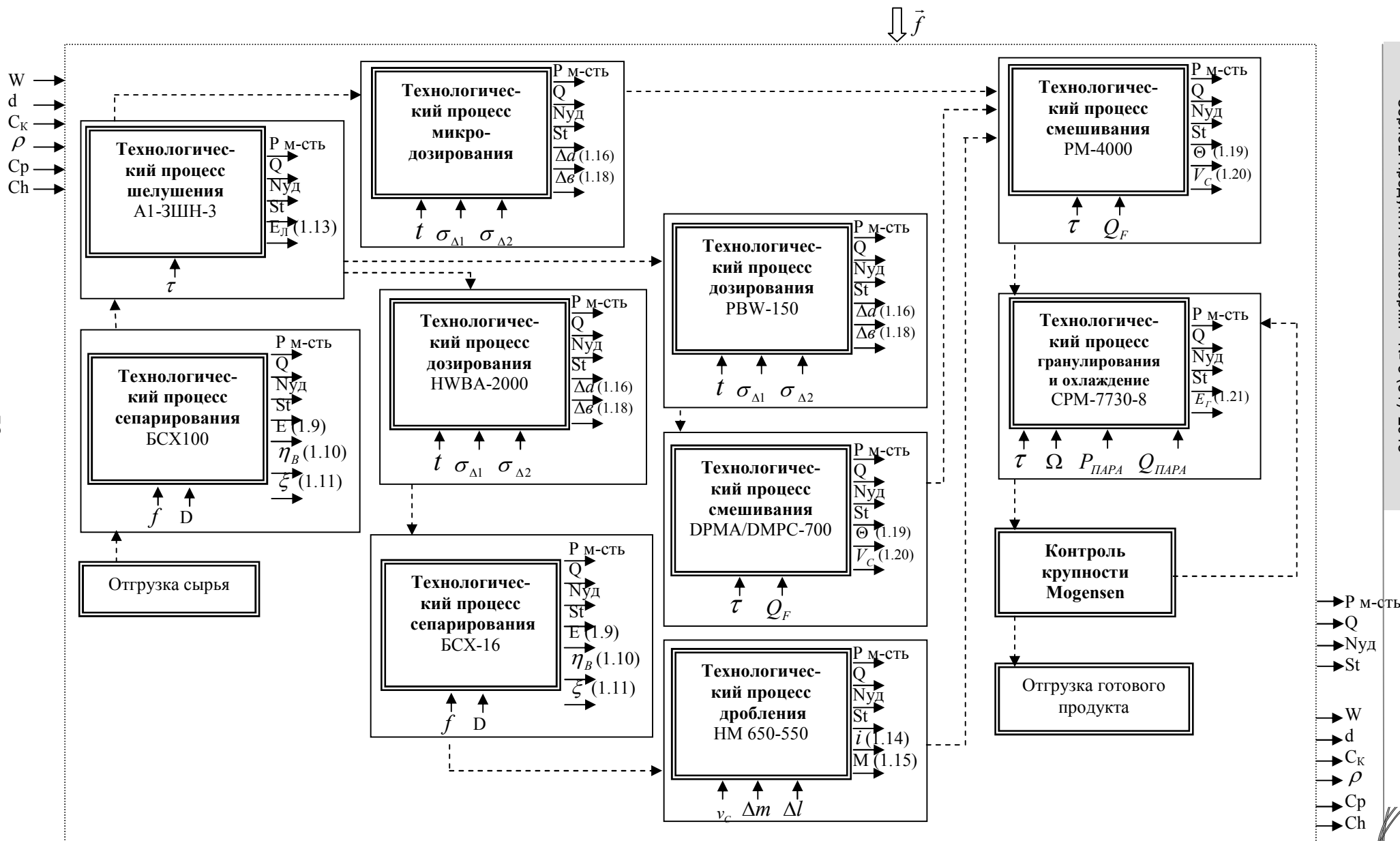


Рис. 9. Концептуальная схематическая модель технологических линий производства комбикормов в виде структурной схемы.

ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ



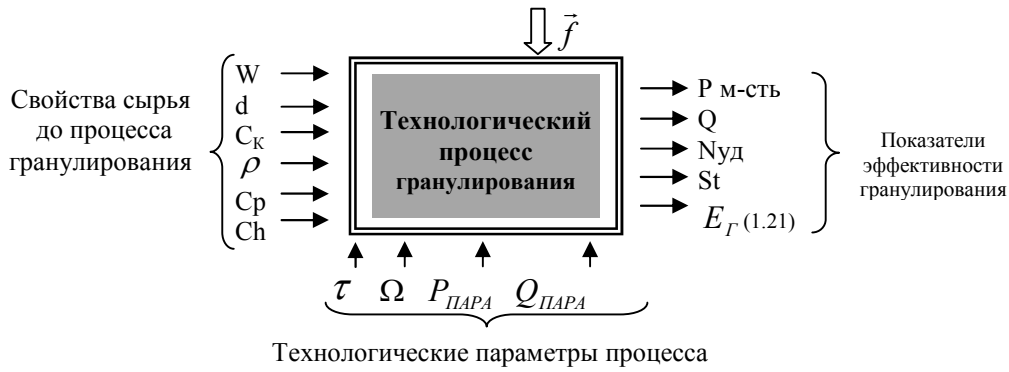


Рис. 8. Параметрическая схема технологического процесса гранулирования.

Обозначение	Описание	Определение
Ω	Зазор между матрицей и прессующими роликами, мм.	Регламент $\Omega \in [0,3...0,5]$;
$P_{ПАРА}$	Давление пара, мПа.	Регламент $P_{ПАРА} \in [0,3...0,4]$;
$Q_{ПАРА}$	Расход пара, кг/т.	Регламент $Q_{ПАРА} \in [50...60]$;
τ	Время выдержки гранулята после производства, ч.	Регламент $\tau \in [12...24]$;

венно производства, а также состав сырья комбикормов достаточно динамично изменяются из-за предъявления к продукту все более высоких требований, в частности – повышения их питательной ценности, снижения себестоимости производства, расширения сырьевой базы, обогащения минералами и витаминами;

б) характеристики исходного продукта растительного происхождения, даже в рамках одной рецептуры, всегда отличаются друг от друга (из-за особенностей почвы на месте произрастания, применяемых удобрений, выпавших осадков, условий хранения и т.д.) и, следовательно, в ходе процесса производства они могут существенно изменяться.

Методы теории автоматического управления (ТАУ), которое используется в процедурах анализа и синтеза САУ объектами технологического типа, должны адекватно учитывать их специфические особенности. Несмотря на большое внимание, которое уделялось их разработке, существуют серьезные проблемы получения конструктивных результатов, когда эти методы применяются в аналитической форме. Дело в том, что для нестационарных нелинейных систем с запаздыванием в замкнутом контуре, получить математическое описание САУ в явном виде без специальных упрощений, например – статистической линеаризации нелинейностей, разложения трансцендентной передаточной функции запаздывания в ряд Паде и т.д., как правило, невозможно [1].

с) В свою очередь, упрощённое математическое описание оказывается достаточно сложным, что делает его непосредственный анализ практически невозможным. Он требует применения численных методов и, как следствие, потерю общности выводов, которые являются важнейшим, и, на сегодняшний день, возможно, единственным преимуществом ана-

литических методов. Кроме того, сложные аналитические преобразования оставляют открытым вопрос наличия в них ошибок и требуют разработки специальных мер их выявления и устранения [1].

е) Проанализировав приведенные ранее параметрические схемы технологических процессов (Рис. 3 – Рис. 8) линии производства комбикормов (Рис. 1), а также воздействия, доступных для целенаправленного изменения, т.е. выявив состав потенциальных управляющих воздействий, за счет изменения которых можно влиять целенаправленно на ход технологической линии производства комбикормов, реализуя необходимые функции управления, можно представить концептуальную схематическую модель технологической линии производства комбикормов в виде структурной схемы, см. (рис. 9).

Выводы. Реализация приведенной концепции модели технологической линии производства комбикормов, в силу ее специфических свойств как ОУ, представляет собой достаточно наукоемкую задачу. В частности, т.к. количество регламентированных переменных процесса производства комбикормов весьма существенно превышает количество доступных для реализации управляющих воздействий, то стабилизировать процесс по всем регламентированным переменным на основе классических подходов к построению САУ, невозможно. Ее решение приводит к необходимости расширения состава функций, реализуемых системой за счет функций оптимизации, гарантирования режимных переменных и показателей стабильности, измерения косвенных показателей качества экструдата в реальном времени и улучшения реализации традиционных функций, т.е. функций регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хобин В.А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения. //Монография –Одесса. 2008. –304с.
 2. Згуровский М.З., Денисенко В.А. Дискретно-непрерывные системы с управляемой структурой. - К.: Наукова думка 1998
 3. Сгоров. Б.В. Технология виробництва комбікормів. – Одеса: Друкарський дім, 2011. – 448 с.

Поступила 09.09.2013

Адрес для переписки: ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039

