

Научная статья
УДК 631.3:636.084
DOI: 10.66783/2782-3172.2026.92.16.014

РАЗРАБОТКА БЛОК-СХЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ

Павел Николаевич Солонщиков

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия
solon-pavel@yandex.ru

Аннотация

В представленной работе исследуются пути интенсификации процессов производства и распределения жидких кормов в агропромышленном секторе. Основное внимание уделено системному анализу эксплуатации центробежных насосных агрегатов, рассматриваемых не только в качестве нагнетателей, но и как эффективных смесителей. В ходе исследования сформированы и детально интерпретированы структурно-функциональные схемы работы установки для производства жидких смесей (УПЖКС) в рамках дискретного и поточного циклов. Формализованы ключевые детерминанты системы: входные реологические характеристики сырья и выходные индикаторы эффективности (гомогенность продукта, удельные затраты энергии). Подчеркивается приоритетность эмпирического моделирования и регрессионного анализа ввиду высокой стохастичности рассматриваемых процессов. Разработанная архитектура технологической линии позволяет проводить прецизионную настройку рабочих узлов оборудования с опорой на гидравлическое сопротивление коммуникаций и зоотехнические регламенты.

Ключевые слова: поток, компонент, вода, смесь, режим, насос, установка, блок-схема

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств автора

Для цитирования: Солонщиков П. Н. Разработка блок-схем функционирования технических средств линии приготовления и раздачи жидких кормовых смесей // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 2. С. 114–123. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.92.16.014.

DEVELOPING FLOWCHARTS FOR FUNCTIONING OF TECHNICAL FACILITIES FOR PREPARING AND DISTRIBUTING LIQUID FEED MIXTURES

Pavel N. Solonshchikov

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
solon-pavel@yandex.ru

Abstract

The paper examines ways to intensify the liquid feed production and distribution in the agro-industrial sector. The main attention is paid to the system analysis of operation of centrifugal pumping units, which are considered not only as superchargers, but also as effective mixers. In the research course, the structural and functional operating schemes of the liquid mixtures production unit within

the framework of discrete and in-line cycles were formed and interpreted in details. The authors formalize the key determinants of the system: input rheological characteristics of raw materials and output efficiency indicators (product homogeneity, specific energy consumption). The priority of empirical modeling and regression analysis is emphasized due to the high stochasticity of the processes under consideration. The developed architecture of the processing line allows for precision tuning of the working units of the equipment based on the hydraulic resistance of communications and zootechnical regulations.

Keywords: flow, component, water, mixture, mode, pump, installation, flowchart

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Solonshchikov PN. Developing flowcharts for functioning of technical facilities for preparing and distributing liquid feed mixtures. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(2):114–123. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.92.16.014. (In Russ.).

Введение. Эффективность ведения современного животноводства во многом зависит от качества подготовки кормов и степени автоматизации процессов их раздачи. Одним из наиболее перспективных направлений является использование жидких кормовых смесей, обеспечивающих высокую усвояемость и возможность точного дозирования компонентов. Центральным звеном в технологических линиях подготовки таких смесей выступают нагнетательные установки, среди которых наибольшее распространение получили центробежные лопастные насосы.

Традиционно насосы рассматривались лишь как средства транспортировки жидких сред. Однако современные исследования доказывают наличие так называемого «насосного эффекта», при котором динамическое воздействие рабочего колеса изменяет физико-механические свойства перекачиваемой среды, способствуя её гомогенизации. Это открывает возможности для расширения функционала насосных установок и их использования в качестве полноценных смесителей, что особенно актуально для малых форм хозяйствования, где требуется минимизация габаритов и энергоёмкости оборудования.

Несмотря на имеющиеся наработки, проектирование таких multifunctional систем осложняется многофакторностью рабочих процессов и изменчивостью внешних условий. Для поиска оптимальных режимов работы необходимо четкое представление структуры взаимодействия элементов системы.

Материалы и методы. Центробежный агрегат представляет собой динамический объект, чувствительный к флуктуациям внешней среды. Доказано, что в процессе работы он способен изменять температуру и консистенцию жидкости, а при обработке многокомпонентных сред – повышать их связность. Визуализируем работу устройства в виде блок-схемы (рисунок 1).

Принимаем следующее. Входящими переменными будут количество воды $G_1(t)$ и свойства жидкости $W_1(t)$ (вязкость, плотность), их сумма – это выходной поток $q_1(t)$. Поток, выходящий из НР, поступает через всасывающий патрубок ВП на рабочее колесо РК, на которое действуют настроечные $R(t)$ и конструктивные $K(t)$ параметры. РК расположено в камере К, где действуют конструктивные параметры $K(t)$. Взаимодействие РК на поток $q(t)$ приводит к изменению $q'(t)$, который поступает в напорный патрубок НП и далее с новыми свойствами направляется в линии раздачи ЛРК и приготовления кормов ЛПК или просто транспортируется в ёмкость либо в смеситель или трубопровод. При этом на данные элементы будет оказывать влияние сопротивление сети $H_c(t)$. Выходными параметрами у них является напорно-энергетическая характеристика $Q-H(t)$, в которую входят подача, напор, коэффициент полезного действия, а также параметры качества смеси $S(t)$, характеризующиеся степенью однородности и удельной энергоёмкостью.

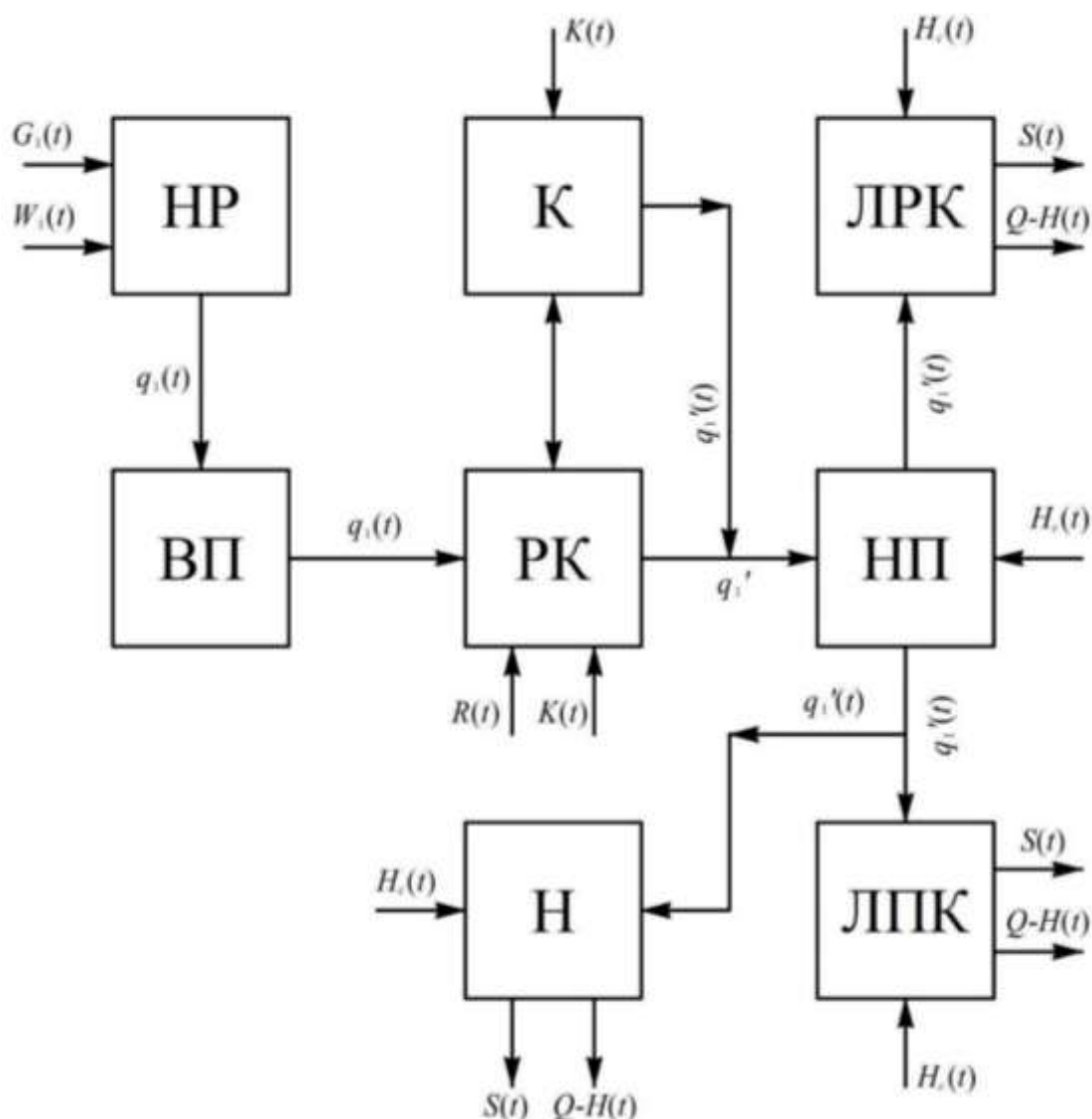


Рисунок 1. Блок-схема рабочего процесса функционирования лопастного насоса:

НР – накопительный резервуар (ёмкость); ВП – всасывающий патрубок;
РК – рабочее колесо; К – камера насоса; НП – напорный патрубок;
ЛРК – линия раздачи кормов; ЛПК – линия приготовления кормов; Н – функция нагнетания

Растущая популярность совмещения транспортных и смесительных функций определяет вектор развития насосного оборудования как многофункциональных центробежных установок. При проектировании таких устройств необходимо учитывать циклы накопления сырья, интенсивность перемешивания и точность порционной выгрузки.

Результаты и обсуждение. На базе принципиальной схемы лопастного насоса (рисунок 1) спроектирована специализированная установка (УПЖКС). Данный объект является динамической системой, эксплуатируемой в условиях переменного входного воздействия (рисунок 2).

В модели УПЖКС (рисунок 2) в качестве независимых факторов рассматриваются приток воды $G_1(t)$ и подача сухого наполнителя $G_2(t)$, а также их физические константы $W_1(t)$ и $W_2(t)$. Данные параметры являются стохастическими и фиксируются опытным путем. Управляющее воздействие реализуется через конструктивные решения $K(t)K(t)K(t)$ и эксплуатационные настройки $R(t)$.

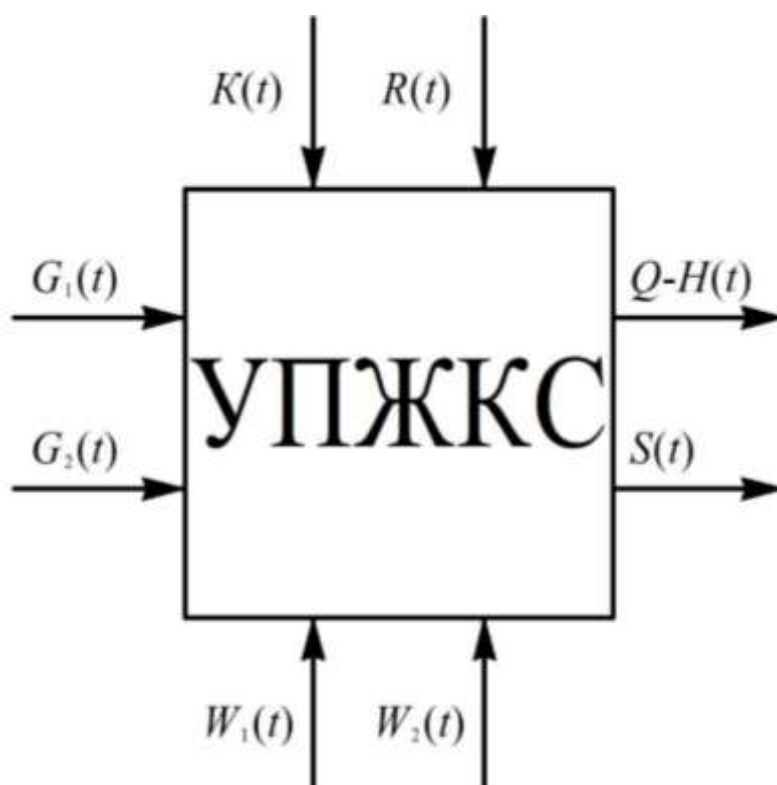


Рисунок 2. Блок схема функционирования установки для приготовления жидких кормовых смесей (УПЖКС)

Выходной вектор системы включает эксплуатационные метрики: производительность $Q(t)$, величину напора $H(t)$, активную мощность $P(t)$, энергетическую эффективность $\eta(t)$, а также зоотехническую однородность смеси $\Theta(t)$ и затратный показатель $\mathcal{E}_{\text{зд}}(t)$. Все параметры группируются в два блока: гидравлический $Q-H(t)$ и качественный $S(t)$.

Устройства, предназначенные для смешивания, могут быть двух типов – с внесением в поток или порционно. Иначе можно их назвать режимом непрерывного и периодического смешивания. Соответственно, УПЖКС может работать по двум режимам.

Первый режим (способ) – это функционирование установки с непрерывным смешиванием компонентов (рисунок 3). В ёмкости НР вода (жидкость) поступает в количестве $G_1(t)$ со свойством среды $W_1(t)$, а из загрузочного бункера ЗБ порошкообразный компонент подается в количестве $G_2(t)$ с начальными физико-механическими свойствами (плотность, крупность, слёживаемость и т. д) $W_2(t)$ в рабочее колесо (РК).

Загрузка компонентов производится отдельно, то есть потоки $q_1(t)$ и $q_2(t)$ встречаются в рабочем колесе (РК), у которого входными и управляемыми параметрами будут конструкция $K(t)$, угол наклона выходных лопаток и неподвижных лопаток и их число и режим работы (настройка) $R(t)$, частота вращения (РК). Так как рабочее колесо расположено в камере (К), то у него будут только конструктивные параметры $K(t)$, угол наклона неподвижных лопаток и их количество. Взаимодействие компонентов на рабочем колесе с неподвижными лопатками в камере приводит к получению смеси $q_1(t) + q_2(t)$, выходящей из напорного патрубка (НП), где такие же элементы были выбраны для лопастного насоса (рисунок 3).

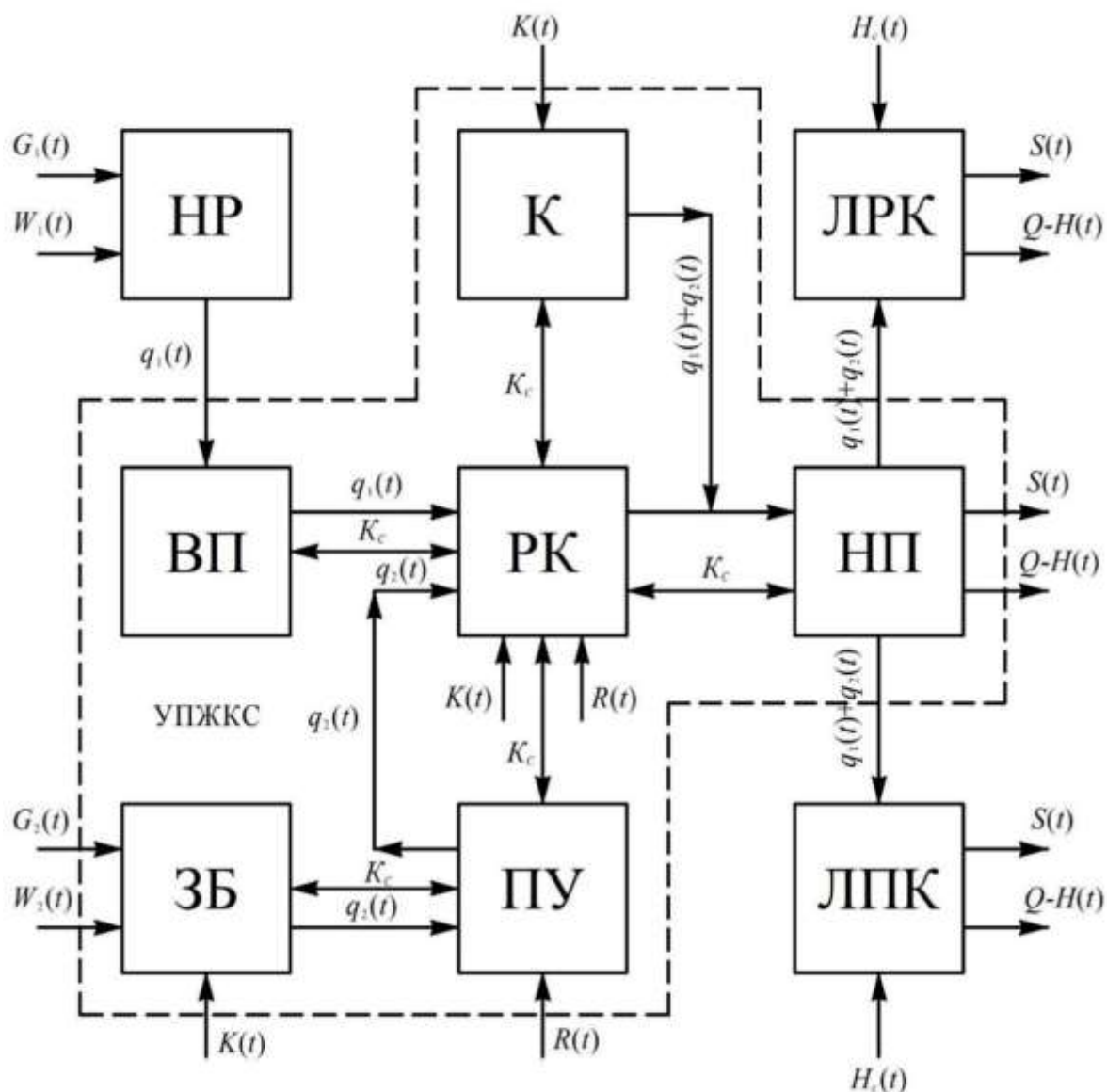


Рисунок 3. Блок-схема функционирования установки для приготовления жидких кормовых смесей при непрерывном режиме смешивания:

НР – накопительный резервуар (ёмкость); К – рабочая камера установки;
ЛРК – линия раздачи кормов; ВП – всасывающий патрубок; РК – рабочее колесо;
НП – напорный патрубок; ЗБ – загрузочный бункер; ПУ – питающее устройство;
ЛПК – линия приготовления кормов

Поэтому во время работы соотношение компонентов должно быть в виде зависимости, которая будет степенью однородности смеси $S(t)$:

$$S(t) = f\left(\frac{q_1(t)}{q_2(t)}\right) = const. \quad (1)$$

Так как данная схема (рисунок 3) предназначена для работы в непрерывном режиме, то можно сделать вывод о том, что компоненты в загрузочный бункер (ЗБ) должны подаваться равномерно, соответственно, необходимо использование дозатора или питающего устройства (ПУ), обеспечивающего непрерывную дозированную подачу порошкообразных компонентов в рабочую камеру (К).

Рассмотрим функционирование установки при периодическом режиме смешивания (рисунок 4). Таким образом, здесь четко выдерживается соотношение сухого и жидкого компонента согласно требованиям на приготовление.

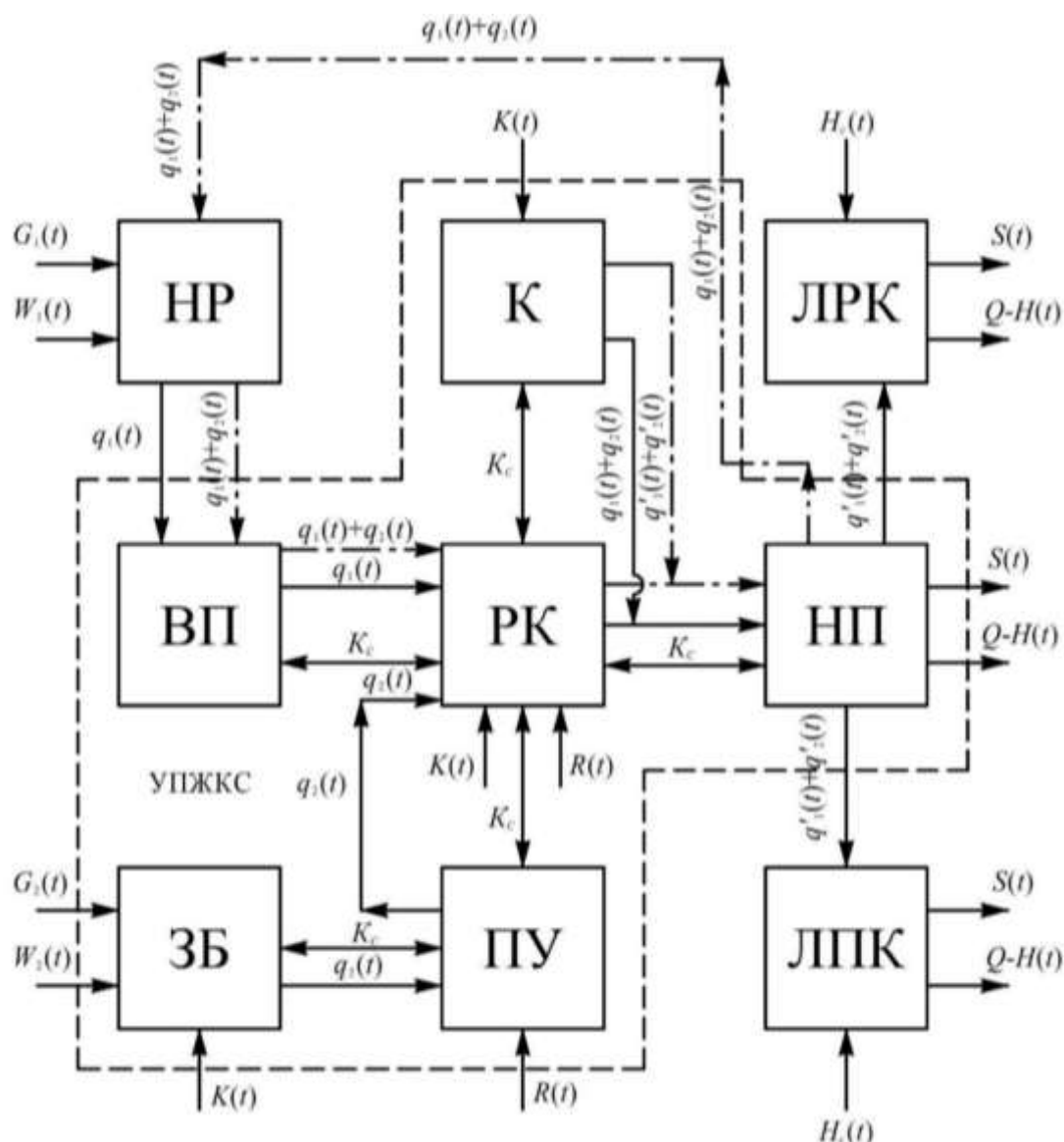


Рисунок 4. Блок-схема функционирования установки для приготовления жидких кормовых смесей при периодическом режиме смешивания:

НР – накопительный резервуар (ёмкость); К – рабочая камера установки;
ЛРК – линия раздачи кормов; ВП – всасывающий патрубок; РК – рабочее колесо;
НП – напорный патрубок; ЗБ – загрузочный бункер; ПУ – питающее устройство;
ЛПК – линия приготовления кормов

Установка работает по замкнутому циклу, то есть полученная смесь $q_1(t) + q_2(t)$ от напорного патрубка (НП) поступает в ёмкость (НР). Затем эта смесь поступает по всасывающему патрубку (ВП) и далее подаётся на рабочее колесо (РК), поток преобразуется в $q'_1(t) + q'_2(t)$, который доводится до нужного соотношения или качества, и далее выводится по напорному патрубку (НП).

В данной схеме (рисунок 4) соблюдение заданного соотношения компонентов (НР) и (ЗБ) является важным условием для требуемого качества смеси $S(t)$. Для этого необходимо

обеспечить соотношение компонентов, которое устанавливается для приготовления заменителя цельного молока (ЗЦМ). С учетом соотношения (1) получаем:

$$S(t) = f\left(\frac{q_1(t)}{q_2(t)}\right) = \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{10}\right) = const. \quad (2)$$

При анализе работы установки для приготовления смесей пришли к выводу, что для отыскания оптимальных условий её функционирования необходимо располагать математическим описанием преобразований. Входные и выходные переменные, приведенные ранее, можно получить на основе как теоретических, так и экспериментальных исследований.

Сложность аналитического прогнозирования параметров УПЖКС обусловлена нелинейностью гидродинамических процессов. Для поиска оптимальных условий эксплуатации целесообразно использовать методы планирования эксперимента, результатом которых являются уравнения регрессии, описывающие поведение системы в реальном диапазоне нагрузок.

Рассмотрим функционирование технологической линии приготовления раздачи жидких кормовых смесей при непрерывном и периодическом режиме (рисунок 5).

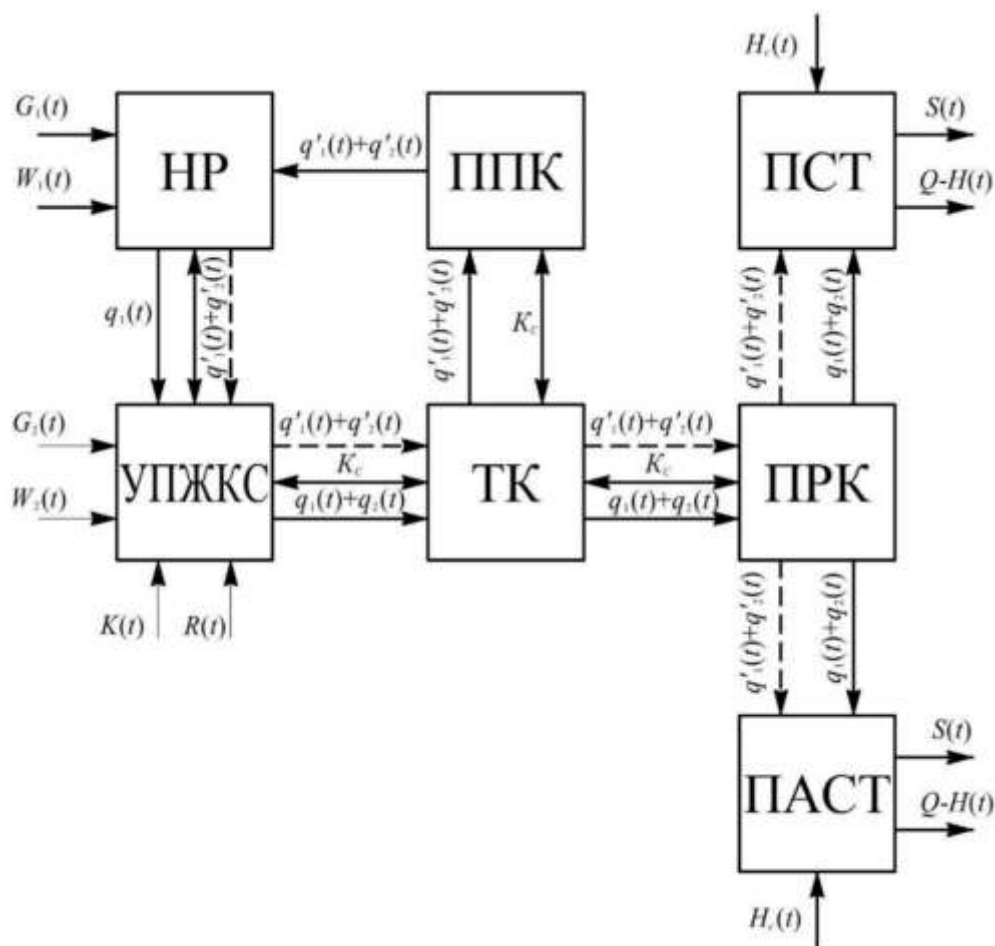


Рисунок 5. Блок-схема функционирования технологической линии приготовления раздачи жидких кормовых смесей при непрерывном и периодическом режиме:

НР – накопительный резервуар (ёмкость); ППК – процесс приготовления кормов; ПСТ – последовательное соединение трубопровода; УПЖКС – установка для приготовления жидких кормовых смесей; ТК – трехходовой кран; ПРК – линия приготовления и раздачи кормов; ПАСТ – параллельное соединение трубопровода

В режиме приготовления смеси линия работает следующим образом: жидкие компоненты $q_1(t)$ из накопительного резервуара (НР) и сухой $q_2(t) = G_2(t) + W_2(t)$ подаются в установку (УПЖКС) и далее из неё – на трёхходовой кран (ТК). При непрерывном режиме поток $q_1(t) + q_2(t)$ отправляется на линию раздачи кормов (ПРК), а при периодическом $q'_1(t) + q'_2(t)$ – обратно в (НР) и затем, при достижении времени приготовления и переключении (ТК), поступит на (ПРК). Процесс раздачи кормов (ПРК) может быть осуществлён либо при последовательном (ПСТ), либо при параллельном соединении трубопровода (ППСТ).

В данной схеме (рисунок 5) выходные параметры такие же, как при функционировании (УПЖКС), но важным фактором будет являться сопротивление сети $H_c(t)$, которое позволит определить оптимальные диаметры труб для обеспечения процесса раздачи кормов, что в дальнейшем повлияет на качество смеси при её раздаче. Кроме этого, с учётом суточной потребности в кормах, кратности приготовления и раздачи и числа животных, позволит получить время работы технологической линии (рисунок 5), а также количество установок (УПЖКС), способных обеспечить технологический процесс.

Заключение. В ходе исследования сформированы и детально интерпретированы структурно-функциональные схемы работы установки для производства жидких смесей (УПЖКС) в рамках дискретного и поточного циклов. Формализованы ключевые детерминанты системы: входные реологические характеристики сырья и выходные индикаторы эффективности (гомогенность продукта, удельные затраты энергии). Подчеркивается приоритетность эмпирического моделирования и регрессионного анализа ввиду высокой стохастичности рассматриваемых процессов. Разработанная архитектура технологической линии позволяет проводить прецизионную настройку рабочих узлов оборудования с опорой на гидравлическое сопротивление коммуникаций и зоотехнические регламенты.

Список источников

1. Булатов С. Ю. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования: диссертация ... доктора технических наук. Княгинино : [б. и.], 2018. 412 с.
2. Механизация и технология животноводства / В. В. Кирсанов, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич [и др.] М. : Колос С, 2007. 584 с.
3. Курсовое и дипломное проектирование по механизации животноводства / под ред. Д. Н. Мурусидзе, В. В. Кирсанова, А. И. Чугунова [и др.] М. : Колос С, 2006. 296 с.
4. Мельников С. В Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Агропромиздат, Ленингр. Отд-ние, 1985. 640 с.
5. Солонщиков П. Н., Косолапов Е. В., Мошонкин А. М. Механизация водоснабжения ферм и комплексов : учебное пособие. Киров : Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. 44 с.
6. Машины и технологии в животноводстве : учебник / В. Г. Мохнаткин, П. Н. Солонщиков, М. С. Поярков [и др.]. Киров : Радуга-ПРЕСС, 2022. 460 с. ISBN 978-5-6048229-1-3.
7. Солонщиков П. Н., Толстоухова И. А., Шевченко А. В. Устройство для регулирования микроклимата в животноводческих помещениях // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы XVI Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», Киров, 06 февраля 2023 года. Киров, 2023. Выпуск 23. С. 258–261.
8. Система машин для механизации и автоматизации выполнения процессов при производстве продукции животноводства и птицеводства на период до 2030 года / Н. М. Морозов, П. И. Гриднев, В. И. Сыроватка [и др.]. М. : Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2021. 180 с.

9. Модель приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования / С. Ю. Булатов, А. А. Зыкин, В. Н. Нечаев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 26–30.

References

1. Bulatov SYu. Razrabotka i sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh liniy i tekhnicheskikh sredstv prigotovleniya kormov v usloviyakh malykh form khozyaystvovaniya: dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk = Development and improvement of technological lines and technical means of forage preparation in small-scale farming: dissertation of the doctor of technical sciences. Knyaginino; 2018. 412 p. (In Russ.).
2. Kirsanov VV, Murusidze DN, Nekrashevich VF, et al. Mekhanizatsiya i tekhnologiya zhivotnovodstva = Mechanization and technology of animal husbandry. Moscow: KolosS Publishing; 2007. 584 p. (In Russ.).
3. Murusidze DN, Kirsanov VV, Chugunov AI, et al., (ed). Kursovoye i diplomnoye proyektirovaniye po mekhanizatsii zhivotnovodstva = Course and diploma design on animal husbandry mechanization. Moscow: Kolos S Publishing; 2006. 296 p. (In Russ.).
4. Melnikov SV. Tekhnologicheskoye oborudovaniye zhivotnovodcheskikh ferm i kompleksov = Technological equipment of livestock farms and complexes. 2nd ed. Leningrad: Agropromizdat Publishing; 1985. 640 p. (In Russ.).
5. Solonshchikov PN, Kosolapov EV, Moshonkin AM. Mekhanizatsiya vodosnabzheniya ferm i kompleksov = Mechanization of water supply of farms and complexes. Kirov: Vyatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. 2019. 44 p. (In Russ.).
6. Mokhnatkin VG, Solonshchikov PN, Poyarkov MS, et al. Mashiny i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machines and technologies in animal husbandry. Kirov: Raduga PRESS Publishing; 2022. 460 p. ISBN 978-5-6048229-1-3. (In Russ.).
7. Solonshchikov PN, Tolstoukhova IA, Shevchenko AV. Ustroystvo dlya regulirovaniya mikroklimata v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh = A device for regulating the microclimate in livestock facilities. In: Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: materialy XVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezheniye = Improving the operational performance of agricultural energy: materials of the XVI international scientific and practical conference Science – Technology – Resource Conservation. Kirov, February 06 2023. Vol. 23. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet; 2023. P. 258–261. (In Russ.).
8. Morozov NM, Gridnev PI, Syrovatka VI, et al. Sistema mashin dlya mekhanizatsii i avtomatizatsii vypolneniya protsessov pri proizvodstve produktsii zhivotnovodstva i ptitsevodstva na period do 2030 goda = A system of machines for mechanization and automation of processes in the production of livestock and poultry products for the period up to 2030. Moscow: Federal'nyy nauchnyy agroinzhenernyy tsentr VIM; 2021. 180 p. (In Russ.).
9. Bulatov SYu, Zykin AA, Nechaev VN, et al. Model of feed preparation in small-scale farming. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2023;(4):26–30. (In Russ.).

Информация об авторе

Солонщиков Павел Николаевич, кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой эксплуатации машин и технологического оборудования, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: solon-pavel@yandex.ru

Information about the author

Pavel N. Solonshchikov, candidate of technical sciences, associate professor, acting head of the Department of Machinery and Technological Equipment Operation of Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrskiy Avenue, Kirov, 610017, the Russian Federation
e-mail: solon-pavel@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

01.06.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

05.06.2026

принята к публикации / accepted for publication

17.06.2026