

ИНЖЕНЕРНЫЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ НАУКИ

DOI: 10.35523/2307-5872-2024-47-2-78-88

УДК 621.313.33.004-027.45:51:63

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ОБЪЕКТОВ АПК

Еремочкин С.Ю., ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»;

Жуков А.А., ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»;

Дорохов Д.В., ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

В данной работе рассматривается вопрос модернизации электротехнических аппаратов и устройств агропромышленного комплекса с целью повышения эффективности и обеспечения стабильного роста сельскохозяйственного производства в России с помощью применения системного подхода к анализу технологических процессов. Был выполнен подробный анализ развития теории сложных систем и системного анализа, выделены общие периоды развития, характеризующиеся определенными условиями развития среды и определены для них характерные особенности концепций и методов исследования систем. В свою очередь, электрический привод, ключевой элемент большинства производственных процессов сельскохозяйственной отрасли, следует рассматривать как часть одной, более сложной системы. На основе системного анализа и теории сложных систем рассмотрен подход к исследованию электроприводов объектов агропромышленного комплекса. На примере обобщенной сложной системы произвольного технологического процесса с высоким уровнем механизации и автоматизации выявлены критически важные элементы, их взаимосвязи и взаимодействия. Для электроприводов рассмотрены основные факторы, влияющие на их работу, такие как климатические условия и условия эксплуатации. В статье подчеркивается значимость использования теории сложных систем при исследовании и модернизации электротехнических аппаратов и устройств в агропромышленном комплексе. Применение системного подхода позволяет более глубоко и всесторонне анализировать и оптимизировать работу систем. Такой анализ помогает определить слабые места системы, выявить наиболее эффективные способы ее оптимизации и проектирования. Это в свою очередь способствует повышению эффективности сельскохозяйственного производства и обеспечению стабильного роста отрасли в России.

Ключевые слова: системный анализ, теория сложных систем, агропромышленный комплекс, механизация и автоматизация, электрический привод.

Для цитирования: Еремочкин С.Ю., Жуков А.А., Дорохов Д.В. Методические основы теории сложных систем при исследовании электроприводов объектов АПК // Аграрный вестник Верхневолжья. 2024. № 2 (47). С. 78–88.

Введение. Основной задачей агропромышленного комплекса страны является обеспечение стабильного роста сельскохозяйственного производства для удовлетворения потребностей населения в продовольствии и потребительских товарах из сельскохозяйственного сырья. Кроме этого, большое значение имеют как обеспечение продовольственной безопасности страны в целом, так и

улучшение условий труда и жизни населения, которое занято в сельском хозяйстве. Решение этих задач возможно путем повышения эффективности функционирования агропромышленного комплекса, что невозможно достичь без модернизации и усовершенствования как технологических процессов в общем, так и их аппаратных составляющих в частности.

Наряду с этим, каждый производственный процесс можно представить в виде сложной системы, состоящей из компонентов, различными путями, зачастую непредсказуемо, взаимодействующих между собой, имеющих большое количество характеристик и параметров. Многие из них являются не постоянными величинами, изменяющимися во времени в связи с внутренними процессами в системе или из-за внешних, еще более непредсказуемых, воздействий на неё. Однако такие системы можно рассматривать как простые, если абстрагироваться от не критически важных аспектов, принять результат с некоторыми допущениями. Решение подобных задач требует применения системного анализа полной структуры системы, определения ее ключевых и наиболее важных элементов, а также внутренних взаимодействий и взаимосвязей между ними.

Материалы и методы. Теория и практика системного анализа являются дискуссионными вопросами, несмотря на то что базируются на достаточно разработанных методологических аспектах. Методология системного анализа была научно обоснована лишь в XX веке, хотя рассмотрение сложных явлений как систем, состоящих из множества элементов, практиковалось на протяжении многих веков.

Изначально идеи системности были присущи в основном философии и социологии, изучающим самые общие вопросы устройства природы и общества, но со временем всё более распространялись и на другие науки, в том числе точные. Прежде всего, это космология: работы Птолемея, Коперника, Галилея, Бруно, Кеплера, Лапласа и прочих, вплоть до практически современных Хаббла и Шкловского. Затем – строение вещества: работы Левкиппа, Демокрита, Менделеева, Резерфорда, Бора, Гейзенберга, Капицы, Венециано, Киббл, Зельдовича. Именно же в прикладной технике и инженерии наибольший вклад в развитие системного мышления внесли Стаффорд Бир [1], Рудольф Калман [2] и Джордж Клир [3], Р. Акофф [4], Г. Хакен [5], Р. Эшби [6], а также советские и российские – А. Д. Цвиркун [7], И. В. Блауберг [8], Д.А. Думлер [9-10] и др.

С течением времени менялось представление о системах, использовались новые подходы, инструменты, методы системного анализа. Стало понятно, что разработка общей теории систем является одним из ключевых направлений развития науки, а для описания сложных систем недостаточно привычных логических концепций, необходимо создание нового понятийного аппарата. На следующем этапе развития системного мышления разрабатывались различные теории управления техническими системами.

Проведя подробный анализ исторической ретроспективы развития теории систем и системного анализа, выделены общие периоды развития, характеризующиеся определенными условиями развития среды и определены для них характерные особенности концепций исследования систем. Эволюция научных представлений о сложных системах подробно представлена на рисунке 1.

Таким образом, осуществляя поиск адекватных современным условиям среды подходов к анализу сложных технических систем, логично опираться на историческую ретроспективу этой области знаний. Анализ эволюционных процессов позволяет выявить некоторые общие черты развития подходов к рассмотрению сложных систем. Так, эти научные концепции были призваны решать специфические задачи, способные помочь исследователям из различных областей найти новые решения, используя принцип систематизации и анализа сложных явлений.

На современном этапе развития промышленного производства главной целью системного анализа является модернизация существующих систем с целью повышения их эффективности.

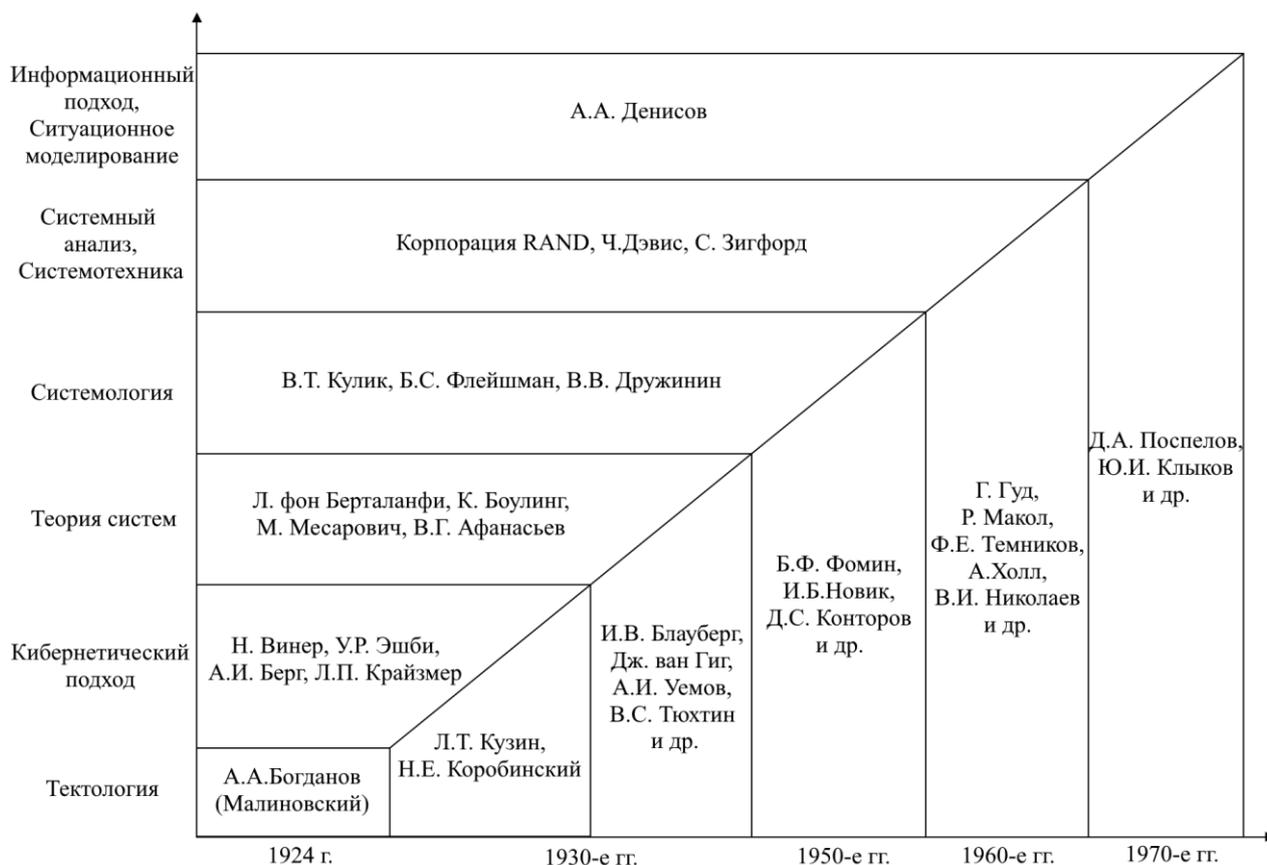


Рисунок 1 – Эволюция научных представлений о сложных системах

На качественно новый уровень вышли сложные системы в век цифровых технологий, с широким распространением компьютеров, а затем и Интернета. Новое значение приобретает понятие «сложные информационно-технические системы», которые и ранее были примером наиболее сложных в технике (системы теле- и радиовещания, телефонная сеть и прочие комплексы в коммуникационной отрасли) [11], а с появлением сетей компьютерных стали ещё сложнее. Благодаря возможности быстро обрабатывать колоссальные объёмы информации, коренным образом изменился сам подход к анализу и предсказанию поведения систем даже в гуманитарных отраслях, появилось специальное программное обеспечение для сбора и систематизации данных, применения к ним определённых алгоритмов и получения соответствующих выводов.

Для иллюстрации лавинного наращивания сложности технических систем рассмотрим такую распространённую задачу, как производство определённых (тяжёлых, грязных, опасных) работ. Например, вырубка леса (все построения исключительно гипотетические, не имеющие отношения к применению подобных решений на практике). Имеется физическая сложность и негативные экологические факторы – в первую очередь для исполняющего человека – шум, пыль, дикая природа (неблагоприятная погода, растительный и животный мир) и так далее вплоть до угрозы жизни из-за не всегда предсказуемого повала деревьев и крупных веток. По этой причине требуется механизация:

- либо с помещением работника в прочную и герметичную кабину самоходного устройства,
- либо с дистанционным управлением, расположением человека на достаточном расстоянии от места непосредственных работ,
- либо глубокая кибернетизация аппарата – с очень сложной программой, с искусственным интеллектом (на сегодняшнем уровне технологий и информатики, как правило, такое решение

комбинируют со вторым вариантом – автоматическая система, но под контролем удалённого оператора).

В первом случае рабочему необходимо обеспечить:

- 1) физическую безопасность, механическую прочность кабины;
- 2) хороший обзор – широкое остекление, ударопрочность этого стекла и его прозрачность (то есть потребуются эффективные дворники, прогрев и обдув для испарения конденсата и так далее);
- 3) определённый комфорт, поскольку высокий уровень шума, запыленность органов, снижают уровень безопасности и производительности работы (то есть необходима герметизация с удобно регулируемой внутренней циклической и внешней приточной/вытяжной вентиляцией, пылеудаление, тепло- и звукоизоляция, нагреватели/охладители, увлажнители/осушители и прочая климатическая техника);
- 4) качественное многофункциональное освещение и надёжную систему связи – по достаточно тривиальным соображениям безопасности и удобства.

Также наличие человека на борту предъявляет более высокие (чем у беспилотных аппаратов) требования к ходовой части – в отношении вибраций, амортизации, надёжности и опять-таки безопасности. Они распространяются как на режим собственно работы (выполнения основных функций по вырубке леса), так и на просто перемещение своим ходом по любой местности – целине или дорогам.

На габариты (и, соответственно, условия транспортировки и хранения) тяжёлой техники кабина влияет незначительно. Но на общую сложность (следовательно, стоимость) – существенно. Плюс все перечисленные дополнительные системы неминуемо снижают общую надёжность, отказоустойчивость, усложняют обслуживание подобных машин.

Второй вариант – дистанционное управление – свободен от многих вышеизложенных недостатков, но порождает свои проблемы в зависимости от

- физического принципа связи – проводная, низкочастотное радио, высокочастотные GSM или Wi-Fi, оптика, акустика и т. д.,
- радиуса действия,
- скорости и объёма передаваемой информации (количества команд),
- наличия обратной видеосвязи (передающие камеры или работа только на расстоянии прямой видимости) и других характеристик.

Аналогично с кибернетизацией. Для программирования поведения робота во всех мыслимых ситуациях (а тем более – создания эвристического самообучающегося интеллекта для принятия решений в новых, непредусмотренных ситуациях) требуется процессор очень высокого уровня, огромные объёмы памяти и скорость обмена информацией, то есть цифровые системы с миллионами электронных компонентов – пусть и с высочайшей степенью их интеграции и миниатюризации. Соответственно, помимо стоимости возникают проблемы с их отказоустойчивостью (программный или аппаратный сбой автономного робота может иметь значительно более серьёзные последствия, чем сбой настольного ПК, а обслуживание затруднено), охлаждением и так далее, что порождает, в свою очередь, новые задачи.

Кроме управления, необходимо как независимо, так и со всеми взаимосвязями, рассматривать источник энергии, способ её преобразования (тип двигателя), трансмиссию, исполнительные механизмы и массу прочих систем и подсистем. Нагляднее разветвление задач/решений – как одно порождает несколько следующих – можно показать на блок-схеме (далеко не полной, демонстрирующей для примера лишь некоторые части общей картины), показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Блок-схема возможного разветвления задач/решений

На рисунке 2 линии без стрелок означают не последовательное подчинение, а равноправные параллельные варианты, возможные элементы самого верхнего на линии блока.

Как видно, даже столь упрощённая схема является довольно объёмной, а при дальнейшей конкретизации с изображением всех вариантов она буквально стремится к бесконечности.

Это показывает, что при создании/совершенствовании технических устройств, как и любых сложных систем, не годятся тривиальные решения. Особенно – частные и узконаправленные. Чтобы проблемы не нарастали до бесконечности, необходимо рассматривать их не последовательно «по мере поступления», а одновременно, учитывая даже лишь возможные в будущем, ещё не возникшие, принимая во внимание все взаимодействия и обратные связи. То есть требуется исключительно комплексный, системный подход.

Результаты. Для уточнения направлений повышения эффективности электроприводов сложных систем объектов АПК, рассмотрим их функции и взаимосвязи на примере обобщенной сложной системы произвольного технологического процесса с высоким уровнем механизации и автоматизации (рисунок 3).

Чтобы избежать излишнего ветвления схемы, рассматриваются только приводы на основе электродвигателей, не принимая во внимание другие способы приведения в движение исполнительных устройств, таких как использование энергии сжатых газов, химических реакций (чаще всего – горения), гидравлического давления (за счёт веса жидкости или её теплового расширения) и так далее. При этом пневматика, гидравлика и механика, безусловно, могут использоваться как промежуточные звенья передачи движения от привода к исполнительным элементам или для контроля последних – создания обратных связей с автоматическими системами управления (или непосредственно приводом) и отображения параметров (положение, скорость, силы и давление в различных точках) для оператора.



Рисунок 3 – Обобщенная сложная система технологического процесса

Наиболее важными элементами системы, представленной на рисунке 3, определяющими основные технические параметры и характеристики, а также накладывающие эксплуатационные ограничения, являются: источник энергии, исполнительный механизм, устройство управления, условия окружающей среды и тип двигателя. Рассмотрим каждый выделенный элемент с подходом системного анализа теории сложных систем.

Источник энергии. Как и любая машина (система, производящая полезную *работу*), агропромышленная техника должна откуда-то получать энергию. На сегодняшний день существует множество её источников – от солнечных (необязательно электрических, в некоторых ситуациях бывает эффективнее просто нагрев какого-то теплоносителя) до ядерных (уже в прошлом веке существовали реакторы, масса и габариты которых допускали установку не только на морских судах, но и на авиационном, железнодорожном и даже автомобильном транспорте, а в сельском хозяйстве используются и стационарные системы, крупные комплексы). Но самыми распространёнными (прежде всего – из-за стоимости) остаются химические, сжигающие углеводородное топливо, и электрические [12-14].

Также необходимо принять во внимание, что значительную долю сельскохозяйственного производства составляют небольшие фермерские хозяйства, расположенные вдали от крупных городских центров, характерным признаком которых является слабо развитая инфраструктура, что сказывается и на качестве электроснабжения. Особенность электроснабжения отдаленных районов сельской местности заключается в широком диапазоне колебаний питающего напряжения, воздействия на двигатели неполнофазных режимов работы.

В отличие от промышленных предприятий, где силовые и осветительные сети разделены, в сельских электросетях преобладает смешанное подключение одно-, двух- и трехфазных потребителей различной мощности. Данное обстоятельство является причиной асимметрии фазных напряжений. При этом подключение электроприемников происходит не одновременно, в одни моменты времени нагрузка на сеть максимальна, в другие – значительно уменьшается. Большая протяженность низковольтных линий электропередач в сельской местности также оказывает влияние на стабильность и надежность электроснабжения [15].

Сезонность и односменность работы, характерные для сельскохозяйственного производства, определяют относительно низкую степень использования установленного электрооборудования как в течение суток, так и на протяжении года.

Следует учесть, что на всех кратковременных процессах, как правило, установлены электродвигатели общепромышленного исполнения, рассчитанные на длительную работу при номинальной нагрузке. Малая продолжительность использования электродвигателей позволяет допускать их перегрузки без ущерба для срока службы. Однако длительность использования электродвигате-

лей в условиях неблагоприятной окружающей среды сельскохозяйственного производства требует при проектировании электрифицированных машин делать упор на более надежное и простое в эксплуатации оборудование.

В соответствии с условиями эксплуатации большинства электрифицированных сельскохозяйственных машин, электрические двигатели не должны иметь подвижных контактов, таких как: электрические щетки, кольца и коллекторный узел, так как подвижные контакты требуют постоянного обслуживания. Также в процессе работы электрических двигателей с подвижными электрическими контактами образование искры может привести к взрыву в зерноперерабатывающих помещениях, а повышенная влажность может способствовать короткому замыканию и пожару.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в электроприводе большинства сельскохозяйственных электрифицированных машин целесообразно использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Исполнительный механизм – подсистема, непосредственно осуществляющая основную функцию машины. В определенном смысле все остальные части служебные, вспомогательные, обеспечивающие лишь номинальное функционирование исполнительной. Также эта часть является, как правило, самой энергоёмкой, в первую очередь на неё работает источник энергии. (Больше физической работы может требоваться только на перемещение всей машины, но в этом случае сами движители – колесо, гусеница, водяной или воздушный винт – становятся, по сути, исполнительными механизмами, так что справедливость утверждения сохраняется).

В связи с вышеперечисленным при создании/совершенствовании подобных подсистем особое внимание должно уделяться

- надёжности и износостойкости – за счёт применения лучших материалов и технологий;
- адаптации к неблагоприятным погодным и другим условиям эксплуатации (на практике это обычно достигается через узкую специализацию устройств для работы на определённом грунте, в определённой климатической зоне и т. д., поскольку стоимость универсальных крайне высока);
- энергоэффективности, максимально возможному КПД преобразования энергии источника в необходимую (как правило – механическую) для исполнительных органов;
- экологической чистоте и совместимости – как с окружающей средой в целом, так и в отношении человека, в частности – персонала, эксплуатирующего данную машину;
- производительности и качеству исполнения механизмом своей основной функции: ведь при снижении этих показателей страдает и экономика, и экология, тратится лишняя энергия и рабочее время, неэффективно изнашивается оборудование, ухудшаются потребительские характеристики создаваемой продукции.

Выполнение изложенных пунктов накладывает определённые требования на все остальные части машины.

Устройство управления. При управлении автоматическом, кибернетическом в его устройство входят все цифровые схемы для хранения и обработки информации. При дистанционном – реализуется, системы связи [16]. Кибернетическое и дистанционное управление в наше время может быть только электрическим, а непосредственное ручное на простой, но мощной технике – также механическим, гидравлическим или пневматическим. При ручном, непосредственном, в него можно включить также различные подсистемы, обеспечивающие определённый комфорт, удобство и безопасность работы человека. В любом случае, в отличие от рассмотренных выше частей машины/комплекса, для управляющих систем большое значение приобретает эргономический аспект: удобство самих органов управления – непосредственного, дистанционного и даже интерфейса программирования робота. Оно напрямую влияет на производительность работ, их качество и безопасность – как сиюминутную, так и перспективную, постепенное ухудшение здоровья при длительных неблагоприятных условиях труда [17-18].

Внешняя среда. При выборе электрического привода сельскохозяйственной машины необходимо учитывать условия внешней среды. Условия работы электродвигателей в сельском хозяйстве

отличаются большим разнообразием. Механизмы могут располагаться в помещениях для разведения скота, переработки и хранения зерновых культур, овощей, в складах удобрений, на открытом воздухе и т.д. В каждом отдельном случае факторы внешней среды, воздействующие на электропривод, отличаются.

Для микроклимата животноводческих помещений характерна высокая влажность и содержание химически активных веществ, в первую очередь, аммиака, что оказывает отрицательное воздействие на материалах электродвигателя. Высокая влажность способствует ускоренной коррозии металлов.

Другая категория сельскохозяйственных помещений - помещения для хранения и переработки, к которым можно отнести зернохранилища, зернотока, сушилки технических культур, кормоприготовительные цеха, мельницы, пункты обработки молока и т.д. Для данной категории помещений характерна высокая степень запыленности воздуха. Пыль, смешиваясь с техническим маслом, представляет особую опасность для электродвигателей, ухудшая их охлаждение и снижая электрическую прочность изоляции.

При работе сельскохозяйственных машин на открытой территории существует вероятность воздействия на них атмосферных осадков, большого перепада температур, пыли.

Таким образом, факторы внешней среды оказывают значительное влияние на электрический привод сельскохозяйственных машин. Для повышения устойчивости механизмов к вредным воздействиям используются различные способы защиты двигателей.

В первую очередь, характер окружающей среды оказывает влияние на выбор исполнения электрического двигателя. Существуют четыре климатических района и пять категорий размещения [19]. Каждому климатическому району соответствуют свои диапазоны рабочих и предельных температур, при которых электродвигатель сельскохозяйственной машины может работать, а также различные факторы окружающей среды, воздействующие на двигатель.

Таблица 1 – Характеристика климатических районов

Климат	Температура, °С			
	Рабочие		Предельные	
	Верхние	Нижние	Верхние	Нижние
Умеренный	40	-40	45	-50
Холодный	60	-60	45	-60
Тропический влажный	45	1	50	-10
Тропический сухой	45	-10	55	-20

Выбор типа электродвигателя необходимо производить в соответствии с категорией размещения и климатическим районом, в котором предполагается работы сельскохозяйственной машины.

Таблица 2 – Категории размещения электродвигателей

Категория 1	Изделия, предназначенные для эксплуатации под открытым небом
Категория 2	Изделия, предназначенные для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе
Категория 3	Изделия, предназначенные для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственного регулирования условий
Категория 4	Изделия, предназначенные для работы в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями
Категория 5	Изделия, предназначенные для работы в помещениях с повышенной влажностью

К техническим факторам, воздействующим на электропривод сельскохозяйственной машины, относятся механические воздействия со стороны окружающих объектов. Это загрязненность воздуха, механические колебания, удары.

Двигатель - устройство для преобразования изначальной энергии источника в механическую, используемую практически в любой сельскохозяйственной машине/комплексе. В данном пункте речь о главном приводе, центральной силовой установке, не о дополнительных электродвигателях, управляющих, климатических и других вспомогательных систем.

В соответствии с типом источника энергии главным образом применяются двигатели внутреннего сгорания – карбюраторные, инжекторные и дизели (компрессионные), либо электрические. Использующие химическое топливо экономят вес машины: и более энергоёмкий, как уже отмечалось, источник, и сам двигатель изготавливается в основном из алюминиевых и других лёгких сплавов [12, 13]. Но такие устройства усложняют дистанционное или автоматическое управление: требуется преобразование электрических сигналов автоматики и телемеханики во вращательное или даже поступательное движение различных клапанов и заслонок, а затем противоположное действие для создания обратной связи – получения вновь электрических сигналов от датчиков положения регулирующих элементов или режима двигателя (например, оборотов) с целью контроля и коррекции управляющего воздействия. Кроме того, ДВС характеризуются относительно высоким уровнем шума и непременным выбросом в окружающую среду (соответственно типу топлива) в большей или меньшей степени токсичных продуктов сгорания. Баки с жидкими углеводородными соединениями представляют определённую пожаро- и взрывоопасность, а также не позволяют в движущихся машинах точно измерять уровень оставшегося топлива или масла.

Электродвигатели свободны от подобных недостатков и, несмотря на меньшую удельную мощность относительно веса и габаритов, получают всё большее распространение – благодаря тотальной электрификации (появлению электросетей уже и вдали от населённых пунктов), а также созданию (и неуклонному удешевлению) высокоэффективных, ёмких и долговечных литий-ионных аккумуляторов, допускающих ускоренный режим заряда [20, 21]. Такие двигатели чрезвычайно удобны в управлении, легко согласуются с современной электроникой, экологически чисты и, по

сравнению с двигателями внутреннего сгорания, практически не требуют обслуживания и ремонтов [22].

Вывод. Применение системного анализа и теории сложных систем к объектам агропромышленного комплекса и технологическим процессам в частности позволяет сформировать концепцию развития всей сельскохозяйственной отрасли, выявить проблемы и недостатки существующих технических решений. В свою очередь, определение направлений модернизации и совершенствования электротехнических аппаратов невозможно без рассмотрения всей системы. Применение системного анализа при исследовании электроприводов сельскохозяйственной отрасли позволяет получить полное представление и информацию о возможных вариантах технических решений, определить степень их влияния на другие элементы, а также эффективность функционирования всей системы.

Список используемой литературы

1. Бир Стаффорд. Кибернетика и управление производством. М.: Наука, 1965.
2. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем: пер. с англ. М.: Едиториал УРСС, 2004.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990.
4. Акофф Р. Планирование в больших экономических системах. М.: Советское радио, 1972.
5. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
6. Эшби Р. Введение в кибернетику. М.: КомКнига, 2005.
7. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. М.: Сов. Радио, 1975.
8. Блауберг И.В. Проблема целостности и системный подход. М.: Эдиториал УРСС, 1997.
9. Думлер С.А. Управление производством и кибернетика. М.: Машиностроение, 1969.
10. Думлер С.А. Автоматизированные системы управления промышленным предприятием. М.: Экономика, 1966.
11. Тихомиров В.А., Пушина А.В. Процессная модель формирования агрегированных требований к сложным информационным системам // Программные продукты и системы. 2010. № 2. С. 10.
12. Теплотехника / под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
13. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV. Двигатели внутреннего сгорания / под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013.
14. Еремочкин С.Ю, Дорохов Д.В., Жуков А.А. Разработка и исследование энергоэффективного электропривода для сельскохозяйственных машин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 2(100). С. 129-134.
15. Масенко А.В, Сбитнева Н.И. Особенности потерь электроэнергии в сельской электросети 0, 4 кВ // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12-1(78). С. 111-116.
16. Еремочкин С. Ю, Дорохов Д.В., Жуков А.А. Разработка и исследование имитационной модели асинхронного электропривода с однофазным частотным регулятором скорости // Вестник НГИЭИ. 2021. № 11(126). С. 38-50.
17. Мелентьев А.В., Серебряков П.В., Жеглова А.В. Влияние шума и вибрации на нервную регуляцию сердца // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 9. С. 19-23.
18. Чубирко М.И., Попов В.И., Фертикова Т.Е. Влияние производственных факторов риска на здоровье работников шинного завода // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 7. С. 5-9.
19. ГОСТ 15150-69. Машины, прибор и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Стандартиформ, 2010.

20. Филатова А.С. Использование литий-ионных аккумуляторов в системах электрического освещения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 12. С. 47-49.

21. Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4(36). С. 45-53.

References

1. Bir Stafford. Kibernetika i upravlenie proizvodstvom. M.: Nauka, 1965.
2. Kalman R., Falb P., Arbib M. Ocherki po matematicheskoy teorii sistem: per. s angl. M.: Yeditorial URSS, 2004.
3. Klir Dzh. Sistemologiya. Avtomatizatsiya resheniya sistemnykh zadach. M.: Radio i svyaz, 1990.
4. Akoff R. Planirovanie v bolshikh ekonomicheskikh sistemakh. M.: Sovetskoe radio, 1972.
5. Khaken G. Sinergetika. M.: Mir, 1980.
6. Eshbi R. Vvedenie v kibernetiku. M.: KomKniga, 2005.
7. Tsvirkun A.D. Struktura slozhnykh sistem. M.: Sov. Radio, 1975.
8. Blauberger I.V. Problema tselostnosti i sistemnyy podkhod. M.: Editorial URSS, 1997.
9. Dumler S.A. Upravlenie proizvodstvom i kibernetika. M.: Mashinostroenie, 1969.
10. Dumler S.A. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya promyshlennym predpriyatiem. M.: Ekonomika, 1966.
11. Tikhomirov V.A., Pushina A.V. Protsessnaya model formirovaniya agregirovannykh trebovaniy k slozhnym informatsionnym sistemam // Programmnye produkty i sistemy. 2010. № 2. S. 10.
12. Teplotekhnika / pod red. A.M. Arkharova, V.N. Afanaseva. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011.
13. Mashinostroenie. Entsiklopediya. T. IV. Dvigateli vnutrennego sgoraniya / pod red. A.A. Aleksandrova, N.A. Ivashchenko. M.: Mashinostroenie, 2013.
14. Yeremochkin S.Yu, Dorokhov D.V., Zhukov A.A. Razrabotka i issledovanie energoeffektivnogo elektroprivoda dlya selskokhozyaystvennykh mashin // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 2(100). S. 129-134.
15. Masenko A.V, Sbitneva N.I. Osobennosti poter elektroenergii v selskoy elektroseti 0, 4 kV // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2018. № 12-1(78). S. 111-116.
16. Yeremochkin S. Yu, Dorokhov D.V., Zhukov A.A. Razrabotka i issledovanie imitatsionnoy modeli asinkhronnogo elektroprivoda s odnofaznym chastotnym regulyatorom skorosti // Vestnik NGIEI. 2021. № 11(126). S. 38-50.
17. Melentev A.V., Serebryakov P.V., Zheglova A.V. Vliyanie shuma i vibratsii na nervnuyu regulyatsiyu serdtsa // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2018. № 9. S. 19-23.
18. Chubirko M.I., Popov V.I., Fertikova T.Ye. Vliyanie proizvodstvennykh faktorov riska na zdorove rabotnikov shinnogo zavoda // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2016. № 7. S. 5-9.
19. GOST 15150-69. Mashiny, pribor i drugie tekhnicheskie izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rayonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshney sredy. M.: Standartinform, 2010.
20. Filatova A.S. Ispolzovanie lityi-ionnykh akkumulyatorov v sistemakh elektricheskogo osveshcheniya // Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2018. № 12. S. 47-49.
21. Fatykhov R.R., Khantimerov S.M., Suleymanov N.M. Perspektivy primeneniya lityi-ionnykh akkumulyatorov v kachestve rezervnykh istochnikov pitaniya na elektricheskikh stantsiyakh // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. 2017. № 4(36). S. 45-53.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА В ИЗГОТОВЛЕНИИ ГИПСОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Щепочкина Ю.А., ФГБОУ ВО «Верхневолжский ГАУ»

Для регулирования сроков схватывания низкомарочного нормально твердеющего гипсового вяжущего предложено использовать крахмал, поскольку он обладает зернистой структурой и, благодаря разветвленному строению полимерных молекул, набухает в воде с образованием коллоидного раствора. Резкого, скачкообразного снижения водогипсового отношения в процессе схватывания гипсового вяжущего быть не должно, поэтому наиболее приемлемым видом крахмала будет крахмал с наименьшей сорбцией, то есть картофельный. Показано, что сроки схватывания гипсового теста сокращаются при увеличении содержания в нем картофельного крахмала. Вода проникает в макромолекулы крахмала, разрушает водородные связи и увеличивает объем зерен крахмала. Таким образом, часть воды затворения гипсового теста расходуется на взаимодействие с зёрнами крахмала. При этом уменьшается водогипсовое отношение, ускоряется гидратация вяжущего. За счет уменьшения количества воды, набухания зерен картофельного крахмала, структура схватывающегося гипсового теста уплотняется, в ней образуется меньше пор, повышается прочность гипсовых изделий. Отмечена перспективность исследования других видов крахмалов в сочетании с разнообразными гипсовыми и гипсоцементно-пеллолановыми вяжущими.

Ключевые слова: картофельный крахмал, гипсовое вяжущее, вода, сроки схватывания, прочность

Для цитирования: Щепочкина Ю.А. Применение картофельного крахмала в изготовлении гипсовых строительных изделий // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2024. № 2 (47). С. 89-92.

Введение. В растениях под влиянием ферментов большие количества молекул глюкозы, теряя молекулу воды и уплотняясь, образуют важнейший полисахарид – крахмал, относящийся к числу наиболее распространенных в растительном мире веществ. Например, в зернах пшеницы, ржи, кукурузы, риса содержится до 65-82 % крахмала, в клубнях картофеля – до 25 %. По данным ассоциации «Союзкрахмал» объемы производимых в Российской Федерации натуральных крахмалов в январе-октябре 2022 г. достигли 311,7 тыс.т.

Выпускаемый промышленностью крахмал находит широкое применение не только как пищевое вещество, но и как сырье для технических нужд. Уникальные свойства крахмала указывают на возможность его применения в производстве строительных материалов и изделий, в частности, гипсовых. Известно, что работа с гипсовыми вяжущими в большинстве случаев требует регулирования их сроков схватывания, что достигается использованием специальных добавок – замедлителей твердения или, наоборот, добавок – возбудителей твердения. В качестве замедлителей твердения традиционно употребляют, например, органические и неорганические кислоты, соли фосфорной, борной, лимонной, виннокаменной и других кислот, органические коллоиды, продукты гидролиза биополимеров; в качестве возбудителей твердения – фториды щелочных металлов, лигносульфонаты, а также высокодисперсный двугидрат, кристаллы которого являются центрами кристаллизации [1, с. 48]. На свойства гипсового камня значительно влияет количество воды затворения. Избыточное количество воды приводит к образованию пор в изделии, а следовательно, к снижению его прочности. Для уменьшения пористости гипсового камня, регулирования сроков

схватывания гипсового вяжущего, вполне подходящей добавкой был бы крахмал, поскольку он обладает зернистой структурой и, благодаря разветвленному строению полимерных молекул, набухает в воде с образованием коллоидного раствора. Величина сорбции воды крахмалом уменьшается в зависимости от вида крахмала в следующем порядке: рисовый, кукурузный, пшеничный, картофельный [2, с. 10]. Резкого, скачкообразного снижения водогипсового отношения в процессе схватывания гипсового вяжущего быть не должно, поэтому, на наш взгляд, наиболее приемлемым видом крахмала будет крахмал с наименьшей сорбцией, то есть картофельный.

Целью данной работы являлось изучение возможности применения картофельного крахмала в качестве добавки, регулирующей сроки схватывания низкомарочного гипсового вяжущего.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено с применением подхода, при котором технология получения изделий, учитывающая сроки схватывания гипсового вяжущего с добавлением картофельного крахмала, и изменение основного свойства – прочности представлены в виде взаимосвязанных систем.

Для приготовления гипсового теста использовали низкомарочное нормально твердеющее гипсовое вяжущее Г-2 и крахмал картофельный.

Гипсовое вяжущее представляет собой порошок белого цвета с плотностью 2600-2700 кг/м³ и насыпной плотностью 800-1000 кг/м³. Для получения пластичного гипсового теста требуется 50-60 % воды от массы порошка (для гидратации – 20 %) [3, с. 211].

Картофельный крахмал представляет собой белый сыпучий порошок, состоящий из мельчайших зерен размером от 15 до 100 мкм. Зерна имеют круглую или овальную форму. Насыпная плотность крахмала влажностью 20 % составляет 650 кг/м³ [2, с. 8; 4, с. 17, 20].

Результаты исследования и их обсуждения. Картофельный крахмал предварительно смешивали с гипсовым вяжущим, после чего сухую смесь всыпали в воду для затворения и перемешивали. Сроки схватывания полученного гипсового теста определяли с помощью прибора Вика с иглой, таблица 1. Для определения влияния добавки крахмала на прочность гипсового камня из полученного гипсового теста изготавливали стандартные образцы-балочки размером 40×40×160 мм, которые испытывали через 2 ч после изготовления. Результаты испытаний образцов-балочек также приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сроки схватывания гипсового теста и прочность камня

№ п/п	Компоненты, г			Время (мин.:с)		Прочность, МПа	
	Гипс	Картофельный крахмал	Вода	начала схватывания	конца схватывания	при изгибе	при сжатии
1	300	-	165	10:00	16:00	1,1	1,96
2	298,5	1,5	165	4:30	7:00	1,13	2,04
3	297,0	3	165	4:20	6:10	1,2	2,82
4	295,5	4,5	165	3:50	5:00	1,2	3,02
5	294	6	165	3:00	4:30	1,25	3,08

Примечание: температура воды 20 °С.

Как видно из таблицы 1, сроки схватывания гипсового теста сокращаются при увеличении содержания в нем картофельного крахмала. При контакте с водой крахмал связывает ее, набухая при этом [2, с. 10]. Цельные крахмальные зерна не растворимы в воде затворения. Вода проникает

в макромолекулы крахмала, разрушает водородные связи и увеличивает объем зерен крахмала. Таким образом, часть воды затворения гипсового теста расходуется на взаимодействие с зернами крахмала. При этом уменьшается водогипсовое отношение, ускоряется гидратация вяжущего. За счет уменьшения количества воды, набухания зерен крахмала, структура схватывающегося гипсового теста уплотняется, в ней образуется меньше пор, а следовательно, повышается прочность гипсовых изделий.

Затвердевание гипсового теста и набор прочности гипсового камня, по-видимому, можно объяснить срастанием образующихся из пересыщенного раствора мельчайших слаборастворимых кристаллических частиц двугидрата гипса. Пересыщение раствора будет поддерживаться все время, пока протекает реакция гидратации гипса. При этом частицы картофельного крахмала, интенсивно поглощая воду, будут способствовать пересыщению раствора, сокращению сроков схватывания гипсового теста. Увеличение прочности гипсового камня закончится несколько раньше, чем наступит полный переход полуводного гипса в двуводный. Кристаллизация двугидрата гипса и гидратация полуводного гипса закончатся почти одновременно, при этом прочность гипсового камня должна быть наибольшей. В процессе высыхания гипсового камня возможно некоторое повышение его прочности за счет уже не процессов гидратации, а испарения воды с выделением из водного раствора двуводного гипса, который будет способствовать упрочнению контактов между сросшимися кристаллами.

Как показывает практика, для внутренних отделочных работ особенно востребованными оказались листовые и плитные гипсовые изделия, используемые для облицовки кирпичных и бетонных стен, монтажа перегородок, а также штукатурка. Известно, что гипс обладает свойством распределять воду, забирая избыточную влагу, тем самым создавая в помещении благоприятный микроклимат [5, с. 18.]. Присутствие в составе гипсовых изделий картофельного крахмала также будет способствовать снижению влажности в помещениях, поскольку при комнатной температуре зерна крахмала поглощают из воздуха 10,3 % воды (при относительной влажности воздуха 75 %) и 20,9 % воды (при относительной влажности воздуха 100 %) [4, с. 21].

Полученные результаты применения картофельного крахмала в качестве добавки для низкомарочного гипсового вяжущего, способствующей сокращению его сроков схватывания и повышению прочности, указывают на перспективы исследования других видов крахмалов в сочетании с разнообразными гипсовыми и гипсоцементно-пуццолановыми вяжущими.

Список используемой литературы

1. Пашенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. Киев: Вища шк., 1985.
2. Справочник по крахмало-паточному производству / Под ред. Е.А. Штырковой, М.Г. Губина. М.: Пищевая промышленность, 1978.
3. Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Строительные материалы и изделия. Минск: Технопринт, 2004.
4. Трегубов Н.Н., Жарова Е.Я., Жушман А.И., Сидорова Е.К. Технология крахмала и крахмалопродуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.
5. Завражин Н.Н., Северинова Г.В., Громов Ю.Е. Производство отделочных работ в строительстве: (Зарубежный опыт). М.: Стройиздат, 1987.

**References**

1. Pashchenko A.A., Serbin V.P., Starchevskaya Ye.A. Vyazhushchie materialy. Kiev: Vishcha shk., 1985.
2. Spravochnik po krakhmalo-patochnomu proizvodstvu / Pod red. Ye.A. Shtyrkovoy, M.G. Gubina. M.: Pishchevaya promyshlennost, 1978.
3. Yukhnevskiy P.I., Shirokiy G.T. Stroitelnye materialy i izdeliya. Minsk: Tekhnoprint, 2004.
4. Tregubov N.N., Zharova Ye.Ya., Zhushman A.I., Sidorova Ye.K. Tekhnologiya krakhmala i krakhma-loproduktov. – M.: Legkaya i pishhevaya promyshlennost, 1981.
5. Zavrazhin N.N., Severinova G.V., Gromov Yu.Ye. Proizvodstvo otdelochnykh работ v stroitelstve: (Zarubezhnyy opyt). M.: Stroyizdat, 1987.