

УДК 631

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ, КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ  
АГРАРНЫХ БИОМАШСИСТЕМ**  
AGRICULTURAL PLANTS AS A COMPOSITE PART OF AGRARIAN  
BIOMASTIC SYSTEMS

**Черноиванов В.И.**, академик РАН  
Chernoivanov V.I., Academician of RAS  
**ФГБНУ ГОСНИТИ, Россия**  
GOSNITI, Russia  
E-mail: [vichernoivanov@mail.ru](mailto:vichernoivanov@mail.ru)

**Толоконников Г.К.**, кандидат физико-математических наук  
Tolokonnikov G.K., Candidate of physico-mathematical sciences  
**ФГБНУ ВИЭСХ, Россия**  
All Russian Institute of Electrification of Agriculture, Russia  
E-mail: [admicit@mail.ru](mailto:admicit@mail.ru)

**АННОТАЦИЯ**

В теории биомашсистем и ее приложениях используется триада «человек-машина-живое», как далеко идущее обобщение традиционных эргатических систем «человек-машина-животное». Под «живым» в триаде понимаются самые разнообразные биологические объекты, в том числе растения, рассматриваемые как часть аграрных биомашсистем. Работа посвящена исследованию аграрных растениеводческих биомашсистем. Рассмотрение растениеводства с точки зрения биомашсистем вскрывает значительные пока неиспользуемые резервы для повышения производительности труда, объемов и качества продукции растениеводства. Рассматривается универсальный биореактор культивирования стволовых клеток растений и животных как полноценная биомашсистема.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Эргатические системы, биомашсистемы, растениеводство, стволовые клетки растений, искусственный интеллект, система управления, системообразующий фактор, растениеводческие биомаштехнологии.

Производство сельхозпродукции, как правило, структурировано с точки зрения триады «человек-машина-живое». В животноводстве традиционно рассматривают, так называемые, эргатические системы «человек-машина-животное» [1]. В развиваемом нами направлении теории биомашсистем и ее приложений [2,3] естественное место имеется для сельскохозяйственных растений и процессов растениеводства. Понятие биомашсистем опирается на указанную триаду «человек-машина-живое», однако акценты рассмотрения переведены на взаимосвязи составляющих триады, подобно тому, как в математике уже более полувека плодотворной парадигмой является категорный подход, когда не сами объекты, пространства, группы и т.п., а взаимосвязи между ними поставлены во главу угла исследований.

Рассмотрение растениеводства с точки зрения биомашсистем вскрывает значительные пока неиспользуемые резервы для повышения производительности труда, объемов и качества продукции растениеводства.

Биомашсистемы – новое направление, поэтому остановимся на раскрытии этого понятия. В первую очередь надо указать на то, что теория биомашсистем является новым направлением в общей теории систем. Общее описание понятия системы мало пригодно для практических задач. Важнейший принцип, превращающий понятие системы в орудие исследования, был введен академиком Петром Константиновичем Анохиным – это наличие для того, что мы хотим называть системой,

**системообразующего фактора**, чаще всего сводящегося к наличию цели, для которой существует система [4]. Системообразующий фактор выстраивает элементы системы определенным образом (адекватным для достижения системой поставленной перед ней цели), превращая, тем самым, разрозненные элементы, собственно, в систему.

В описание понятия системы включают некоторые свойства, помимо целостности, например, иерархичность (некоторые элементы системы сами являются системами, а исходная система может быть элементом другой более обширной системы).

Понятие биомашсистемы возникло из упомянутых выше традиционных эргатических систем «человек-машина-животное», обобщенных в 2013 году до триад с обратной связью «человек-машина-живое» [5]. В печати понятие биомашсистемы впервые появилось в статье Черноиванова В.И., Гулюкина М.И. и Толоконникова Г.К. в Вестнике ВНИИМЖ в 2015 году [6].

Биомашсистема состоит из взаимодействующих между собой для достижения определённых целей человека (коллектива, групп людей и т.п.), машины (комплексов машин и механизмов, компьютеров и т.п.) и живого (животных, растений, живых биомасс микроорганизмов и пр.).

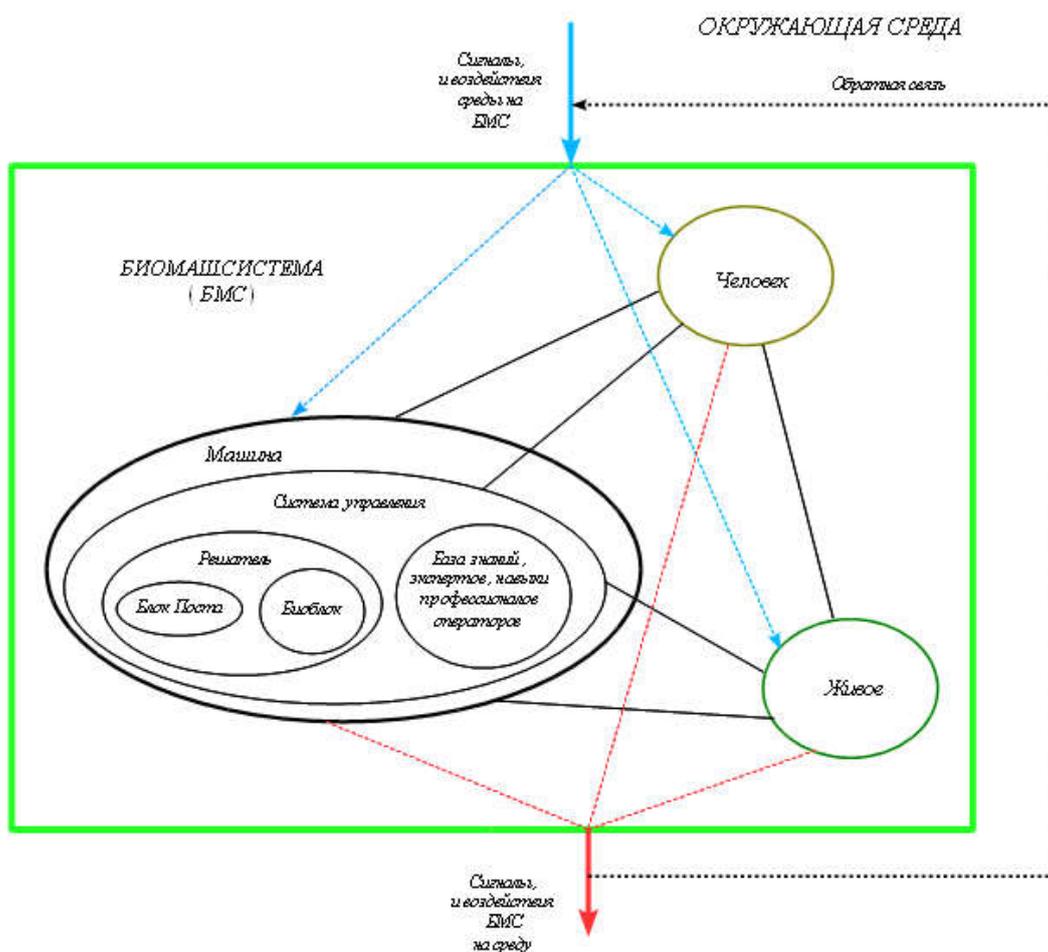


Рисунок 1 – Биомашсистема и ее компоненты

Каждая из трех указанных частей в процессе функционирования (достижения целей) формирует воздействия в сторону других частей и получает воздействия от других частей, при этом изменяется под указанными воздействиями со стороны других частей. Изменения удовлетворяют целевым ограничениям (изменения приближают достижение целей) и учитывают взаимодействие биомашсистемы с окружающей

средой. Человек, как часть биомашсистемы, получает сам и через сенсоры и датчики машины сигналы от живого о его состоянии и проблемах, изменяет свое поведение по отношению к машине, создает управляющие воздействия на машину для удовлетворения проблем живого, машина, получая с датчиков сигналы от живого, перестраивается, в том числе, самостоятельно, не дожидаясь управляющих воздействий человека, живое, получая воздействие от машины изменяет свое поведение. Все изменения организуются для достижения целей биомашсистемы.

Ключевым характеризующим биомашсистему элементом является наличие в ней в той или иной степени автономной интеллектуальной системы управления (см. схему). Указанная система управления реализуется на основе, как традиционных подходов искусственного интеллекта, так и на основе новых предлагаемых в теории биомашсистем методов.

Основная задача ИИ сводится к проблеме поиска удовлетворяющего тем или иным требованиям вывода – последовательности переходов между состояниями системы из исходного состояния к целевому состоянию. К сожалению, как задача описания пространства состояний системы, так и задача поиска выводов весьма далека от решения в традиционном ИИ, в результате имеющиеся интеллектуальные системы управления весьма неавтономны, а роботы и другие машины, в которых предпринята попытка их работы без человека, как правило, остаются дистанционно управляемыми.

Автономность означает способность системы управления машины вырабатывать новые алгоритмы поведения в ситуациях, для которых заложенных в память алгоритмов поведения (или некоторых их классов) недостаточно. Имеющиеся традиционные подходы в ИИ дополнены в теории биомашсистем методами, сводящимися к включению в систему управления, так называемых, блока Поста и/или биоблока.

Помимо задачи автономности в теории биомашсистем решается задача переноса в систему управления знаний и профессиональных навыков человека-оператора, управляющего машиной, а также знаний экспертов.

Одним из ключевых моментов биомашсистемы является взаимодействие живого с машиной и человеком, как элементами триады «человек-машина-живое». В традиционных подходах этот вопрос в отношении животных, не говоря уже о растениях, даже и не ставился: машины и технологии ориентируются на некое среднестатистическое животное или усредненное по параметрам растение, как в доильных аппаратах, других животноводческих агрегатах, так и в комбайнах, в агрегатах обработки семян и других растениеводческих машинах. В растениеводческих биомашсистемах в режиме реального времени машина подстраивается к состоянию растения. Здесь делается попытка не просто учесть внешний вид отдельных растений в процессе работы машины с ними, но и получить информацию о реальном состоянии растений, его потребностях (в питании, защите от болезней и вредителей и т.п.), учесть эту информацию в настройках машины и ее воздействиях на растения.

В настоящем докладе мы предлагаем следующее в развитие идеи включения профессиональных знаний и навыков операторов в систему управления машиной. Важнейшей особенностью биомашсистем является взаимодействие машины и человека. Это взаимодействие предлагается понимать более широко, чем обсуждалось нами ранее. Именно, важно учитывать тот интеллект, который внесён в машину при её конструировании и вносится при дальнейшем поддержании и модернизации машины в процессе ее эксплуатации. Это взаимодействие следует рассматривать не само по себе, а в контексте парадигмы биомашсистем, с учетом взаимодействия всех трех составляющих триады «человек-машина-живое». Таким образом, требуется изменить взаимодействие человека и машины, начиная с момента проектирования машины и далее ее изготовления и сопровождения, внося требования, налагаемые разрабатываемым подходом биомашсистем.

Опишем кратко идеи, на которых реализуется блок Поста. Математик Эмиль Пост в 1943 году напечатал статью, в которой доказал, в частности, теорему об

универсальном исчислении. Исчисления включают, как частный случай алгоритмы. Теорема утверждает, что существует универсальное исчисление, которое порождает все другие исчисления. Подобные исчисления построены явно самим Постом, а позднее С.Ю.Масловым, академиком Ю.В.Матиясевицем и другими математиками.

Теоретически, таким образом, для придания автономности возможно включить в решатель системы управления блок – блок Поста, – который бы при необходимости вырабатывал (на основании теоремы) подходящий новый алгоритм поведения для робота или машины, позволяя выйти из нештатной или затруднительной ситуации. Практическая реализация этой идеи упирается в трудности, связанные с указанной выше проблематикой основной задачи ИИ. В теории биомашсистем для создания блока Поста применяются новые исчисления гиперграфовых математических конструкций, разрабатываемых одним из авторов. Одна из идей состоит в расширении известного подхода Дж.Маккарти в теории исчислений, в том числе, ситуационных исчислений, в ИИ, в отказе от ограничения использовать только классическую (или временную и/или некоторые другие из используемого в ИИ ограниченного списка логик) логику, применив аналог теоремы Поста для выбора подходящей для задачи оптимальной логики. Значительные возможности здесь открываются также, если применить общие исчисления гиперграфовых математических конструкций.

Перейдем к описанию понятия биоблока. Живые организмы в отличие от современных роботов демонстрируют практически непрерывное автономное поведение, прекрасно решают задачу поиска новых алгоритмов поведения, необходимых для выхода из сложившихся затруднительных ситуаций. Это демонстрируют не только млекопитающие, но и обычные одноклеточные животные (бактерии и т.п.). У млекопитающих и человека выработка новых алгоритмов происходит в неокортексе, тонкой в 2 мм толщиной нейрональной пленке, покрывающей почти на 100% кору головного мозга.

Идея создания биоблока, вырабатывающего для машины новые алгоритмы поведения, состоит в конструкции биоблока, содержащей живые участки неокортекса, в которых сохранена лишь функция выработки новых алгоритмов.

Из всего многообразия функций, которые выполняет неокортекс для организма для наших целей создания автономной системы управления необходима, таким образом, лишь одна, способность выработки новых алгоритмов. Живой мозг сформировавшегося животного слишком сложен, чтобы указанную функцию выделить. Уже имеющийся в Лаборатории стволовой клетки ВИЭВ [7], а также в работах других специалистов [8] опыт культивирования живых нейронов из стволовых клеток пока приводит лишь к совокупностям нейронов и участкам неокортекса, которые не функциональны. В проводимых работах по культивированию из стволовых клеток участков неокортекса по крайней мере с одной указанной функцией порождения новых алгоритмов оказывается полезной построенная одним из авторов (Г.К.Толоконников) модель неокортекса, опирающаяся на свойства гиперграфовых математических конструкций (см. [3] и там же ссылки на литературу).

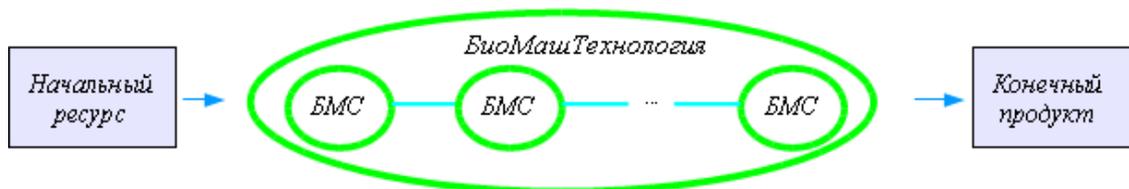


Рисунок 2 – Биомаштехнология и ее компоненты

В теории биомашсистем выделяется отдельный тип биомашсистем, для которых целевой системообразующий фактор играет приоритетную роль. Такие биомашсистемы называются **биомаштехнологиями**.

Подобными биомашсистемами являются технологические комплексы, рассматриваемые в первую очередь с точки зрения системного подхода.

Технологическая цепочка и каждый её элемент подчинены основной цели получения продукта. Рассмотрение известных технологических процессов, целых производств от поступления сырья и оборудования до выпуска готовой продукции, как биомаштехнологий, является прорывным подходом, позволяющим резко увеличить за счет внедрения принципов биомашсистем выпуск продукции.

Нетрудно усмотреть, что весь технологический процесс производства зерна, другой сельскохозяйственной растениеводческой продукции моделируется указанной схемой биомаштехнологии.

Последние десятилетия в биологии животных и растений, включая аграрную науку, получило приоритетное развитие направление, связанное со стволовыми клетками, при этом стволовые клетки растений занимают здесь значительное место. Исследования в этом направлении играют важнейшую роль в новых разделах медицины, ветеринарии, защиты растений.

Одной из практических задач здесь является создание подходящего биореактора для культивирования стволовых клеток с управляемым процессом их пролиферации и дифференцировки. Существует целая индустрия производства различного типа биореакторов для растений, грибов, бактерий и других клеточных структур. Однако, специализированных и универсальных в своем классе биореакторов для стволовых клеток не имеется. В 2013 году нашей группой сотрудников из ГОСНИТИ, ВНИИМЖ (Отдел биотехнологий) и ВИЭВ (Лаборатория стволовой клетки), начаты работы по созданию подобного универсального биореактора, который может быть использован при соответствующей модернизации для стволовых клеток растений. Сейчас важно подчеркнуть, что разрабатываемый биореактор представляет собой полноценную биомашсистему с блоками управления пролиферацией стволовых клеток. Можно поставить задачу создания на основе предлагаемых идей специализированного биореактора для стволовых клеток растений, здесь мы надеемся на сотрудничество с ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский Институт фитопатологии», организатором конференции.

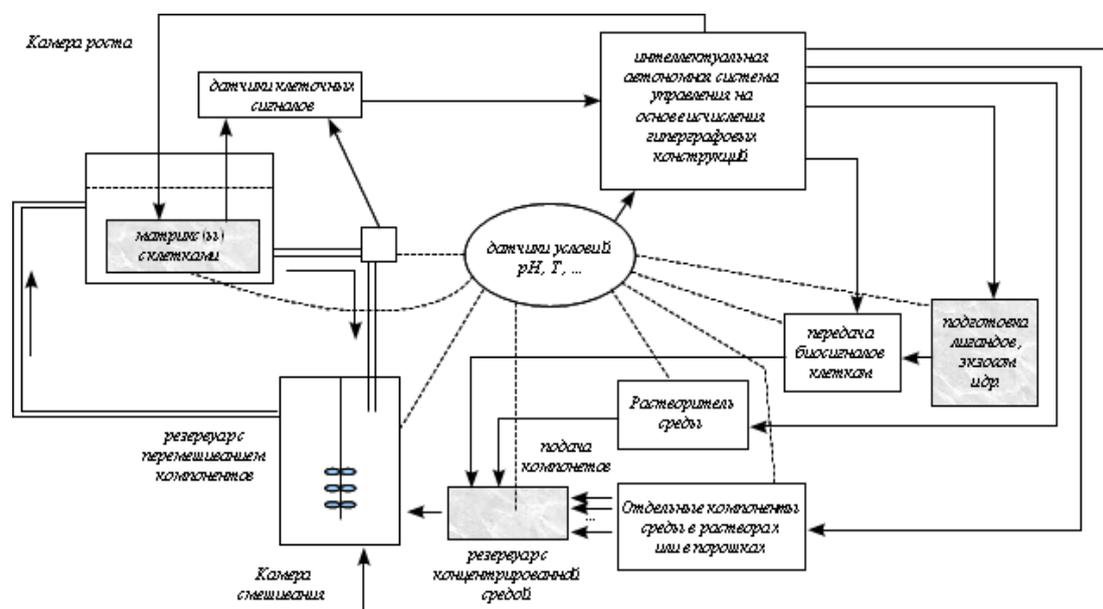


Рисунок 3 – Принципиальная схема биореактора, как биомашсистемы

Приведём принципиальную схему разрабатываемого биореактора, из которой видна роль автономной системы управления и ясны основные детали работы биореактора, как полноценной биомашсистемы.

Блок управления биореактором представляет собой интеллектуальную автономную систему управления на основе исчисления гиперграфовых математических конструкций. Стрелками условно отмечены управляющие сигналы, которые этот блок направляет в отдельные узлы биореактора. Информацию о состоянии отдельных частей биореактора, культуральной среды собирается в информационном блоке, указанном овалом в центре схемы биореактора. Клеточные сигналы поступают в блок управления двумя путями, непосредственно из камеры роста, где в культуральной среде находятся клетки, и с биохимического датчика, анализирующего проходящую среду, частично отработанную в камере роста, биохимический датчик-анализатор отмечен квадратом рядом с овалом информационного блока.

Среда медленно циркулирует, при этом не только снимаются показания датчика-анализатора, но и происходит добавление порций среды, в обычном режиме объем среды за цикл нарастает в два-три раза. Этим достигается уменьшение концентрации токсических продуктов метаболизма клеток, а также добавление питательных веществ в среду, которые потребляются клетками.

Как видно из схемы, подготовка культуральной среды отделена от камеры роста, клетки не испытывают механических воздействий турбулентных потоков перемешивания, возможных в отдельной камере. Важнейшей частью биореактора является набор блоков подготовки среды. В резервуар с концентрированной средой попадают, растворитель среды, отдельные компоненты культуральной среды, в частности, те которые потребляются клетками в камере роста в процессе своего метаболизма.

В заключение подчеркнем, что развитие теории биомашсистем и ее приложений в АПК требует интенсивной работы многих специалистов различного профиля, в том числе специалистов и ученых растениеводческих направлений. Поэтому возможное сотрудничество нашей группы ученых и специалистов с ФГБНУ ВНИИФ, другими специалистами растениеводческой отрасли, несомненно, принесет полезные результаты.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Карташов Л.П. Соловьев С.А., «Повышение надежности системы «человек-машина-животное»», Екатеринбург: УрО РАН, 2000, 275 с.
2. Черноиванов В.И., Савченкова И.П., Толоконников Г.К. Парадигма биомашсистем. Вестник ВНИИМЖ, №2(22), 2016г., стр.56-61.
3. «Биомашсистемы. Теория и приложения. Том 1», М., 2016, 223 стр.
4. Анохин П.К., Системный анализ интегративной деятельности нейрона, Успехи физиол.наук, 1974, т.5, №2, с.5-92.
5. Черноиванов В.И., «Ресурсосбережение и машины с элементами человеческого интеллекта - ответ на кризисные вызовы современности и будущего», Прикладная математика, квантовая теория и программирование, 2013г., т.10, №3, стр.9-19.
6. Черноиванов В.И., Гулюкин М.И., Толоконников Г.К., «Бионический подход к решению проблемы автономности систем управления животноводческих производств», Вестник ВНИИМЖ, №3(17), 2015г., стр.76-91.
7. Савченкова И.П., Гулюкин М.И., «Современные методологические подходы для получения нейрональных клеток *in vitro*», Прикладная математика, квантовая теория и программирование, том 12, выпуск 3, июнь, 2015г.
8. Анохин К.В., Бурцев М.С., Ильин В.А., Киселев И.И., Кукин К.А., Лахман К.В., Параскевов А.В., Рыбка Р.Б., Сбоев Ф.Г., Твердохлебов Н.В. «Современные подходы к моделированию активности культур нейронов *in vitro*», Математическая биология и биоинформатика, 2012, т.7, №2, стр.372-397.