

В.А. Панфилов, академик РАН

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
РФ, 127550, г. Москва, ул. Тимирязева, 49
E-mail: vap@rgau-msha.ru

УДК.631.1.

DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/4-8

ВЕКТОР НАУЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ АПК БУДУЩЕГО

Статья посвящена некоторым аспектам создания технологий будущего АПК России. В центре внимания находится синергетический подход к разработке сложных самоорганизующихся технологических систем производства продуктов питания. Круг обсуждаемых вопросов включает: условия инновационного технологического прорыва в будущее АПК, диалектическую модель развития технологий, перспективу новой индустриализации агропромышленного комплекса, возможный экономический эффект от создания сквозных аграрно-пищевых технологий, особенности перехода от Четвертого к Пятому технологическому укладу в АПК России. Особое внимание уделено диалектическому методу развития технологий, что усложняет их структуру с одновременным упрощением процессов функционирования. Теория самоорганизации, или синергетика (от греческого «совместное действие») начинает формировать стратегию переднего края науки, это – основа создания технологий будущего. Термин «синергетика» имеет два смысла: первый показывает как у системы (целого) возникают новые свойства, характеристики, стратегии, которыми не обладают ее элементы (части); второй – это междисциплинарный подход к решению проблемы, который требует совместных усилий ученых – естественников, гуманитариев, математиков, инженеров, управленцев. Решение многих проблем требует не столько системного анализа, сколько системного синтеза, что должно выразиться в создании сквозных, взаимно адаптируемых производящих и перерабатывающих, технологий АПК. Именно синергетика позволяет осмыслить, описать, разработать соответствующие модели процессов самоорганизации в нелинейных средах. В статье использованы разработки известных ученых в области философии науки и техники: Р.Ф. Абдеева, А.Н. Аверьянова, Р.Г. Баранцева, И.В. Блауберга, Н. Винера, Е.Н. Князевой, С.П. Курдюмова, Г.Г. Малинецкого, И.Р. Пригожина, Г. Хакена, К. Шеннона.

Ключевые слова: инновационный технологический прорыв, наукоемкие технологии, самоорганизация систем, синергетика, диалектическая модель, прогнозирование, новая индустриализация, технологические уклады АПК России.

V.A. Panfilov, Academician of RAS

K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University – MTA
RF, 127550, g. Moskva, ul. Timiryazeva, 49
E-mail: vap@rgau-msha.ru

VECTOR OF SCIENTIFIC FINDINGS IN THE TECHNOLOGIES CREATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX FUTURE

The article is devoted to some aspects of creating technologies for the future agricultural sector of Russia. The focus is on a synergistic approach to the development of complex self-organizing technological systems for food production. The range of issues discussed includes: conditions for an innovative technological breakthrough into the future of the agro-industrial complex, a dialectic model of technological development, the prospect of a new industrialization of the agro-industrial complex, the possible economic effect of creating end-to-end agri-food technologies, and the particularities of the transition from the Fourth to the Fifth technological structure in the Russian agro-industrial complex. Particular attention is paid to the dialectical method of technology development, which complicates their structure while simplifying the functioning processes. The theory of self-organization or synergetics (from the Greek “joint action”) begins to form a strategy for the front line of science, this is the basis for creating future technologies. The term “synergetics” has two meanings: the first shows how a system (whole) has new properties, characteristics, strategies that its elements (parts) do not possess; the second is an interdisciplinary approach to solving the problem, which requires the joint efforts of scientists - natural scientists, humanities, mathematicians, engineers, and managers. The solution to many problems requires not so much a system analysis as a system synthesis, which should be reflected in the creation of end-to-end, mutually adaptable manufacturing and processing technologies of the agricultural sector. And it is precisely synergetics allows us to comprehend, describe, develop appropriate models of self-organization processes in non-linear media. The article is uses the development of famous scientists in the field of philosophy of science and technology: R.F. Abdeeva, A.N. Averyanova, R.G. Barantseva, I.V. Blauberg, N. Wiener, E.N. Knyazeva, S.P. Kurdyumova, G.G. Malinetsko, I.R. Prigogine, G. Haken, C. Shannon.

Key words: innovative technological breakthrough, high technology, self-organization systems, synergetics, dialectical model, forecasting, new industrialization, technological structures of the Russian agricultural sector.

Инновационные способы достижения целей опираются на процессы познания, коммуникации, обработки информации, опережающее образование специалистов, системный подход, синергетику, компьютерные технологии, математическое моделирование элементов системы «человек-машина» и другие. [8, 11]

Некоторые черты технологического прорыва в будущее АПК:

междисциплинарность – взаимодействие идей, подходов, готовых разработок из различных достаточно далеких областей знаний;

фундаментальность образования – специалист находит и принимает ответственные решения в условиях неопределенности при создании сложных самоорганизующихся систем процессов, когда единственной надежной опорой могут быть научные знания в виде вскрытых явлений и установленных закономерностей технологических процессов; ориентация на возможности и потребности человека в реализации новых технологических укладов.

Известны наукоемкие технологии в АПК, которые вышли на уровень прикладной науки, то есть

важнейшие научные разработки сделаны и решения найдены. [9, 10]

Будущее технологий АПК во многом определяется тем, насколько эффективно в них происходит самоорганизация с участием человека как результат положительного взаимодействия процессов, составляющих ту или иную технологию или взаимодействия принципиально различных (производящих и перерабатывающих) или сквозных аграрно-пищевых технологий. [5] В этом случае самоорганизация требует тесного взаимодействия большого количества специалистов, обладающих различными знаниями, профессиональной подготовкой. Поэтому целесообразно, чтобы ведущую роль в процессах самоорганизации технологий АПК при освоении возможностей нового технологического уклада играло государство.

Теория самоорганизации, или синергетика (от греческого «совместное действие») начинает формировать стратегию переднего края науки, это – основа создания технологий будущего. Термин «синергетика» имеет два смысла: первый показывает как у системы (целого) возникают новые свойства, характеристики, стратегии, которыми не обладают ее элементы (части); второй – это междисциплинарный подход к решению проблемы, который требует совместных усилий ученых – естественников, гуманитариев, математиков, инженеров, управленцев. [4]

Цель работы – обозначить основы фундаментальных научных исследований в отраслях АПК для создания промышленного производства сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения и его промышленной переработки в продукты питания.

Диалектическая модель развития технологий АПК

Разработка инновационного сценария развития АПК России до конца XXI века – насущная проблема. Необходимо прогнозировать и планировать социально-экономическое развитие аграрного комплекса хотя бы с лагом 40-50 лет. В этой работе придется иметь дело со статистическими закономерностями разнообразных процессов, поскольку причинно-следственные связи в сложных технологических нелинейных системах становятся стохастическими. Решение многих проблем требует не столько системного анализа, сколько системного синтеза, что должно выразиться в создании сквозных, взаимно адаптируемых производящих и перерабатывающих, технологий АПК. И именно синергетика позволяет осмыслить, описать, разработать соответствующие модели процессов самоорганизации в нелинейных средах. Иными словами, необходимо не только создание и совершенствование отдельных элементов системы (процессы в машинах, аппаратах, биореакторах), но и создание той целостности (инновационная технология), в которой они будут взаимодействовать и порождать синергетический эффект. [7]

Именно в таких технологиях реализуются диалектические методы развития природы: усложнение структуры и упрощение функционирования объектов, в том числе антропогенных. В этом случае спираль развития носит сходящийся восходящий характер с нелинейной огибающей. [1]

Закономерности развития технологических систем не лежат на поверхности. Технологические потоки необходимо исследовать как открытые системы, находящиеся во взаимодействии с внешней средой. Без такого исследования можно ошибочно

представлять процесс развития лишь как следствие разрешения внутренних противоречий данной технологии (например, производительность – качество). На самом же деле процесс самоорганизации системы «человек-машина» идет под воздействием внешней среды, происходит адаптация системы и, как следствие, возрастает уровень ее организации. Здесь возникает ряд вопросов. Состоит ли развитие технологии из одних лишь «скачков» или же из одних эволюционных подвижек? Или может быть и из «скачков», и из подвижек, и в каком соотношении они находятся? Возможно ли измерить уровень организации системы и как оперировать этой величиной?

Известно, что развитие системы любой природы обусловлено стремлением повысить точность, устойчивость, управляемость и надежность процессов как составляющих качества системы. Процессы самоорганизации технологических систем также носят сходящийся характер, так как при уже существующей структуре возрастание уровня организации имеет свой предел (область насыщения), определяемый возможностями накопления информации в данной структуре. Поэтому для процессов развития характерно стремление к негэнтропийной устойчивости.

В современной науке понятия информации и информационной энтропии стали основополагающими для теории развития. Информационная энтропия (H) воспринимается как мера дезорганизации систем любой природы. Эта количественная мера качественного состояния системы занимает интервал от наивысшего уровня организации (H = 0, бит) до полной неопределенности (H = 1, бит) для бинарных систем (технологии АПК).

Информация и информационная энтропия связаны соотношением:

$$j + H = 1,$$

где j – информация как мера упорядоченности; H – информационная энтропия как мера беспорядка (хаос).

Информационная энтропия определяется как

$$H = - \sum P(x_i) \log P(x_i),$$

где P(x_i) – вероятность попадания случайной величины в интервал (x_{i-1}; x_i).

Для случая с двумя возможными исходами эта формула примет вид:

$$H = - P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P),$$

где P – вероятность выхода годной продукции; (1 - P) – вероятность выхода дефектной продукции;

Так рассчитывается состояние бинарных систем, имеющих на выходе только годную и дефектную продукцию. Максимальная энтропия будет равна:

$$H_{\max} = - 0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5, \\ H_{\max} = 1, \text{ бит.}$$

Стабильность функционирования отдельной подсистемы определяется следующим образом:

$$\eta_i = 1 - H_i / H_{\max},$$

где H_i – текущая энтропия состояния подсистемы.

А уровень целостности (θ) технологической системы, состоящей из L подсистем, рассчитывается по формуле:

$$\theta = \sum_1^L \eta_i - (L - 1).$$

Процесс развития, начинающийся с максимальной информационной энтропии, может быть описан накоплением информации, исчисляемой как разность между максимальным и текущим значениями информационной энтропии. Следовательно, механизм развития технологии целесообразно рассматривать в координатах: упорядоченное усложнение (количество подсистем – L) и информационная энтропия – H_i (стабильность – η_i) с возможностью отчета уровня организации (уровень целостности – θ) на всех этапах развития системы процессов. Усложнение технологической системы происходит во времени и их векторы совпадают. Поэтому ординату L следует рассматривать и как временную ось развития системы. Модель развития (продольный разрез спирали развития), показана на рисунке.

Количественный информационный критерий (θ) адекватно описывает качественные процессы перехода от простой структуры технологии к более сложной и от плохо организованной системы процессов (суммативные системы) к хорошо организованной (целостные системы). Если развитие идет вследствие усложнения технологии, необходимо повысить стабильность функционирования всех ее частей. Если же развитие есть результат упрощения технологии, то возможно снизить требования к стабильности ее подсистем.

Огибающие кривые спиралей развития технологий – это уровни целостности систем, которые при $\theta = +1$ перерождаются в прямую, совпадающую с осью ординат. Заштрихованную область модели можно назвать областью целостных высокоорганизованных систем (при данных допусках на параме-

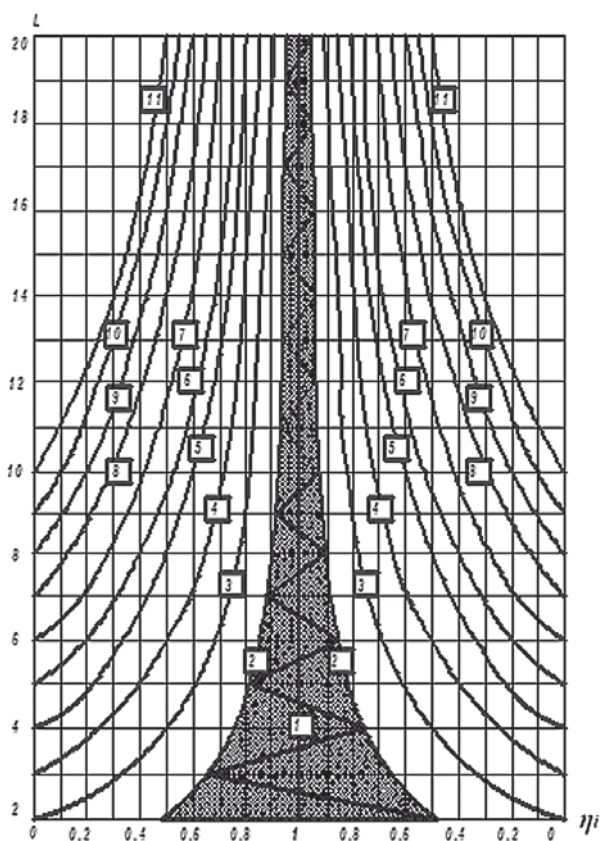
тры выхода подсистем и за данный период диагностики системы); их целостность находится в диапазоне от $\theta = 0$ до $\theta = +1$. Именно эта область модели имеет технико-технологические предпосылки для разработки и создания безлюдных технологических потоков. Остальное поле – область суммативных систем. Огибающую $\theta = 0$ можно считать границей между этими классами систем.

Таким образом, диалектическая модель развития технологии получает свою систему координат, трехмерное пространство (сходящаяся спираль развития), в котором информационная энтропия убывает, а стабильность функционирования возрастает от периферии к центру (ось модели), что означает процесс роста уровня организации технологии. При анализе этой модели возникает вопрос, с какими системами и каким уровнем их организации мы имеем дело, направления развития этих систем.

Как система процессов каждая технология имеет свою диалектику эволюционных и революционных этапов преобразования. Процессы самоорганизации не только удерживают систему на огибающей (саморегулирование), но и перемещают ее (саморазвитие) на другие огибающие ближе к ординате, повышая уровень целостности. Диалектическая модель отображает зависимость характера «скачков» от уровня организации системы. Она показывает целенаправленность процесса развития, его нелинейность, стремление системы к устойчивости и надежности функционирования. Сходящаяся спираль адекватна диалектике процесса развития по мере упорядоченного усложнения технологии: начальный скачок от состояния максимальной информационной энтропии или минимальной стабильности при полностью «ручной технологии» и последующие скачки, уменьшающие эту энтропию по мере механизации и автоматизации отдельных процессов и технологий в целом. Динамика роста организации технологической системы показывает исключительную роль в развитии машинных технологий такого важнейшего системообразующего фактора, как стабильность выходов процессов в машинах, аппаратах и биореакторах. В этом случае следует говорить не только о стабилизации процессов путем задействования обратных связей, но и о снижении чувствительности самих механизмов явлений в биологических, механических, гидромеханических, теплообменных и биотехнологических процессах. Именно последнее обуславливает разработку эффективных и простых средств автоматизации. Поэтому вертикальную ось модели следует рассматривать как ось прогресса, когда усложнение технологии ведет к росту стабильности ее процессов.

Огибающая спирали развития, близкая к экспоненте, свидетельствует о том, что вследствие высокой информатизации процессов дальнейшее развитие технологии приводит к оптимизации ее управления. При этом ослабляется характер скачкообразных переходов и усиливается эволюционный характер развития системы. Последнее проявляется в том, что огибающая стремится к вертикальной оси модели. С информационной точки зрения преобразование характера скачков из революционных в эволюционные можно объяснить достижением такого уровня организации технологии, при котором доля устраняемых возмущений существенно уменьшается.

Следовательно, можно всегда иметь технологическую систему постоянно эволюционирующую путем подсоединения новых подсистем, напри-



Модель развития технологической системы (спираль развития) при различных уровнях организации (целостность):

- 1 – (+1,0); 2 – (0,0); 3 – (-1,0); 4 – (-2,0);
- 5 – (-3,0); 6 – (-4,0); 7 – (-5,0); 8 – (-6,0);
- 9 – (-7,0); 10 – (-8,0); 11 – (-9,0)

мер при создании аграрно-пищевой технологии. То есть по мере возрастания уровня организации (целостность) развивающейся системы процесс развития становится все более эффективным, экономичным и эволюционным. Развитие не связывается только с революционными скачками и неизменным их чередованием. Очень часто объекты технологии и техники, пройдя скачкообразный переходный процесс самоорганизации, десятки лет функционируют с небольшими эволюционными изменениями. Такой аспект развития объекта (момент «сохранения» положительного) полностью соответствует диалектическим представлениям о процессе развития.

Сходящаяся спираль, синтезируя наиболее существенные закономерности процесса развития, отображает единство скачкообразного и экспоненциального: скачкообразность представлена технической стороной развития (модернизация рабочих органов машин, рабочих поверхностей аппаратов, рабочих объемов биореакторов), а экспоненциальный характер - технологической стороной развития (упорядоченное усложнение структуры).

Путь в Шестой технологический уклад

Синергетический эффект при создании технологий будущего должен выразиться в естественном уходе от экспорта сельскохозяйственного сырья. Увеличение целевого показателя можно достичь, только сделав упор на экспорт продукции, имеющей большую добавленную стоимость, в том числе продукции животноводства и готовых пищевых продуктов. Россия импортирует продукцию высокого «предела» на 10 млрд долл. США, а экспортирует в три раза меньше.

Поэтому наука и инженерия должны все больше приобретать конструктивный, проектный характер. Исследователю необходимо очень точно определять цель поиска и дальнюю перспективу использования нового знания. При этом проектный характер исследования должен выражаться в применении таких «абстрактных» областей научной деятельности как философия науки и техники, прикладная математика, системология, кибернетика, синергетика.

Главное направление начинающейся научно-технической и социально-технической революции, то есть новой индустриализации в АПК, расширение физических, интеллектуальных, когнитивных, коммуникационных возможностей человека.

В настоящее время становление Пятого технологического уклада (1985–2035) в АПК сдерживается дефицитом производственных ресурсов, связанных с воспроизводством устаревших элементов Третьего (1880–1940) и Четвертого (1930–1990) укладов. Технологическая многоукладная экономика замедляет развитие АПК и ведет к значительному запаздыванию перехода к технологиям Пятого технологического уклада. [2] А в развитых странах мира начинают складываться контуры Шестого технологического уклада, период которого ориентировочно 2025–2080 годы. Этот уклад будет характеризоваться применением наукоемких технологий, в частности био- и нанотехнологий, геной инженерии, мембранных и квантовых технологий, микромеханики, робототехники, новым природопользованием. Его ключевыми факторами останутся информатика, микроэлектроника, на базе которых будет формироваться система искусственного интеллекта. Эти технологии совместно с традиционными и в пере-

плетении с ними создадут новые возможности для АПК и существенно повлияют на материальный и другие параметры качества жизни людей. В АПК России Шестой технологический уклад — это, в частности, выход к мобильным мостовым системам (передвижной сельскохозяйственный завод) в растениеводстве и к фермам — заводам в животноводстве. Промышленное производство сельскохозяйственной продукции даст возможность получать ее в очень узком диапазоне технологических свойств, необходимых для организации систем автоматических процессов в технологиях переработки, в том числе на роторных линиях. [6]

Таким образом возникают условия для создания сложных самоорганизующихся систем процессов (например, системных комплексов «Аграрно-пищевая технология»), в которых тесно взаимодействуют сельскохозяйственные технологии и технологии переработки сельскохозяйственной продукции, соединенные электронной сетью на основе Интернета, осуществляется контроль качества продукции на всех этапах преобразования сырья. При этом следует подчеркнуть одну характерную особенность в развитии любых технологий. От уклада к укладу возрастает их структурная сложность в целом с одновременным повышением точности, устойчивости, надежности и управляемости ведущих процессов, что обеспечивает функциональную простоту конкретной технологии. Научная и инженерная деятельность в АПК необходима уже в русле Шестого технологического уклада. В этой работе на первый план выходят фундаментальные исследования в области сельского хозяйства и перерабатывающих технологий, что должно обеспечить самоорганизацию системы (с участием человека) по всей технологической цепочке производства продуктов питания за счет высокого качества связей разнородных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа над созданием наукоемких технологий АПК позволит не только войти в Шестой технологический уклад, но и обеспечить продовольственную безопасность страны в количественном и качественном отношении. Однако такие технологии рассчитаны на реализацию в крупных сельскохозяйственных и перерабатывающих производствах — перспективные индустриальные технологии во всех отраслях АПК.

Сквозная индустриальная технология начинает обладать свойствами, которыми ранее, до объединения, не характеризовались отдельно ни сельскохозяйственные, ни перерабатывающие, ни пищевые технологии.

Если в 30-е годы XX века основой индустриальной эпохи, в том числе и в АПК, была стандартизация и массовое производство одинаковой продукции, то в постиндустриальный период появилась возможность сделать технологии, в том числе и продуктов питания, более гибкими, учитывая интересы потребителя. Вот почему в АПК одной из важнейших стала технология системной интеграции, то есть «сборка» анатомических частей сельскохозяйственной продукции, изначально полученных путем ее «разборки». При этом вполне вероятно удастся создавать элементы Пятого технологического уклада, «не выращивая» их из элементов Четвертого (что было бы естественно и очевидно), а опираясь на элементы Шестого. [3] Это означает, что просматривается перспектива

