



УДК 631. 17: 631. 333

РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ

Н.Н. НАЗАРОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
В.М. ЛИВШИЦ, доктор технических наук, главный научный сотрудник,
О.В. ИВАКИН, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

*Сибирский научно-исследовательский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск
e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru*

Рассмотрены результаты теоретических исследований по представлению технологии возделывания зерновых культур в виде сложной технологической системы, функционирующей в соответствующей почвенно-климатической зоне. Показаны основные этапы ее развития в зависимости от реализации в ней технологий различной степени интенсификации. Используя закономерности развития технических систем и учитывая, что законы их развития имеют комплексную структуру, технологическая система возделывания зерновых представлена в виде S-образной идеализированной кривой. Последовательное развертывание технологической системы реализуется с использованием дополнительных ресурсов в соответствующих переходных этапах своего развития. Условием возникновения данной технологической системы является наличие ресурсных факторов для нормального роста и развития как вегетирующих растений, так и биологического сообщества. В первую очередь, это интенсивность света (активность солнечной энергии), обеспеченность растений фосфорным питанием и содержание в почве азота. Для выхода технологической системы на последующие этапы развития количество планируемых для использования в ней энергетических ресурсов должно быть равным или большим, чем имеющихся в предшествующей существующей технологии. Изображение всего жизненного цикла технологической системы возделывания зерновых в соответствии с предлагаемым подходом позволяет принять во внимание наиболее вероятные сценарии и последовательность их проявления в развитии подобного рода систем.

Ключевые слова: технологическая система, ресурсный фактор, возделывание зерновых, технологии, технологическая система.

В основе методологии современного земледелия лежит комплексный системный подход. При этом значение агроландшафтных систем земледелия в конкретных почвенно-климатических зонах постоянно усиливается, что связано с ростом интенсификации земледелия [1–4]. Агроландшафтные системы в значительной степени изменяют содержание систем земледелия и применяются дифференцированно в зависимости от почвенных, погодных условий и плодородия почвы, а ресурсный фактор почвы приобретает максимальное значение. По-

вышение урожайности зерновых культур связано с формированием ресурсного обеспечения в технологиях их возделывания, в первую очередь с использованием дополнительных источников азотного питания растений. Это вызвано резким сокращением поставок минеральных удобрений (особенно азотных) сельскохозяйственным товаропроизводителям. В России в настоящее время на 1 га пашни вносится около 26 кг по действующему веществу этих удобрений, практически не обеспечивая даже стартовой дозы для вегетирующих растений. Кроме

того, сокращение поголовья крупного рогатого скота привело к снижению объемов внесения органических удобрений. Изображение всего жизненного цикла технологической системы возделывания зерновых в соответствии с предлагаемым подходом позволяет принять во внимание наиболее вероятные сценарии, а также последовательность их проявления в развитии подобного рода систем.

Цель исследования – обосновать значимость ресурсного фактора в развитии технологической системы возделывания зерновых с использованием закономерностей развития технических систем.

При исследовании использовали информационные методы научного анализа, теории систем, структурно-системного анализа технологических систем производства продукции растениеводства, принятия решений, информационные модели систем объектов и др. [5].

Технология возделывания зерновых культур представляется в виде сложной технологической системы, функционирующей в соответствующей почвенно-климатической зоне. Под технологической системой понимается совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [6–8]. В каждой операции, реализуемой в соответствующем технологическом процессе, происходит взаимодействие с предметом труда, главным образом с почвой и семенами зерновых. Именно на эти виды предметов труда нужно оказать необходимое воздействие по их преобразованию для создания благоприятных условий прорастания семян и дальнейшей вегетации зерновых. К регламентированным условиям производства относятся параметры окружающей среды.

Используя закономерности развития технических систем [9–13] и учитывая, что законы их развития имеют комплексную структуру, развитие технологической системы возделывания зерновых представляется в

виде идеализированной S-образной кривой (см. рисунок).

Условием возникновения данной технологической системы является наличие ресурсных факторов для нормального роста и развития как вегетирующих растений, так и биологического сообщества. В первую очередь это интенсивность света (активность солнечной энергии) – I , обеспеченность растений фосфорным питанием – P и содержание в почве азота – N . По данным исследований [14, 15], в случае потенциального ограничения роста тремя указанными факторами математическая модель процесса описывается зависимостью (закон Митчерлиха – закон совокупного действия факторов)

$$\mu = \mu_{\max} \frac{I}{K_I + 1} \frac{P}{K_P + P} \frac{N}{K_N + N}$$

или принципом Либиха [16] (если лимитирующим является один фактор)

$$\mu = \mu_{\max} \min \left\{ \frac{I}{K_I + 1}; \frac{P}{K_P + P}; \frac{N}{K_N + N} \right\},$$

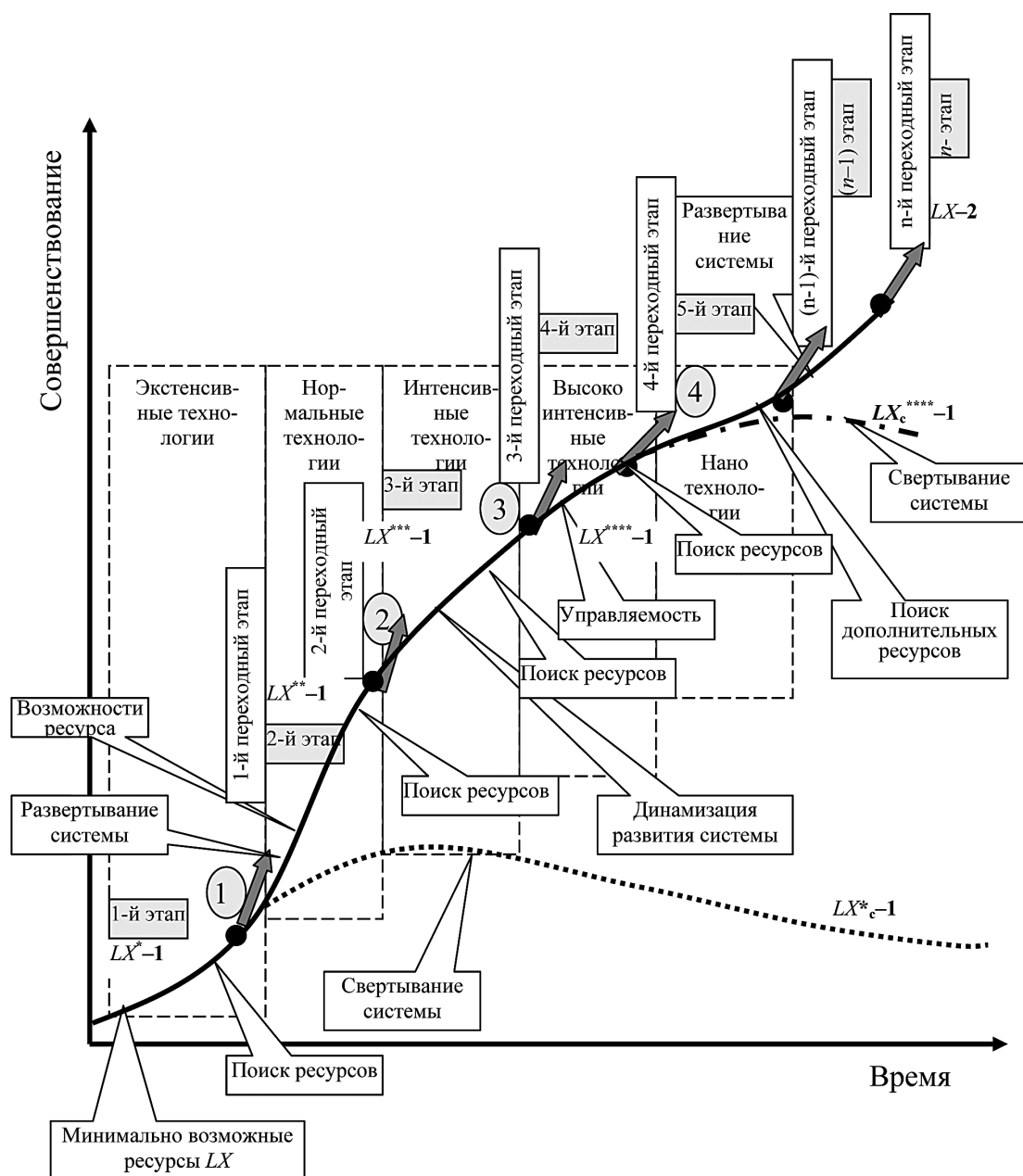
где K с соответствующими индексами – константы полунасыщения.

Построение кривой определяется как зависимость совершенствования от времени, что отражает характер развития технологических систем, стремящихся к увеличению идеальности (или степени совершенствования).

Если эти условия удовлетворяются, то технологическая система возделывания зерновых ($LX-1$) способна выйти на первый этап под маркой “существование”.

Возможны следующие основные пути дальнейшего развития системы.

1. Система практически остается на начальном этапе в виде $LX_c^* - 1$ – системы, в жизненном цикле которой наступает период стагнации, т.е. замедление темпов развития: снижение урожайности зерновых вследствие выноса из почвы элементов питания и невозполнения их в полном объеме, а также отставания в развитии технических средств при полном или частичном отсутствии дополнительных ресурсов для продолжения развития этой системы.



Обобщенная схема развития технологической системы возделывания зерновых культур

В системе реализуются экстенсивные технологии, которые предполагают ориентацию на естественное плодородие почв без применения удобрений и других химических средств или с весьма ограниченным их использованием.

Учитывая, что целью рассматриваемой технологической системы является не ее существование, а активное функционирование, то для выхода на более высокий уровень (2-й этап), который можно охарактеризовать как этап развития, выполнение

подобных условий существования (использование только природного плодородия почв) недостаточно. Для этого требуются возможности (энергетические ресурсы), которые необходимо дополнительно ввести в технологию возделывания зерновых:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}P_{i\text{им}} < \sum_{j=1}^m \mathcal{E}P_{j\text{пл}},$$

где $\mathcal{E}P_{i\text{им}}$ – объем энергетических ресурсов, используемых в существующей технологии; $\mathcal{E}P_{j\text{пл}}$ – объем энергетических ресурсов, пла-

нируемых к использованию в разрабатываемой технологии.

Для выхода технологической системы на 2-й этап развития количество планируемых для использования в ней энергетических ресурсов должно быть большим, чем имеющихся в существующей технологии.

2. Система продолжает развитие при условии, что найдены дополнительные энергетические ресурсы ($\mathcal{E}P_d$) для восполнения в почве питательных веществ, нужных для устойчивого развития вегетирующих растений. В системе реализуются нормальные технологии, рассчитанные на такой уровень использования химических средств, который позволяет осваивать почвозащитные системы земледелия, поддерживать средний уровень окультуренности почв, устранять дефицит элементов минерального питания, находящихся в критическом минимуме, и давать удовлетворительное качество продукции:

$$\mathcal{E}P_d > \mathcal{E}P_{\min},$$

где $\mathcal{E}P_d$ – дополнительные энергетические ресурсы для восполнения в почве питательных веществ; $\mathcal{E}P_{\min}$ – дефицит элементов минерального питания, находящихся в критическом минимуме.

3. Дальнейшее функционирование технологической системы осуществляется в рамках реализации интенсивных технологий, которые используются для получения действительно возможного урожая высокого качества в складывающихся метеорологических условиях соответствующей почвенно-климатической зоны (на заданном поле). Для получения такого урожая предполагается непрерывное управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур, обеспечивающее оптимальное минеральное питание растений и защиту от вредных организмов и полегания. Интенсивные технологии предусматривают использование интенсивных сортов и создание условий для более полной реализации их биологического потенциала.

4. Продолжающееся развитие системы реализуется при использовании высоких технологий (управляемое земледелие), предназначенных для достижения климатически обеспеченной урожайности культуры,

близкой к ее биологическому потенциалу, с заданным качеством продукции. При реализации высокоинтенсивных технологий обеспечивается максимальная интеграция агроприемов и оптимальное использование необходимых ресурсов и техники. Наиболее полное соблюдение всех требований высокоинтенсивных технологий можно обеспечить с помощью информационных методов и прецизионной техники в рамках методологии точного земледелия.

5. Дальнейшее развертывание системы возможно только при нахождении и введении в разрабатываемую технологию дополнительных энергетических ресурсов, не используемых в реализации ранее существовавших подобных структур (возможно использование нанотехнологий). Дополнительным сигналом для перехода системы на более высокий уровень может служить начало отставания в развитии технических средств и их рабочих органов при отсутствии дополнительных ресурсов для продолжения их развития.

В будущем возможны следующие сценарии развития системы:

- технологическая система остается при своей идеальности (развитии) на четвертом этапе;
- продолжает свое существование в виде $LX_c^* - 1$ – системы, в жизненном цикле которой наступает период снижения эффективности;
- переходит на полноценный очередной этап ($LX - n$), если найдены ресурсы новых технологий (или новых технических средств).

ВЫВОДЫ

1. Развитие технологической системы возделывания зерновых можно представить в виде идеализированной S-образной кривой, на которой располагаются этапы технологии возделывания с различной степенью интенсификации.

2. Последовательное развертывание технологической системы реализуется с использованием дополнительных ресурсов в соответствующих переходных этапах своего развития.

3. Изображение всего жизненного цикла технологической системы возделывания зерновых в соответствии с предлагаемым подходом позволяет принять во внимание наиболее вероятные сценарии и последовательность их проявления в развитии подобного рода систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милаев П.П. Система согласованных показателей для оценки эффективности функционирования инженерно-технологических систем производства продукции земледелия // Инженерно-техническое обеспечение технологических процессов в агропромышленном комплексе Сибири: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2007. – С. 150–160.
2. Докин Б.Д., Ёлкин О.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Сибири // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М., 2010. – С. 170–175.
3. Арюпин В.В., Нестяк В.С. Методология разработки энерго- и ресурсосберегающих тепличных комплексов для условий Сибири // Вестн. Красноярского ГАУ. – 2010. – № 4. – С. 109–115.
4. Делягин В.Н., Чиркова И.Г. Оптимизация структуры энергетических потоков в агроэкосистеме // Аграрная наука Сибири – сельскому хозяйству: материалы годич. общ. собр. и науч. сессии. – Новосибирск, 2001. – С. 196–204.
5. Криков А.М., Бердникова Р.Г. Информационные модели системы технической диагностики и обслуживания тракторов // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2011. – № 5–6. – С. 102–108.
6. ГОСТ 27.004–85. Системы технологические. Термины и определения. Введ. 1985-01-31. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 9 с.
7. Докин Б.Д., Иванов Н.М., Ёлкин О.В., Чекусов М.С. Альтернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири // Достижения науки и техники в АПК. – 2015. – № 1. – С. 101–105.
8. Докин Б.Д., Ёлкин О.В. Технологическая и техническая модернизация растениеводства Сибири // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2015. – № 1. – С. 18–22.
9. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – 2-е изд., доп. – Новосибирск: Наука, 1991. – 225 с.
10. Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач) / Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И. Филатов. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 381 с.
11. Захаров А. Универсальная схема эволюции // МА ТРИЗ «Три поколения ТРИЗ», «ТРИЗ-фест-2006»: материалы междунар. конф. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. – С. 259–265.
12. Саламатов Ю. Система развития законов техники // Шанс на приключение: сб. статей / сост. А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1991. – 304 с.
13. Смирнов Е.Е. Новое представление системы ЗРТС. – [Электронный ресурс]: URL: <http://www.metodolog.ru/01121/01121.html>
14. Mitscherlich E.A. Das Gesetz des Minimums und Gesetz des abnehmenden Bodenertrags // Landw. Jahrb. – 1909. – Vol. 38. – 595 s.
15. Митчерлих Э.А. Определение потребности почвы в удобрении. – М.; Л.: Гос. изд-во сель.-хоз. и колх.-кооп. лит-ры, 1931. – 104 с.
16. Libig J. Chemistry in its application to agriculture and physiology. – London: Taylor and Walton, 1840.

REFERENCES

1. Milaev P.P. Sistema soglasovannykh pokazatelei dlya otsenki effektivno-sti funktsionirovaniya inzhenerno-tekhnologicheskikh sistem proizvodstva produktsii zemledeliya // Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie tekhnologicheskikh protsessov v agropromyshlennom komplekse Sibiri: sb. nauch. tr. – Novosibirsk, 2007. – S. 150–160.
2. Dokin B.D., Elkin O.V. Resursosberegayushchie tekhnologii vozdelvaniya zernovykh kul'tur v usloviyakh Sibiri // Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskoe obespechenie proizvodstva zerna: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – M., 2010. – S. 170–175.
3. Aryupin V.V., Nestyak V.S. Metodologiya razrabotki energo- i resursosberegayushchikh teplichnykh kompleksov dlya uslovii Sibiri // Vestn. Krasnoyarskogo GAU. – 2010. – № 4. – S. 109–115.
4. Delyagin V.N., Chirkova I.G. Optimizatsiya struktury energeticheskikh potokov v agroekosisteme // Agrarnaya nauka Sibiri – sel'skomu khozyaistvu: materialy godich. obshch. sobr. i nauch. sessii. – Novosibirsk, 2001. – S. 196–204.

5. **Krikov A.M., Berdnikova R.G.** Informatsionnye modeli sistemy tekhnicheskoi diagnostiki i obsluzhivaniya traktorov // Sib. vestn. s.-kh. nauki. – 2011. – № 5–6. – S. 102–108.
6. **GOST 27.004–85.** Sistemy tekhnologicheskie. Terminy i opredeleniya. Vved. 1985-01-31. – M.: Izd-vo standartov, 1982. – 9 s.
7. **Dokin B.D., Ivanov N.M., Elkin O.V., Chekusov M.S.** Al'ternativnye va-rianty tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva zerna v usloviyakh Sibiri // Dostizheniya nauki i tekhniki v APK. – 2015. – № 1. – S. 101–105.
8. **Dokin B.D., Elkin O.V.** Tekhnologicheskaya i tekhnicheskaya modernizatsiya ras-tenievodstva Sibiri // Ekonomika sel'skokhozyaistvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii. – 2015. – № 1. – S. 18–22.
9. **Al'tshuller G.S.** Naiti ideyu. Vvedenie v teoriyu resheniya izobretatel'skikh zadach. – 2-e izd., dop. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 225 s.
10. **Poisk** novykh idei: ot ozareniya k tekhnologii (teoriya i praktika resheniya izobretatel'skikh zadach) / G.S. Al'tshuller, B.L. Zlotin, A.V. Zusman, V.I. Filatov. – Kishinev: Kartya Moldovenyashke, 1989. – 381 s.
11. **Zakharov A.** Universal'naya skhema evolyutsii // MA TRIZ «Tri pokoleniya TRIZ», «TRIZ-fest-2006»: materialy mezhdunar. konf. – SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2006. – S. 259–265.
12. **Salamatov Yu.** Sistema razvitiya zakonov tekhniki // Shans na prikluyche-nie: sb. statei / sost. A.B. Selyutskii. – Petrozavodsk: Kareliya, 1991. – 304 s.
13. **Smirnov E.E.** Novoe predstavlenie sistemy ZRTS. – [Elektronnyi resurs]: URL: <http://www.metodolog.ru/01121/01121.html>
14. **Mitscherlich E.A.** Das Gesetz des Minimums und Gesetz des abnehmenden Bodenertrags // Landw. Jahrb. – 1909. – Vol. 38. – 595 s.
15. **Mitcherlikh E.A.** Opredelenie potrebnosti pochvy v udobrenii. – M.-L.: Gos. izd-vo sel'.-kh. i kolkh.-koop. lit-ry, 1931. – 104 s.
16. **Libig J.** Chemistry in its application to agriculture and physiology. – London: Taylor and Walton, 1840.

RESOURCES SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR GRAIN CROPS CULTIVATION

N.N. NAZAROV, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher,

V.M. LIVSHITS, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher,

O.V. IVAKIN, Doctor of Science in Engineering, Lead Researcher

Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

Results are considered from theoretical studies on representing a technology for grain crop cultivation in the form of a complex technological system functioning in an appropriate soil-climatic zone. The main stages of its development depending on a technology intensification level are shown. Using the laws of technical systems evolution and taking into account the complex structure of these laws, a technological system for cultivating grain crops is thought of as an S-shaped idealized curve. The sequential deployment of the technological system is realized with the use of additional resources in the corresponding transition stages of its development. The condition for the technological system is availability of resources for the growth and development of both vegetative plants and a biological community. First of all, this is the intensity of light, or solar energy activity, phosphorus nutrition availability for plants, and nitrogen content in soil. The technological system to reach the subsequent stages of its development should have the equal or greater amount of energy resources as compared with the previous technology. Representing the whole life cycle of the technological system for cultivating grain crops in accordance with the approach suggested allows us to take into account the most probable scenarios and the most probable sequence of their manifestations in the development of such systems.

Keywords: technological system, resource factor, grain crops cultivation, technology.

Поступила в редакцию 26.06.2017