

Н. К. Вахонин

Международный университет «МИТСО», Минск, Беларусь, nik.vahonin@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА ИНФОРМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

В статье приведены результаты системного анализа проблемы разработки системы поддержки принятия решений в больших природно-технических стохастических системах на примере информатизации мелиоративной отрасли. Сформулированы альтернативные варианты моделей функционирования системы и их информационного обеспечения. Показано, что выбор их оптимума сам является задачей целеориентированного принятия решений.

Ключевые слова: *системный анализ, предметная область, модель функционирования системы реальный сектор экономики, материальные системы, мелиоративная отрасль, мелиоративный сельскохозяйственный объект, информатизация, система поддержки принятия решений, оптимизация, цели, критерии, экономическая эффективность*

N. K. Vakhonin

International University "MITSO", Minsk, Belarus, nik.vahonin@mail.ru

MODELING AS THE BASIS OF INFORMATIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS OF THE REAL SECTOR OF THE ECONOMY

The article presents the results of a system analysis of the problem of developing a decision support system in large natural-technical stochastic systems using the example of informatization of the reclamation industry. Alternative options for models of system functioning and their information support are formulated. It is shown that the choice of their optimum is itself a task of goal-oriented decision making.

Keywords: *system analysis, subject area, system functioning model, real sector of the economy, material systems, reclamation industry, reclamation agricultural facility, informatization, decision support system, optimization, goals, criteria, economic efficiency*

Разработка систем поддержки принятия решений в передовых странах мира является одним из важнейших направлений практического использования информационных технологий в различных предметных областях, в том числе связанных с водными ресурсами, для обеспечения ускорения социально-экономического развития общества [1].

Для развития этого направления в Беларуси с начала двухтысячных годов реализуются пятилетние государственные программы развития информационных технологий. Отличительной особенностью Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси на 2021–2025 годы» [2], является то, что наряду с быстрым формированием новой, инвестиционно привлекательной отрасли «чисто» информационно-коммуникационных технологий – электронная торговля, мобильные приложения, электронные игры, интернет-технологии передачи информации, выполнение заказов на оказание государственных услуг и т. п., особую актуальность имеет и рассматривается как основа развития экономики страны информатизация материальных технологий и систем всех традиционных отраслей (предметных областей), реального сектора экономики: сельского хозяйства, промышленности, энергетики, транспорта и др.

При этом, под широко используемым на бытовом уровне словосочетанием «цифровизация экономики», следует понимать не перевод на компьютерную основу всей накопленной в отраслях информации на бумажных носителях, а также использующихся докомпьютерных, по неизбежности являющихся предельно упрощенными и, соответственно неточными, методов принятия решений, базирующихся на экспертно-нормативных соображениях (по мнению одного из основоположников искусственного интеллекта, академика Г. С. Поспелова, автоматизация рутины – не прогресс, а регресс).

В условиях конкурентной (рыночной) экономики под информатизацией отраслей следует понимать реинжиниринг технологий принятия решений – создание автоматизированных информационных систем поддержки принятия решения. В любой из отраслей, (подотраслей) хозяйствующих субъектов на всех этапах жизненного цикла должен быть системный анализ для решения общей задачи выбора оптимального варианта всех соответствующих им организационных, технологических, технических, конструктивных составляющих материальных технологий, обеспечивающий получение максимального дохода при минимизации затрат. Т. е. в практике функционирования каждой отрасли стоит задача многокритериальной оптимизации, решение которой может осуществляться только на основе информационных технологий.

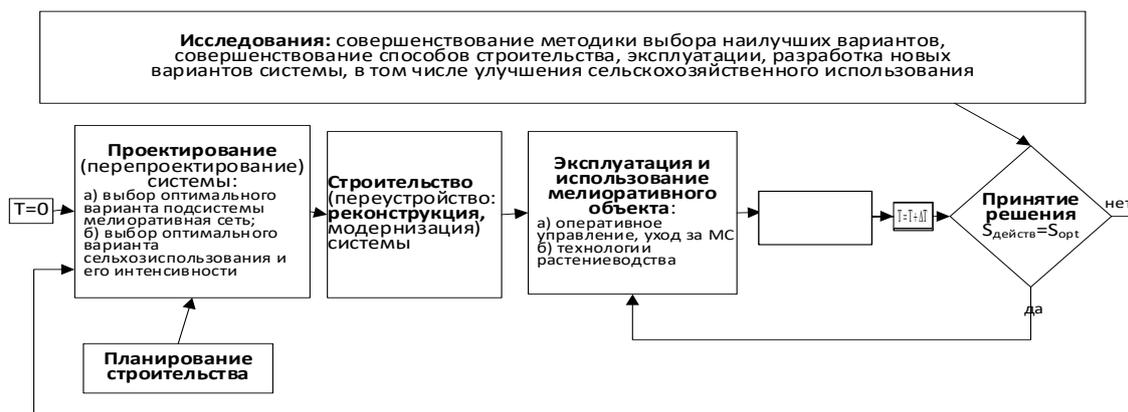
Наиболее актуальна информатизация в отраслях с большими удельными затратами бизнес-процессов получения производимой продукции, что делает проблему повышения их эффективности наиболее острой. В том числе, это относится к сельскохозяйственному растениеводству, имеющему удельные затраты 500-1000 долл. США/га, что связано с большой площадной распределенностью и высокой энергоемкостью обработки почвы, как в технологических операциях выращивания сельскохозяйственных растений, так и при создании систем обеспечения их факторов жизни. В частности, большие удельные затраты (1500–2000 долл. США/га и более) требуются при создании и поддержании в работоспособном состоянии мелиоративных систем, обеспечивающих один из важнейших урожаяобразующих факторов – формирование требуемого сельскохозяйственным растениям благоприятного водного режима, непрерывно на протяжении всего вегетационного периода, в многолетнем разрезе. В сочетании с необходимостью осуществления мелиоративных работ по реконструкции эксплуатации и управлению водным режимом на 2,9 млн га осушенных земель, ежегодно требуются большие объемы капиталовложений и чрезвычайно актуальна проблема их эффективного использования.

В связи со сложностью мелиоративных систем – базовых технологических элементов мелиоративной отрасли – исследования основаны на системной методологии [3], являющейся основой разработки систем поддержки принятия решений в технологических системах со сложными, тесно взаимосвязанными и в результате сложно формализуемыми процессами функционирования различной природы (физическими, химическими, биологическими и т. д.), используемыми при производстве продукции.

Практика мелиорации и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, являющихся одними из наиболее высоко затратных видов хозяйственной деятельности, делает актуальной проблему принятия оптимальных («smart» – т.е. «умных» в переводе с английского) решений, от момента возникновения желания улучшить водный режим земель для выращивания сельхоз растений до момента прекращения их сельскохозяйственного использования (после чего при необходимости может быть осуществлен этап ликвидации мелиоративной системы).

Взаимосвязь этапов жизненного цикла (ЖЦ) системы в этот промежуток времени представлена на рисунке. В соответствии с ней можно утверждать, что в мелиорации имеет место единая проблема принятия решений: выбора оптимальных стратегий и их характеристик из

множества альтернатив, имеющих на каждом из этапов жизненного цикла систем, с учетом их взаимозависимости, при котором поставленные цели достигаются наилучшим образом.



Взаимосвязь этапов жизненного цикла мелиорированного сельскохозяйственного объекта

Центральной проблемой постановки задачи оптимизации в мелиорации является формулирование системы целей, выбор варианта иерархического уровня которых и конкретного их состава должен согласовываться с уровнем общности рассматриваемой системы.

При этом необходимо учитывать, что чем более высокого иерархического уровня цели приняты, тем большего уровня крупности систему требуется анализировать для прослеживания их достижения. Так как в этом случае оптимум ищется на более широком множестве альтернатив, то при условии обеспечения надежности расчетов возрастает эффективность выбранного оптимального варианта. Однако в результате увеличения при этом сложности модели системы, все более затруднительно обеспечение надежности расчетных зависимостей и сбора их информационного обеспечения.

Для обеспечения выбора эффективных решений необходимо использование системы целей экономико-экологического уровня общности: max доходов от системы, min затрат, max охраны природы за весь период существования мелиоративной системы. В такой постановке оптимальным решением является вариант системы, который наилучшим образом удовлетворяет сформулированным целям с учетом всех этапов ее жизненного цикла: исследование – планирование – проектирование – строительство – эксплуатация – управление – контроль мелиоративной системы. [4]

При этом помимо основных затрат на создание мелиоративной системы (первоначальное строительство, реконструкция), должны учитываться затраты на всех остальных этапах жизненного цикла, включая эксплуатацию и управление системой, а также затраты на принятие решений (многовариантное численное моделирование), в том числе на их информационное обеспечение (изыскания, контроль, мониторинг) при планировании и проектировании мероприятий на каждом из этапов.

Необходимость одновременного учета всех сформулированных целей требует осуществления оптимизации в рамках единой системы: мелиорированный сельскохозяйственный объект (МСХО), включающий тесно взаимосвязанные процессами взаимодействия подсистемы мелиоративная сеть, мелиорируемая почва, выращиваемая сельскохозяйственная растительность, изменяемая окружающая среда [4].

В принципе возможны два кардинально различающихся методологических подхода к выбору оптимального варианта МСХО

– эмпирическое сравнение различных альтернативных вариантов систем, создаваемых непосредственно в натуральных условиях, однако для больших пространственно-распределенных систем практически не осуществимое из-за невозможности выбора для них площадей с идентичными характеристиками территории и входных воздействий, а также необходимости больших затрат.

– на основе автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений – численного решения задачи многокритериальной оптимизации МСХО, в общем виде представляемой системой в операторной форме

$$\begin{aligned} & \text{extr} \vec{\Phi}(y, a, u, r) \\ & W \subset R^3 \\ & y(t) = F(z(t_0), N, a, u, \xi_t, t) \\ & f(y, z, a, u, r) \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\vec{\Phi}$ – вектор критериев; $y(t)$ – вектор-функция выходных воздействий системы; t – время; a – альтернативный вариант системы: множество альтернатив ее управляемых характеристик (тип, вид, структура, вектор регулируемых параметров (глубины, ширины, длины, диаметры проводящей и регулирующей сетей, расстояния между их элементами и т.п.)); $u(t)$ – вектор-функция управлений системой; r – вектор ресурсов; f – вектор искусственно устанавливаемых ограничений на параметры и переменные состояния системы; F – оператор функционирования системы, являющийся естественно-физическим ограничением системы; $z(t)$ – вектор-функция переменных состояния системы; N – вектор нерегулируемых параметров системы; ξ_t – вектор-функция случайных входных воздействий; $W \subset R^3$ – область трехмерного пространства, занимаемая системой, с границей, отделяющей МСХО от окружающей среды.

Наиболее важные последствия (затраты, доходы) имеет принятие обоснованных решений при выборе оптимального варианта системы, осуществляемого на этапе ЖЦ проектирование при первоначальном строительстве и на этапе реконструкции (рисунок). В связи с этим наиболее строгие требования к виду и связанной с ним точности и надежности модели принятия решения [1], соответствуют принятию решений на этих этапах ЖЦ.

Различие строительства и реконструкции лишь в том, что при проектировании первоначального строительства среди рассматриваемых альтернативных вариантов исходным является вариант без мелиорации, а при перепроектировании – вариант действующей системы, с параметрами, сложившимися в результате ее износа в процессе долгосрочного функционирования. Помимо этого, в случае проводившегося в процессе эксплуатации контроля МСХО, имеются данные для эмпирической оценки функционирования системы.

Принятие решений может осуществляться, как используя бумажные (ручные) докомпьютерные технологии, так и на основе использования автоматизированных информационных систем (ИС), разрабатываемых на основе системной методологии, базируясь на модели принятия решений [1].

Важность автоматизированных систем для проектирования МСХО определяется возможностью формирования более строгой модели [1] и ее численной реализации, благодаря качественно новому уровню производительности компьютерной техники.

Исходя из вышеизложенного очевидно, что выбор варианта разработки и вида модели принятия решений [1] сам является важнейшим решением, при котором необходимо учитывать затраты на ее реализацию, окупаемость которых должна обеспечиваться за счет возрастания урожайности и снижения затрат на создание материальной системы, в результате

использования более точной модели принятия решений [1]. При этом помимо затрат на создание ИС, должны учитываться и затраты на ее информационное обеспечение.

Оценка эффективности создания автоматизированных систем для других этапов ЖЦ аналогична, но с учетом меньших требований к строгости модели [1], так как наиболее значимые альтернативы мелиоративной системы (физический принцип, тип, вид структура, параметры, управление), выбираются при ее проектировании.

Необходимо отметить, что альтернативы выбора различных компонентов модели принятия решения [1] взаимосвязаны. В основе лежит выбор уровня общности предметной области, которую целесообразно классифицировать по производственно-территориальному принципу, конкретного вида целей $\vec{\Phi}$ и ограничений f , предопределяющих уровень общности системы и процессы, подлежащие изучению для установления фазовых переменных, влияющих на значение функций цели, а соответственно, необходимый состав ξ_t, N, a .

При этом выбор уровня точности, и соответственно сложности, описывающей их взаимосвязь модели [1], лимитируется наличием математического описания процессов функционирования системы, алгоритмов их решения, возможностями их численной реализации (величины памяти и быстродействия ЭВМ), а также затратами на получение ξ_t, N и осуществление расчетов.

В связи с тем, что МСХО является эволюционирующей системой, то и управляемые N , и управляемые параметры, входящие в альтернативы a , изменяются во времени. В связи с изменением надсистемы могут изменяться входные воздействия ξ_t , а также цели Φ , возможные ресурсы r и складывающиеся цены. Развитие науки расширяет множество альтернатив, возможность принятия более общих целей Φ , точность Используемого оператора функционирования МСХО F , задания N (развитие Интернета вещей). В результате этого оптимальный вариант системы со временем изменяется и требуется периодическая проверка его на оптимальность (рисунок), для чего необходимо осуществление контроля МСХО.

Для рассчитанного при проектировании оптимального варианта МСХО известны соответствующие ему параметры, переменные состояния и выходные воздействия. Осуществление на этапе контроля ЖЦ МСХО мониторинга состояния любого из этих показателей может использоваться для сравнительной оценки с текущим состоянием системы и принятия решения о необходимости трансформации мелиоративного сельскохозяйственного объекта (см. рисунок).

Исходя из выше изложенного, можно сделать выводы:

– в общей постановке принятие решений в мелиорации заключается во взаимосвязанном выборе альтернатив на всех этапах жизненного цикла, важнейшие из которых относятся к этапу проектирования – выбора оптимального варианта изменяемых характеристик мелиоративных систем (тип, вид, структура, параметры, управления). На основе решения задачи многокритериальной оптимизации на цели экономико-экологического уровня общности с использованием модели [1] функционирования единой динамико-стохастической системы Мелиоративный сельскохозяйственный объект:

– наряду с многовариантностью выбираемых характеристик мелиоративных систем, альтернативной является и сама модель принятия решений [1], используемая для выбора их оптимальных значений. Точность расчетов при выборе оптимального варианта мелиорации определяется иерархическим уровнем общности целей и критериев, уровнем агрегирования переменных, используемых в модели описания процессов функционирования МСХО (оператор функционирования F), строгостью алгоритмов ее численной реализации, а также точностью задания ее информационного обеспечения. Таким образом, альтернативными являются

и сами должны выбираться компоненты модели принятия решений [1] по оптимизации управляемых параметров МСХО. Их выбор зависит от уровня общности рассматриваемой предметной области (отрасль в целом, мелиорируемый водосбор, отдельный МСХО, дренажно-коллекторная система). При этом цели (критерии оптимальности) выбора альтернатив компонентов модели [1] те же, что и для выбора оптимальных альтернатив МСХО. Таким образом модель принятия решений сама должна быть целеориентированной.

– в связи с изменением МСХО в процессе службы, с целью периодической оценки необходимости трансформации, обоснованного принятия решений при планировании и проектировании мероприятий на всех этапах жизненного цикла (см. рисунок) должен осуществляться контроль характеристик МСХО для формирования информационного обеспечения, адекватного строгости модели [1] (выбор способов и пространственно-временной густоты точек сбора неизменяемых параметров мелиорируемой территории, входных погодно-гидрологических воздействий и т. п. при изысканиях, мониторинге, контроле и организации их автоматизированного хранения и обработки).

– аналогичные автоматизированные информационные системы поддержки принятия решений необходимы и в других отраслях реального сектора экономики со сложными технологическими системами, с учетом особенностей описания их бизнес процессов в модели 1. При этом оценка эффективности ИС должна осуществляться, исходя из условия обеспечения увеличения прибыльности материальной системы, за счет оптимизации принимаемых решений с использованием ИС, с учетом затрат на ее создание и использование.

Список использованных источников

1. *Abbott, M. B.* Promoting distributed social teaming and collaborative decision making through networking. Report Group-Delphi in cyberspace, IHE, Delft, The Netherlands/ M. B. Abbott S. Shipton. – 1997. – 78 p.
3. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь № 66, 02.02.2021 // Национальный центр правовой информации Респ. Беларусь. – Режим доступа: Дата доступа: 27.03.2024.
4. *Моисеев, Н. Н.* Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – Москва : Наука, 1981. – 487 с.
5. *Вахонин, Н. К.* Концептуальные принципы создания единой информационной системы поддержки принятия решений в мелиоративной отрасли / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2013. – № 1 (69). – С. 5 – 19.