

А. В. СПЕСИВЦЕВ, В. В. ЗАХАРОВ, А. И. СЕМЕНОВ, В. А. СПЕСИВЦЕВ
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург
А. И. СУХОПАРОВ

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург

ПРОАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ КОРМОВ ИЗ ТРАВ

В докладе предложен новый подход к решению задач проактивного управления производством кормов из трав. Трудность разрешения данной трудно-формализуемой задачи усугубляется ещё и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура системы управления производством кормов из трав на различных этапах ее жизненного цикла. В работе на этапе формализации содержательной постановки используется логико-динамический подход, который позволяет учесть совокупность различных ограничений.

Введение. В Северо-Западной зоне России доля затрат кормов в себестоимости молока и мяса может составлять до 70 %. При этом на многолетние травы на Северо-Западе России приходится более 9/10 общей площади посевных и сельхоз угодий. В связи с этим производство высококачественных грубых и сочных кормов требует применения большого количества технико-технологических решений с учетом имеющихся ресурсов; складывающихся погодных условий; сбалансированности рациона по питательным веществам. Важно заметить, что в процессе заготовки и хранения кормов теряется более 30% их ценности.

Вместе с тем результаты предыдущих исследований показывают [1, 2], что недостаточная результативность кормопроизводства связана с низким уровнем управления данным сложным процессом. Во многом это определено наличием множества вариантов использования вспомогательных и обеспечивающих агrobiологических и организационно-технических ресурсов.

Тем не менее, последовательная автоматизации, базирующаяся на новейших достижениях, полученных в области умных информационных технологий, киберфизических систем, промышленного Интернета, а также методах проактивного (упреждающего) управления, по нашему мнению, является перспективным направлением улучшения качества и эффективности кормопроизводства

Содержательная постановка задачи проактивного управления кормопроизводством.

Производство кормов из трав представляет собой ряд последовательно выполняемых специальных технологий: от подготовки земельных угодий к посеву многолетних трав до укосов с подготовкой их хранения в виде силоса, сенажа или сена. Все технологические операции разделены во времени на протяжении всего весенне-осеннего сезона сельскохозяйственных работ. Большая протяженность выполнения технологии в целом зависит от почвенно-климатических условий, прогноза погоды, наличия и способов внесения навоза в почву, возможности и проведения ухода за травостоем, наличия и исправности технических средств для выполнения всех видов технологических видов работ и квалификацией механизаторов. При этом одним из самых важных для эффективного управления производством кормов из трав выступает фактор времени – производство работ с нарушением агротехнических требований в жестко отведенные сроки приводит к потере качества готовой продукции.

В свою очередь, распределение технологий, функций, методов, алгоритмов, методик обработки и управления материальными, энергетическими и информационными потоками по элементам и подсистемам системы проактивного управления (СПУ) производства кормов из трав обуславливается специфичностью законов управления на каждом этапе общей технологии кормопроизводства из трав. Постановка и решение таких задач затруднена тем, что на всем цикле производства кормов из трав жизненный цикл каждого из этапов связан с изменением состава и структуры управления. С общенаучной точки зрения данная проблема и определяющие ее задачи характеризуются большой размерностью, нестационарностью, нелинейностью, многокритериальностью и неопределённостью.

В то же время анализ решения реальных задач заготовки кормов из трав показывает, что проактивное управление должно быть направлено на максимальное использование потенциала кормовых угодий, а также минимизацию ресурсных и временных потерь [1, 2]. Это достигается организацией заготовки с гибким маневрированием (синтезом) технологий, равно как и применением ресурсосберегающих и энергосберегающих способов при нанесении минимального вреда окружающей среде.

Формальная постановка задачи проактивного управления производством кормов из трав. В качестве примера рассмотрим основные этапы производства силоса: 1) основная обработка почвы; 2) внедрение органических удобрений; 3) внесение минеральных удобрений; 4) подготовка семян к посеву; 5) предпосевная подготовка почвы; 6) посев семян трав; 7) уход за растениями; 8) уборка трав на силос.

Существует множество способов (технологий) реализации каждого этапа. При этом каждая технология может быть выполнена с различными уровнями интенсивности. Для обоснованного выбора эффективного варианта производства силоса необходимо учесть большое количество факторов, которые далее будут описаны в виде ограничений. Перечислим некоторые из них: погодно-климатические, агробиологические, пространственно-временные, технико-технологические, финансово-экономические, организационные ограничения.

Задача создания технологий и программных продуктов проактивного управления процессами производства кормов из трав может быть сформулирована как задача выработки оптимальных управляющих воздействий, переводящих рассматриваемую СПУ сложного динамического объекта (подсистемы агропроизводства) из заданного в требуемое структурное состояние.

Важно отметить, что в состав решаемых задач должны войти следующие задачи: структурно-функционального синтез облика рассматриваемого объекта; определение срока, к которому необходимо завершить работы по производству силоса; синтез технологий производства; синтез комплексного плана функционирования объекта; синтез управляющих воздействий, обеспечивающих реализацию плана производства силоса.

Возможным способом их решения является использование комплекса логико-динамических моделей для описания процессов функционирования элементов и подсистем рассматриваемых сущностей и методов управления сложными техническими объектами с переменной структурой во времени [3, 4].

На основе предложенных к применению модельно-алгоритмических основ приведем агрегированную динамическую модель проактивного управления операциями производства силоса.

$$M_o = \left\{ \mathbf{u}(t) \mid \dot{x}_{ik} = \sum_{j=1}^n r_{ij}(t) \cdot u_{ikj}; x_{ik}(t_0) = 0; x_{ik}(t_f) = a_i; \sum_{j=1}^n u_{ikj} \leq P_{ik}, \forall i, \forall k; \right. \\ \left. \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l u_{ikj} \leq P_j, \forall j; u_{ikj}(t) \in \{0,1\}; \sum_{j=1}^n u_{ikj} \left[\sum_{\alpha \in \Gamma_{ik1}} (a_{i\alpha} - x_{i\alpha}(t)) + \prod_{\beta \in \Gamma_{ik2}} (a_{i\beta} - x_{i\beta}(t)) \right] = 0, \right. \\ \left. i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, l; j = 1, \dots, n; \right\}, \quad (1)$$

где x_{ik} – переменная, характеризующая состояние выполнения операции D_k^i в ходе реализации процесса производства силоса A_i ; $r_{ij}(t)$ – известная матричная временная функция, с помощью которой задаются пространственно-временные ограничения, связанные с возможностью назначить ресурс B_j на выполнение операции D_k^i в рамках пространственно-временных и климатических ограничений. Функция $r_{ij}(t)$ принимает значения на множестве $\{0,1\}$; $u_{ikj}(t) = 1$, если операция D_k^i выполняется с помощью ресурса B_j , и 0 – в противоположном случае; $a_i, a_{i\alpha}, a_{i\beta}$ – это заданные объёмы операций в вариантах технологий производства силоса; $\Gamma_{ik1}, \Gamma_{ik2}$ – множество номеров операций в рамках процесса B_i , а также непосредственно предшествующих операции D_k^i с помощью логических операций «И», «ИЛИ»; P_{ik}, P_j – технико-технологические

ограничения, связанные с возможностью использования ресурсов фермы в различных процессах и операциях по производству силоса.

Ниже приведем показатели оценивания качества разрабатываемых проактивных программ управления кормопроизводством.

$$J_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^{t_f} a_{ik}(\tau) u_{ijk}(\tau); \quad (2) \quad J_2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l [(T - x_{ik}(t_f))]^2; \quad (3) \quad J_3 = \int_{t_0}^{t_f} d\tau, \quad (4)$$

где (2) – функционал оценивания качества выполнения операций; a_{ik} – функция времени; (3) – функционал оценивания ритмичности производственных процессов; (4) – функционал оценивания оперативности выполнения соответствующих операций.

Для обобщенного оценивания качества синтезируемых проактивных программ управлений может быть использована многокритериальная свертка показателей [4]. Помимо этого, возможно введение ресурсных и стоимостных показателей качества, которые позволят оценить качество синтезируемых комплексных планов (проактивных программ управления). Однако при достаточно большом количестве функционалов интерпретируемость результатов снижается [5].

Заключение. Предложенный в подход позволяет, во-первых, учесть в едином масштабе времени динамику интервально заданных пространственно-временных, технологических и технических ограничений различной природы; во-вторых, уменьшить размерность решаемой задачи проактивного управления за счет динамической декомпозиции; в-третьих, предложен новый способ описания процессов производства кормов из трав, который может быть в дальнейшем использован при создании программно-алгоритмических основ автоматизированных систем для агропромышленных предприятий при выработке альтернативных вариантов и поддержки принятия технико-технологических решений.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Popov V.D., Spesivtsev A.V., Sukhoparov A.I., Spesivtsev V.A.** Use of logical-linguistic models to predict the retained biological potential of grasses during their conservation. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Russia, June 22-24, 2016, Revised Selected Papers.* P. 244-246.
2. **Попов В.Д., Спесивцев А.В., Сухопаров А.И.** Формализация экспертных знаний в виде логико-лингвистических моделей. *Вестник РАСХН.* 2014. №3. С. 10–13.
3. **Соколов Б.В.** Основы теории проактивного управления структурной динамикой группировки сложных технических объектов и ее применение в различных предметных областях. *XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019): материалы конференции. Геленджик, 23–28 сентября 2019 г.:* в 4 т. / Южный федеральный университет [редкол.: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов и др.]. С. 209–212.
4. **Захаров В.В.** Результаты комплексного планирования процессов функционирования и модернизации корпоративных информационных систем. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2021. 64(12). С. 965-971.

A.V.Spesivtsev, V.V.Zakharov, A.I.Semenov, V.A.Spesivtsev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg), A.I.Sukhoparov (Institute for engineering and environmental problems in agricultural production – branch of Federal state budgetary scientific institution “Federal scientific agroengineering center VIM”)

Proactive management of grass feed production

The report proposes a new approach to solving the problems of proactive management of grass feed production. The difficulty of solving this problem, which is difficult to formalize, is further aggravated by the fact that, under the influence of various reasons, the composition and structure of the control system for the production of grass feed at various stages of its life cycle changes over time. In the work at the stage of formalization of a meaningful statement, a logical-dynamic approach is used, which allows taking into account a combination of various restrictions.

Авторы готовы представить текст на английском языке для сборника материалов мультиконференции, который будет подан для индексирования в Scopus