

Моделирование комплексного технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур

М.В. Запевалов, д.т.н., профессор, Н.С. Сергеев, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, Г.В. Петрова, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Плодородие почвы – понятие очень сложное, под ним подразумевается способность почвы давать высокие и устойчивые по годам урожаи сельскохозяйственных культур. Эта способность зависит от многих факторов, которые можно подразделить на естественные, появляющиеся с самого начала почвообразовательного процесса и присутствующие в течение всего времени существования почвы, и искусственные, возникающие при окультуривании почвы [1]. Из всего многообразия этих факторов агрономической наукой выделены шесть основных, оказывающих существенное влияние на рост и развитие растений. К основным факторам относятся: обеспеченность растений теплом, влагой, питательными веществами, применение районированных высокоурожайных сортов, физико-механические свойства почвы и защита растений от болезней и вредителей [2]. Данные факторы тесно взаимосвязаны между собой, изменение одного из них оказывает влияние на другие. Обеспеченность растений теплом и влагой относится к факторам природным, которые в большей степени не зависят от деятельности человека, в то время как остальные факторы являются регулируемы.

Рост производства продукции растениеводства может быть обеспечен исключительно на основе интенсификации возделывания сельскохозяйственных культур. Расширенное использование новых высокопродуктивных сортов, применение эффективных удобрений обеспечат значительное повышение урожайности возделываемых культур. Однако данные факторы не будут эффективными, если не принять надлежащих мер по защите сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней. Установлено, что до 50–55% всего урожая сельскохозяйственной продукции теряется до момента его потребления [3]. При этом предуборочные потери составляют больше, чем все остальные, вместе взятые (рис. 1). Значительная доля предуборочных потерь связана с болезнями и вредителями растений. Защита растений необходима при применении любых технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Особенно значимость этой операции возрастает при использовании интенсивных технологий, так как растёт абсолютная величина каждого процента потерь урожая.

Следует учитывать, что при усилении питания растений за счёт применения удобрений, приёмов

мелиорации, внедрения более урожайных сортов и других прогрессивных мероприятий создаются благоприятные условия не только для растений, но и для патогенов и вредителей. Болезни и вредители растений причиняют большой ущерб сельскому хозяйству во всех странах мира. Поэтому для борьбы с ними ведутся постоянные исследования по совершенствованию как препаратов, так и технологий по их применению.

Материал и методы исследования. Современное сельскохозяйственное производство должно вестись с использованием передовых технических решений. Основой любой современной разработки является комплексная механизация как отдельных технологических операций, так и производственного процесса в целом. Производство, как правило, состоит из различных технологических процессов. Процессы могут быть тесно взаимосвязаны между собой, образуя совокупность, и могут не иметь друг к другу никакого отношения. Общего достаточно строгого определения процесса, которое бы отражало всю суть происходящего действия в любой сфере деятельности человека, пока не выработано. Это обусловлено тем, что процессы могут иметь различия в природе явления той или иной научной дисциплины, в подходе к пониманию явлений, в масштабах и формах познания. Чаще всего под процессом понимается движение, преобразование или взаимодействие чего-либо во времени с учётом объективных закономерностей. В отношении производственной деятельности многие авторы придерживаются мнения, что процесс – это упорядоченное взаимодействие между продуктом природы и трудом, направленное на получение требуемого результата [4]. Технологиче-

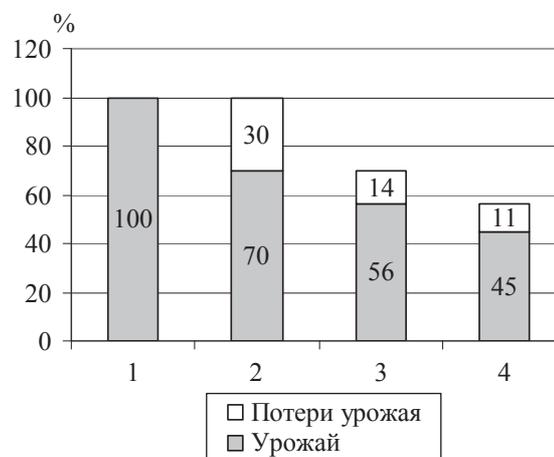


Рис. 1 – Количественные показатели урожайности, %: 1 – потенциальный урожай; 2 – урожай перед уборкой; 3 – урожай после обработки; 4 – урожай в конце хранения

ский процесс состоит из связанных между собой, закономерно упорядоченных взаимодействием технологических операций, каждая из которых имеет внутреннее строение, описываемое определёнными показателями.

Производственные процессы в сельском хозяйстве со временем становятся всё сложнее, так как в них всё больше сочетаются разные по физической природе методы технологического воздействия. Рассматривая основные факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур, необходимо учитывать взаимодействие их с внешней средой и внутреннее взаимодействие отдельных элементов, т. е. рассматривать их как сложную производственную динамическую систему повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Исключение из технологии возделывания сельскохозяйственных культур каких-либо процессов или некачественное их выполнение приводит к существенному недобору урожая.

Повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур может быть достигнуто в результате применения технологических процессов, направленных на увеличение урожайности и снижение ресурсных затрат, в частности за счёт применения органо-минеральных удобрений и предпосевной обработки семян защитно-стимулирующими препаратами.

В свою очередь применение органо-минеральных удобрений предусматривает процесс приготовления качественного и дешёвого удобрения, а также и рационального внесения его в почву, т.е. предполагает подготовку почвы. Данные процессы обладают целым рядом признаков, а именно: являются предпосевными, направлены на обеспечение растений необходимым количеством питательных веществ, на защиту их от болезней и вредителей, снижение удельных ресурсных затрат и отрицательного воздействия на окружающую среду, данные признаки увязаны по агротехническим и технологическим требованиям. В связи с этим отдельные процессы должны рассматриваться в совокупности в виде комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур. При разработке комплексного процесса необходимо проведение смыслового и качественного его анализа с определением уровней декомпозиции процессов приготовления органо-минерального удобрения, внутрпочвенного его внесения, обработки семян защитно-стимулирующими препаратами, отдельных элементов и связей между ними. При этом, рассматривая взаимодействие процессов, необходимо учитывать взаимодействие каждого из процессов с внешней средой и внутренние взаимодействия отдельных его элементов.

Результаты исследования. Так как комплексный процесс представляет собой совокупность образующих её отдельных элементов, то его символическая

математическая модель может быть представлена совокупностью символических математических моделей отдельных элементов и уравнений технологических связей между этими элементами:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_i &= \bar{F}_i(\bar{X}_i, \bar{K}_i, \bar{V}_i) \\ \bar{H}_i &= (\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{K}_i) \geq 0 \\ \bar{Y}_{kn} &= \bar{X} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где \bar{X}_i, \bar{Y}_i – векторы параметров состояния соответственно входных, выходных технологических потоков;

\bar{K}_i – вектор параметров i -го элемента процесса; k, n – номера элементов, которые взаимосвязаны одним технологическим потоком;

\bar{H}_i – вектор-функция технологических ограничений параметров состояния потоков и элементов процесса;

\bar{V}_i – вектор параметров внешней среды.

При этом каждый из отдельных элементов комплексного процесса в зависимости от поставленной цели следует рассматривать как отдельный процесс с более детализованными уровнями декомпозиции [5]. Анализ комплексного технологического процесса предусматривает изучение свойств и эффективности функционирования отдельных процессов в зависимости от структуры технологических связей между элементами процесса, а также в зависимости от значений конструкционных и технологических параметров, режимов работы технических средств. Синтез предусматривает выбор типов элементов и структуры технологических связей между ними, определение параметров элементов и технологических потоков комплексного процесса, которые обеспечивают рациональное значение критерия эффективности, исходя из цели его функционирования, желаемых количественных оценок, характеристических свойств и заданных параметров внешней окружающей среды. Например, явления, определяющие процессы взаимодействия птичьего помёта с минеральными компонентами при приготовлении органо-минерального удобрения, высев удобрения и заделка его в почву, нанесение защитно-стимулирующего препарата на поверхность семян по своей природе являются вероятностными. Детерминированные фундаментальные законы, с одной стороны, отражают лишь общий характер явления при совокупности ограничений и допущений. С другой стороны, будучи основным аппаратом при построении математических моделей процессов, для решения конкретных задач нуждаются в количественных оценках вероятности совершения взаимодействия на различных уровнях. Получить более реальные характеристики проектируемого процесса, способствующие повышению эффективности возделывания сельскохозяйственных культур в целом, можно лишь после проведения корректировки

параметров модели, исходя из заданного критерия оценки, по экспериментальным данным. Поэтому идентификация математической модели является одной из основных задач моделирования технологических процессов, в том числе и комплексного технологического процесса предпосевного обеспечения роста и развития растений. Проектирование и создание современных сельскохозяйственных машин, совершенствование конструкции и улучшение показателей их использования зависят от полноты нашего представления о целях и задачах данного вопроса.

Функциональные характеристики машино-тракторного агрегата, оценивающие показатели совершенства конструкции и качества работы, проявляются при взаимодействии составных рабочих органов агрегата с удобрением, вносимым в почву, с почвой, в которую вносится удобрение, с полем, по которому движется агрегат, с управляющим МТА человеком-оператором. Поэтому при определении цели, задач, функций машино-тракторного агрегата, осуществляющего внесение удобрения в почву, изучении его характеристик в качестве объекта исследования данного процесса необходимо принимать во внимание динамические, энергетические, технологические и информационные процессы, обеспечивающие качественное внесение удобрения в почву.

Для сравнения различных решений необходимо иметь какой-то количественный критерий – по-

казатель эффективности. Целесообразно показатель эффективности представить в виде целевой функции. Функция должна отражать целевую направленность операций и в максимальной степени способствовать достижению поставленной цели [6, 7]. При выборе показателя эффективности следует определиться, к чему мы стремимся при исследовании комплексного технологического процесса. При этом для данного процесса характерен определённый набор технологических операций. При формировании показателей качества выполнения технологических операций комплексного процесса следует учитывать их структуру применительно к используемым техническим средствам. Следует помнить, что сущность качественного выполнения технологических операций состоит в приведении обрабатываемого материала из исходного состояния в желаемое с показателями, превосходящими первоначальные показатели. При этом качество перевода должно рассматриваться в зависимости от режима работы машин в поточной линии. Так, например, применительно к технологии обработки семян защитно-стимулирующим препаратом необходимо выполнить следующие задачи: определить такое допустимое управление процессом X_k , переводящее комплексный процесс S из состояния S_H в состояние S_K , при котором целевая функция принимает экстремальное значение (например, минимальная неравномерность нанесения препарата на поверхность обрабаты-

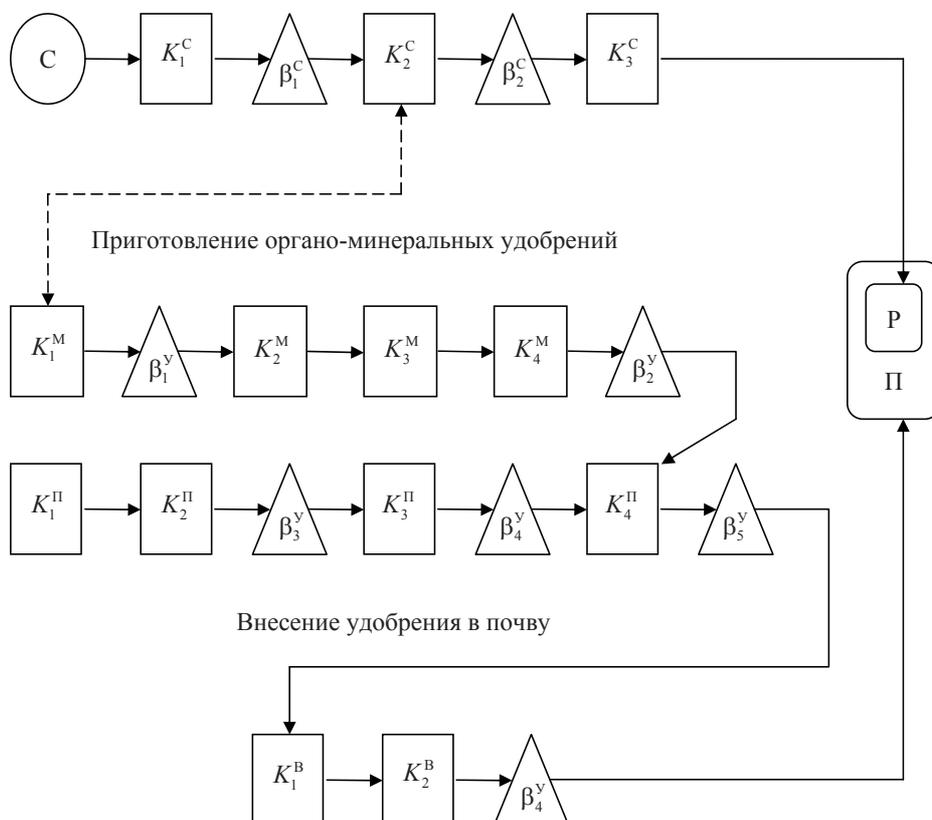


Рис. 2 – Операторная схема комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы

ваемых семян). Показателем эффективности K этапа при условии, что к началу последнего этапа система S была в состоянии S_{k-1} , а на последнем этапе управление было оптимальным (например, минимальным), принимаем условный экстремум (минимум) целевой функции:

$$Z_k(S_{k-1}) = \min f_k(S_{k-1}, X_k). \quad (2)$$

Минимизация ведётся по всем допустимым управлениям X_k . С использованием топологического метода анализа процессов разработана операторная схема комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур (рис. 2).

Взаимодействие между машинами отражается внутренними связями каждого из процессов. На каждом этапе выполнения технологических операций процессов приготовления органо-минерального удобрения, внутрипочвенного его внесения и предпосевной обработки семян K_i^j происходит изменение состояния удобрения β_i^y и семян β_i^c . Обозначив процесс приготовления органо-минерального удобрения R_1 , внесение удобрения в почву R_2 и обработку семян передаточным коэффициентом R_3 , рассмотрим составляющие этих коэффициентов по этапам выполнения работ:

Составляющими операторной схемы комплексного ресурсосберегающего технологического процесса предпосевной подготовки почвы и семян при возделывании сельскохозяйственных культур являются: K_1^C – очистка семян; K_2^C – обработка семян защитно-стимулирующими препаратами; K_3^C – посев семян; K_1^M – подготовка минеральных компонентов; K_2^M – транспортировка минеральных компонентов; K_3^M – загрузка минеральных компонентов в дозатор; K_4^M – дозированная подача минеральных компонентов на смешивание; $K_1^П$ – приёмка птичьего помёта; $K_2^П$ – фиксация питательных веществ в помёте; $K_3^П$ – дозирование

птичьего помёта; $K_4^П$ – смешивание помёта с минеральными компонентами; K_1^B – транспортировка удобрений; K_2^B – внутрипочвенное внесение удобрений; β_i^c , β_i^y – изменение состояния семян, удобрения после i -й операции; C – семена; P – растение; Π – почва.

При расчётах были получены следующие выражения:

1. Приготовление органо-минерального удобрения:

$$R_1 = (K_1^M \beta_1^y K_2^M K_3^M K_4^M \beta_2^y + K_1^П K_2^П \beta_3^y K_3^П \beta_4^y) K_4^П \beta_5^y. \quad (3)$$

2. Внутрипочвенное внесение:

$$R_2 = R_2 + K_1^B K_2^B \beta_6^E. \quad (4)$$

3. Предпосевная обработка семян:

$$R_3 = K_1^C \beta_1^c K_2^C \beta_2^c K_3^C. \quad (5)$$

Выводы. Полученные составляющие показывают, что для выполнения очередного этапа работ по повышению урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур необходимо учитывать состояние предыдущего этапа. С точки зрения оптимизации системы следует решать многоэтапную задачу, причём на каждом этапе предусматривается выполнение определённого количества операций согласно технологии. При этом отдельные операции рассматривать нет необходимости вследствие их достаточной изученности и неизменности.

Литература

1. Запелалов М.В., Сергеев Н.С., Петрова Г.В. Стратегия послеуборочной глубокой переработки урожая зерновых культур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (52). С. 95–97.
2. Паников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
3. Защита зерновых культур при интенсивных технологиях / Н.М. Гольшин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1986. 160 с.
4. Технологические основы гибких производственных систем / Под ред. Ю.М. Симонова. М.: Высш. шк., 2000. 251 с.
5. Ерёмин Н.Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов. М.: Высш. шк., 1986. 280 с.
6. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 91 с.
7. Игнатъев М.Б., Ильевский В.З., Клауз Л.П. Моделирование систем машин. Л.: Машиностроение, 1986. 304 с.