

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЕМ УРОЖАЙНОСТИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Караулов Р.С.

ООО «Агрохолдинг КипиАй»,

Россия, Нижегородская область, Сеченовский район, село Сеченово, Советская пл., д. 7.

rkaraulov@kpi.ru

Дранко О.И.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65

olegdranko@gmail.com

Аннотация: Предложена модель управления сельскохозяйственным предприятием на основе выбора технологий повышения урожайности. Приведены расчеты на примере одной из технологий. Основной задачей является выявление агрономических, технических, технологических и других факторов, влияющих на урожайность в растениеводстве для потенциального масштабирования и дальнейшего развития растениеводства.

Ключевые слова: моделирование, эффективность, сельское хозяйство, урожайность, инновации, инвестирование.

Введение

Зачем сейчас заниматься агропромом? По данным международной консалтинговой компании McKinsey & Company [1], сельское хозяйство занимает последнее место по уровню внедрения инноваций. Результат кажется закономерным. Аграрная промышленность консервативна сама по себе, а рост в ней традиционно достигался за счет увеличения площади посевов и поголовья скота. Не до технологий. Однако сейчас ситуация изменилась. Большинство пригодных для ведения сельского хозяйства земель уже освоено.

Одной из основных отраслей сельского хозяйства является растениеводство, которое включает возделывание культур в полеводстве, овощеводстве, бахчеводстве, плодоводстве, луговодстве, цветоводстве и т. д. Кроме того, растениеводство – это наука о культурных полевых растениях и приёмах их возделывания, в рамках которой изучаются закономерности формирования урожая, выявляются резервы увеличения производства экологически чистых продуктов, разрабатываются технологии получения высоких урожаев наилучшего качества при наименьших затратах труда и средств.

В условиях ограниченности ресурсов (посевных площадей, финансирования и т.п.) огромное значение приобретает вопрос повышения эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий в отрасли растениеводства, которая зависит от многих факторов, таких как правильный подбор культур и сортов, уровень почвенного плодородия, обеспеченность техникой, трудовыми ресурсами, пунктами доработки и хранения продукции, а также возможностями реализации. Рост и развитие растений, урожай и его качество зависит от природных условий и состава почвы, от системы удобрения.

Количество неизбежно перерастает в качество, но без современных технологий этого не достигнуть. Со стороны сельское хозяйство кажется консервативным и застоявшимся, но на деле оно готово к самым смелым инновациям. Яркий пример показывает компания Global Precision [2], Она «подружила» фермеров и брокеров по продаже зерна с помощью платформы, основанной на блокчейне. Разработанный алгоритм автоматизировал процессы между заинтересованными сторонами. Информация об урожае и уборке каждого поля в реальном времени отправляется на сервер. Далее алгоритм распределяет урожай по поставщикам в зависимости от запрошенной цены, количества и качества.

В агротехе свои тренды [3]: обновление модельного ряда техники, развитие интеллектуальных систем управления и автоматизация производства. Сельскохозяйственная техника оборудуется спутниковыми датчиками отслеживания местоположения и уровня топлива, состояние посевов контролируется спутниковой системой.

Пока агропром впитывает инновации других отраслей как губка. Сейчас самое время закрепить на этом развивающемся рынке. Далее – продвигать инициативы среди инвесторов и масштабировать бизнес [4].

Примеры успешных проектов. Сейчас в России есть более 200 стартапов [5], которые работают в разных сегментах агротехнологий. Упомянуть каждый из них – никакой статьи не хватит. Рассмотрим

примеры инновационных компаний. ИнтТерра: Компания стремится упростить жизнь фермерам, не имеющим специализированного высшего образования. Продукт компании – платформа ScyScout, – помогает аграриям принимать верные решения. Платформа анализирует состояние почвы и рельефа местности, метеорологические данные, прогнозирует болезни, активность вредителей и другие факторы. Весь этот массив данных не обрушивается на фермера в виде огромных таблиц. Платформа находит проблемы, пути их решения и возможности по улучшению технологических операций. Система рекомендует агроному оптимальные окна для опрыскивания и помогает проверить качество проведенной операции. Все действия фермер совершает в специальном приложении.

Резидент «Сколково», специализируется на дронах, ориентированных на анализ состояния растений. Выглядит процесс так: фермер заказывает съемку полей, приезжает специалист с дроном (Рис. 1) и проводит анализ растений и почвы. В итоге агроном получает подробный отчет: что происходит на полях, чем болеют растения и так далее.



Рис. 1. Агродрон за работой. Фото it-int.one

Главный критерий для инноваций остается прежним – приносить экономическую эффективность. Этому принципу и следуют российские стартапы. Их интересуют проекты [6], развивающие технологии управления поставками, farm-менеджмент, интернет вещей, применение робототехники (включая дроны) и биотехнологии. В рамках развития агробизнеса такие технологии применяются давно [7]. Об интересе поддерживать агротех заявляет все больше организаций. Инвестиции для предприимчивых аграриев становятся все доступнее. Ожидается, что в ближайшие 5-6 лет в России будут появляться новые амбициозные проекты.

1 Постановка задачи

Задача максимизации прибыли – это поиски и реализация путей увеличения чистого дохода компании от реализации продукции. Выгода формируется в виде разницы между выручкой от реализации и издержками.

Принцип максимизации прибыли основан на стремлении получить высокий доход. Достичь его можно при взаимодействии внешних и внутренних факторов деятельности компании. Максимизация прибыли направлена на то, чтобы каждая единица выпущенной продукции приносила доход.

Основная задача максимизации прибыли – простимулировать дальнейшую деятельность компании.

Факторы, которые оказывают влияние на прибыль, – это доходы, объемы выпуска и издержки (постоянные, переменные, суммарные). Для выявления оптимального объема выпуска и максимизации прибыли сопоставляют суммарные доходы с суммарными издержками при учете объемов выпуска [8].

Среди ограничений можно выделить следующие факторы:

1. Посевные площади.
2. Удельные инвестиции.
3. Севооборот.

Запишем модель максимизации прибыли предприятия, в зависимости от выбранных факторов, в следующем виде:

$$P_r = \sum_i N_i P_i - V_{C_i} - F_C \rightarrow \max, \quad (1)$$

при ограничениях на площади, инвестиции, севооборот

$$\sum_i N_i Z_i \leq Z_k, \quad (2)$$

$$\sum_i N_i B_i \leq B_k, \quad (3)$$

$$F_i(t) \in F_k(t), \quad (4)$$

где P – средняя цена единицы товара, N – количество товара, V_C – переменные расходы, F_C –

постоянные расходы, i – индекс продукции, Z – площадь земли, выделенная под посевы, Z_k – общая площадь земли в наличии, B – удельные инвестиции в производство, B_k – ограничения по инвестициям, $F(t)$ – допустимая культура под севооборот (функциональная зависимость от погоды, технической оснащенности, выбранных культур под посадку, участка под посев и других факторов, влияющих на севооборот), $F_k(t)$ – множество ограничений по севообороту (предельная возможность для земли, выделенной под посевы).

Задачу (1 – 4) можно решать методами линейного программирования. Для применения методов выбора технологий воспользуемся методами эвристических решающих правил. Эвристический анализ – это детальное и всестороннее изучение предмета исследования, которое основывается на информации из различных источников, которые имеются в распоряжении. Он основывается на профессиональном мнении специалистов, их опыте и интуиции, а также их заключениях, как индивидуального, так и коллективного характера. Применение эвристических методов помогает с большей эффективностью провести не только текущий, но и стратегический анализ в условиях неустойчивой среды функционирования и высокой инновационности развития организации. Помимо этого, такие методы дают взвешенную оценку финансового состояния предприятия и обосновывают перспективность его развития [9].

Одно из решающих правил – использованием методов решения одноресурсной однокритериальной оптимизации [10]. Для практических применений этот метод более известен как метод «затраты – эффективность» [11, 12].

В рамках настоящей работы принимаем упрощенную модель в условиях выбранного севооборота текущего года.

Определим следующие правила максимизации объемов в зависимости от выбранных факторов:

а) максимизация маржи с посевных площадей:

$$i = \arg \max_i (P_i - V_i) / Z_i, \quad (5)$$

где P_i – выручка с i -го участка земли, V_i – переменные расходы на обработку i -го участка земли, Z_i – общая площадь i -го участка земли;

б) максимизация маржи с инвестиций:

$$j = \arg \max_j (P_j - V_j) / B_j, \quad (6)$$

где B_j – удельные инвестиции.

Выделим факторы управления, влияющие на урожайность f_l , l – индекс фактора влияния на урожайность [13]:

- f_1 – Обработка земли начальная;
- f_2 – Полнота обработки земли под посевы;
- f_3 – Влажность грунта при посеве;
- f_4 – Влажность грунта;
- f_5 – Выбор культуры;
- f_6 – Выбор семян;
- f_7 – Плотность посева (расстояние между посадками);
- f_8 – Глубина посева;
- f_9 – Срок посева;
- f_{10} – Срок уборки урожая;
- f_{11} – Методы защиты от вредителей и болезней;
- f_{12} – Выбор техники;
- f_{13} – Скорость обработки.

2 Примеры инновационных технологий в растениеводстве

Важным сегментом аграрной промышленности является выращивание растений в условиях открытого грунта. Для него предусмотрен ряд инновационных разработок, таких как:

- составление электронных карт полей;
- установка датчиков геолокации на всю технику;
- формирование диспетчерской службы;
- проведение анализа химического состава почв;
- составление четкой карты посевов культур;
- внедрение технологий контроля над процессами, происходящими на полях;
- подключение системы спутникового мониторинга;

- оснащение автоматическими системами и дозаторами всей сельхозтехники.

Итогом внедрения всех систем станет дифференцированная посадка растений, базирующаяся на состоянии почв, автоматические системы орошения и внесения удобрений. Особую значимость имеет спутниковая система контроля, позволяющая отслеживать состояние полей в режиме онлайн и своевременно пресекать появление вредителей, воровство и прочие негативные моменты, наносящие урон хозяйству.

Рассмотрим некоторые из существующих в настоящее время систем автоматизации сельскохозяйственных предприятий.

Система ГлоНАШ (см. общую схему на Рис. 2): многофункциональное решение, построенное на промышленном защищенном планшете, отвечающем запросам особенных условий эксплуатации в поле. Данное решение может быть одновременно и монитором системы контроля высева, и системой параллельного вождения в ручном и даже автоматическом режиме с любым выбранным уровнем точности.



Рис. 2. Схема взаимодействия сервисов ГлоНАШ

ГлоНАШ объединяет три решения в одной системе:

- Параллельное вождение (см. Рис. 3), влияние на факторы f_2, f_7, f_9 : Система используется для осуществления параллельного вождения тракторов и другой самоходной техники при опрыскивании средствами защиты растений, разбрасывании удобрений, обработке почвы и посеве. Повышение производительности работ в ручном или автоматическом режиме с точностью от 2 до 20 см.

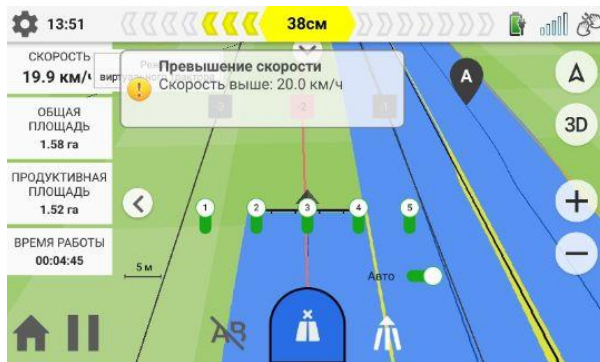


Рис. 3. Параллельное вождение

- Контроль качества операций (см. Рис. 4), влияние на факторы f_2, f_7, f_8, f_9 : Улучшение качества выполнения операций за счет контроля (в кабине и в офисе) технологических параметров: скорости движения, нормы расхода, пропусков и огрехов, забития сошников, расстановки семян.

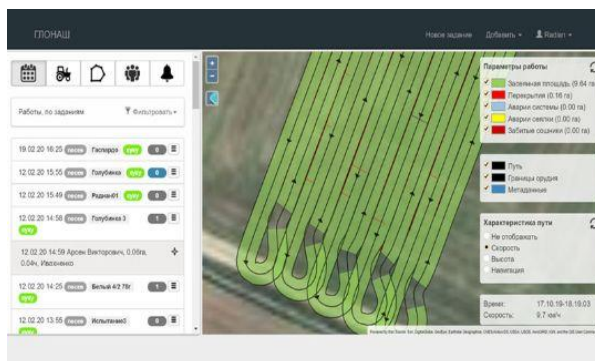


Рис. 4. Контроль качества операций

- Управление задачами (см. Рис. 5), влияние на факторы f_1, f_2, f_{12}, f_{13} : рост управляемости парком техники за счет удаленной выдачи заданий, получения и анализа результатов работ, причин простоев, мониторинга объектов, облачной синхронизации всех данных с планшетов [14].

| Дата | Время | Тип работ | Поле | Ехать км | Водитель | Статус |
|----------|-------|---------------|------------------------|----------|------------------|-----------------|
| 25.02.20 | 13:37 | Опрыскивание | 5.2 Тренинг_Поле_зе... | -- | -- | Новое Задание |
| 19.02.20 | 16:26 | Опрыскивание | 8.5 Тренинг_Поле_пр... | -- | Бегун А. Ю. | В работе 13% |
| 19.02.20 | 16:14 | Опрыскивание | 8.5 Тренинг_Поле_пр... | -- | Иванов П. А. | В работе 0% |
| 19.02.20 | 16:06 | Опрыскивание | нет данных | Без поля | Саламатхутдин... | В работе 0% |
| 19.02.20 | 15:55 | Разбрасывание | 0.5 П190220-15:56 | -- | Саламатхутдин... | В работе 2% |

Рис. 5. Управление задачами

Система «АгроСигнал»:

- Учет работ и агроопераций, влияние на факторы $f_1, f_2, f_6, f_9, f_{10}$: ведение оперативных планов и графиков: возможность автоматизировать все процессы учета, связанные с обработкой площадей, графиками смен персонала, созданием индивидуальных и групповых планов и отчетов по работе техники, распределению ресурсов, перемещением грузов и обеспечительных мер.
- Мониторинг техники, влияние на факторы f_{10}, f_{12}, f_{13} : контроль перемещений и результативности работ в режиме реального времени: возможность выявлять несанкционированные выгрузки и сливы ГСМ, отклонения от маршрутов и нарушения технологических норм.
- Помощник агронома, влияние на факторы $f_3, f_5, f_6, f_8, f_9, f_{11}$: агрономический блок позволяет контролировать здоровье полей и растений и оперативно принимать меры. Содержит четыре важных функции: индекс вегетации (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) для каждого поля, отдельных его участков и проведения точечных обследований, дифференцированное внесение удобрений и средств защиты с указанием норм в каждой отдельной зоне, мониторинг погодных условий с возможностью задать собственные пороговые значения и ведение заметок в цифровом формате. В частности, индекс вегетации (NDVI) – это числовой показатель качества и количества растительности на участке поля. Он рассчитывается по авиа- или спутниковым снимкам и зависит от того, как растения отражают и поглощают световые волны разной длины. Здоровое растение активно поглощает красный свет и отражает ближний инфракрасный, а больное – наоборот.
- Отчетность и аналитика, влияние на факторы f_9, f_{10} : система в режиме реального времени отражает динамику ключевых показателей выполнения агроопераций и предоставляет информацию в простом и понятном виде.

- Кадастровый учет, влияние на факторы f_2 : повышение эффективности использования земельного банка: возможность вносить и хранить полную юридическую информацию о кадастровых участках, сравнивать юридические и фактические площади, автоматически определять пересекающиеся участки [15].

Цифровые технологии быстро окупятся хозяйствами за счет роста урожайности, экономичного расхода семян, удобрений и пестицидов, своевременного пресечения порчи урожая вредителями [16].

3 Пример результатов использования технологии

Урожайность даже в рамках одного поля может значительно различаться. На урожайность имеют прямое и косвенное влияние множество факторов: условия увлажнения, рельеф, свойства почвообразующих пород, агрофизические и агрохимические свойства почв, участки с низкой или высокой полевой всхожестью, активностью развития, воздействием вредителей или болезней одной и той же культуры. И, соответственно, отзывчивость культур на внесённые с удобрениями питательные вещества по полю происходит неравномерно. Причём разница в урожайности между участками на одном поле может достигать 200-300%.

Принятый в большинстве российских хозяйств подход с единой нормой внесения удобрений для всей территории полей только усугубляет неравномерность, приводя к перерасходу веществ на одних участках и дефициту питания на других. Дифференцированное внесение удобрений позволяет учесть неравномерность плодородия почв, а также привходящие условия для точного дозирования удобрения на отдельных участках поля. Похожая ситуация складывается и со средствами защиты растений: до сих пор многие хозяйства работают с фунгицидами и гербицидами широкого спектра действия на всей площади посевов с одинаковой нормой внесения [17, 18].

На Рис. 6 показана технология управления внесением удобрений по картам плодородия почв каждого отдельного поля с использованием блока «Помощник агронома» системы «Агросигнал». Фиксируется своевременность, полнота покрытия поля техникой, плотность и равномерность внесения удобрений в различных частях поля.



Рис. 6. Технология управления внесением удобрений на поле системы «Агросигнал»

Ожидаемый результат применения данной технологии – увеличение урожайности не менее, чем на 0,5 тонн с гектара. Данная технология влияет на фактор « f_2 – Полнота обработки земли под посеvy». В табл. 1 приведены исходные параметры применения данной технологии. Исходные данные для расчета представлены на примере одного из сельскохозяйственных предприятий Поволжья, специализирующегося на зерновых культурах.

Таблица 1. Влияние технологии управления внесением удобрений системы «Агросигнал» на урожайность

| № п/п | Технология | Культура, поле | Прирост урожайности, тн/га | Урожайность с использованием технологии («после»), тн/га | Урожайность без использования технологии («до»), тн/га |
|-------|------------|-----------------|----------------------------|--|--|
| 1. | Агросигнал | Гром элита, А18 | 0,56 | 4,08 | 3,52 |
| 2. | Агросигнал | Гром, А7 | 0,71 | 4,78 | 4,07 |
| 3. | Агросигнал | Гром, А4 | 0,57 | 4,68 | 4,11 |

Как видно из представленных данных (табл. 1), прирост урожайности за счет применения технологии управления внесением удобрений на поле системы «Агросигнал» в рамках одного поля составил $0,56 \div 0,71$ тонн с гектара. В табл. 2 показаны итоговые результаты финансовой оценки целесообразности применения технологии управления внесением удобрений на поле.

Таблица 2. Оценка влияния технологии управления внесением удобрений на поле системы «Агросигнал» на прибыль предприятия

| № п/п | Культура, поле | Цена продукции, тыс.руб. /тн | Площадь, га | Прирост выручки, тыс.руб. / га | Затраты в технологию, тыс.руб. / га | Дополнительная маржинальная прибыль, тыс.руб. / га |
|-------|-----------------|------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1. | Гром элита, А18 | 14,4 | 85,23 | 8,017 | 1,2 | 6,817 |
| 2. | Гром, А7 | 14,4 | 51,74 | 10,28 | 1,2 | 9,080 |
| 3. | Гром, А4 | 14,4 | 157,55 | 8,274 | 1,2 | 7,074 |

Как видно из таблицы 2, внедрение технологии управления внесением удобрений на поле обеспечило предприятию получение дополнительной маржинальной прибыли, значительно превышающей затраты на применение этой технологии. Более полная оценка эффективности технологий возможна с помощью методов, изложенных в работах [19, 20].

Заключение

Разработана модель повышения урожайности в растениеводстве, в рамках которой, на примере одного из пилотных сельскохозяйственных предприятий Поволжья, специализирующегося на зерновых культурах, проведены расчеты эффективности выбранных факторов и их влияние на максимизацию прибыли сельскохозяйственного предприятия.

Применение ряда инновационных разработок, таких как составление электронных карт полей, установка датчиков геолокации на всю технику, формирование диспетчерской службы, проведение анализа химического состава почв, составление четкой карты посевов культур, внедрение технологий контроля над процессами, происходящими на полях, подключение системы спутникового мониторинга, оснащение автоматическими системами и дозаторами всей сельхозтехники, показало достаточно высокую эффективность.

Так, внедрение только одной технологии управления внесением удобрений на поле позволило предприятию получить значительную дополнительную маржинальную прибыль.

Применение инновационных технологий обеспечивает значительный вклад сельскохозяйственных предприятий в решение задачи продовольственной безопасности страны за счет повышения урожайности и эффективности использования посевных площадей.

Инновационное развитие предприятий, повышение эффективности использования ресурсов и урожайности, дает дополнительный импульс развитию региона, увеличению валового регионального продукта (ВРП) региона, увеличению доходов бюджета региона, занятости населения и увеличению уровня жизни работающих.

Литература

1. ИТ в агропромышленном комплексе в мире. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ_в_агропромышленном_комплексе_в_мире?ysclid=15wbuznхnv73908333. Дата обращения 10.06.2022.
2. Экспортный потенциал АПК России: состояние и перспективы. Всероссийский институт аграрных проблем и информатики имени А.А. Никонова // Никоновские чтения – 2017. С. 124.
3. *Белецкая Ю.* Холдинг КиПиАй Агро: Караулов Роман Сергеевич о стартапах в сфере агропрома. – URL: <https://www.syl.ru/post/economics/29371?ysclid=15wgz8w0gq712521888>. Дата обращения 10.06.2022.
4. *Ириков В.А., Новиков Д.А., Тренёв В.Н.* Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. – М.: ИПУ РАН, 2009. – 228 с.
5. Почему агротех может стать перспективной инвестиционной идеей агропрома. – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/blogs/2018/05/14/769348-agroteh-perspektivnoi-investitsionnoi?ysclid=15whwkvy5c568588063>. Дата обращения 10.06.2022.
6. ИТ в агропромышленном комплексе России. – URL: <http://dialog-e.ru/market-news/408/?ysclid=15wi9хdcd2518501804>. Дата обращения 10.06.2022.
7. E-agriculture in action. 2017 г. – URL: <http://www.fao.org/3/a-i6972e.pdf>. Дата обращения 10.06.2022.
8. *Кулагина Н.* Максимизация прибыли: понятие и принципы // Коммерческий директор, 20 июня 2022. – URL: <https://www.kom-dir.ru/rubric/41-uvlichenie-prodaj>. Дата обращения 10.06.2022.
9. *Хроманюк Е.* Анализ с помощью эвристических методов. Принципы и методы эвристического анализа. – URL: <https://zaochnik.com/spravochnik/buhgalterskij-uchet-i-audit/analiz-finansovoj-otchetnosti/analiz-s-pomoschju-evristicheskikh-metodov/?ysclid=15wje6j4v8611275996>. Дата обращения 10.06.2022.
10. *Дранко О.И., Ириков В.А.* Метод «Затраты-эффективность» как инструмент выбора приоритетных проектов предприятий // Управленческий учет. – 2011. – № 4 – С. 15-20.
11. *Кох Р.* Революция 80/20. – Мн.: ООО «Попурри», 2004. – 336 с.
12. *Бурков В.Н., Христюк А.А.* О выпуклости двойственной задачи метода «затраты-эффект» // Труды международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Н. Буркова, Д.А. Новикова. М.: ИПУ РАН. 2011. С. 23-24.
13. *Шундалов Б.М., Мангутова В.В., Гайдуков А.А.* Учебно-методический комплекс по дисциплине «Статистика агропромышленного комплекса». – Минск: БГСХА, 2017. – 436 с. С. 11.
14. Многофункциональное решение – ГлоНАИШ. – URL: <https://глонаш.рф>. Дата обращения 10.06.2022.
15. Система «АгроСигнал». – URL: <https://agrosignal.com/resheniya/moduli/agrosignal/>. Дата обращения 10.06.2022.
16. *Караулов Р.С.* «КиПиАй Агро» выходит на новый уровень работы АПК. – URL: <https://www.sostav.ru/blogs/242595/27010>. Дата обращения 10.06.2022.
17. *Харитонова Д.* Стремление к точности. Аграрии проявляют интерес к дифференцированному внесению удобрений // Агротехника и технологии, № 05, сентябрь-октябрь 2019. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/32405-stremlenie-k-tochnosti/>. Дата обращения 10.06.2022.
18. *Мизин М.* Точность во всём. Обзор разработок для дифференцированного внесения удобрений // Агротехника и технологии, № 05, сентябрь-октябрь 2019. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/32406-tochnost-vo-vsyem/>. Дата обращения 10.06.2022.
19. *Акинфиев В.К., Цвиркун А.Д.* Методы и инструментальные средства управления развитием компаний со сложной структурой активов. – М.: ИПУ РАН, 2020. – 307 с.
20. *Akinfiyev V.K., Tsvirkun A.D.* Decision Support Systems for Stable Development of Agricultural SMEs // IFAC-PapersOnline. 2021. Volume 54, Issue 13. С. 289–292.