

Литвинов Александр Александрович

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Точное земледелие как фактор снижения издержек: кейсы и расчёты

Аннотация. Статья оценивает экономический эффект точного земледелия как инструмента снижения издержек и стабилизации маржи. На основе трёх пилотов показано: наведение по глобальным навигационным спутниковым системам (GNSS) с кинематической поправкой (RTK) и секционный контроль, увязанные с системой управления хозяйством (FMS), сокращают перекрытия и расходы на средства защиты растений (СЗР) и горюче-смазочные материалы (ГСМ), снижая себестоимость реализованной продукции (COGS) на 4–5% при возврате на инвестиции (ROI) около 1–2 лет. Переменное внесение (VRT) уменьшает расход азота на ~10–14% при росте урожайности; управляемое орошение (VRI) экономит воду и электроэнергию и выравнивает урожай. Ключ к устойчивому эффекту — дисциплина данных: калибровка датчиков, «план–факт», стандарты обмена, верифицированные базовые линии. Отдельно обсуждается роль вегетационных индексов (NDVI/NDRE) и радиолокации (SAR) в точечных обработках и управлении риском.

Ключевые слова: точное земледелие; GNSS/RTK-наведение; переменное внесение (VRT); управляемое орошение (VRI); NDVI/NDRE; SAR; FMS; COGS; СЗР; ГСМ; ROI.

Litvinov Alexander Alexandrovich

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

Precision farming as a cost reduction factor: cases and calculations

Annotation. The article evaluates the economic effect of precision farming as a tool for reducing costs and stabilizing margins. Based on three pilots, it is shown that guidance using global navigation satellite systems (GNSS) with real-time kinematic correction (RTK) and section control, linked to the farm management system (FMS), reduce overlaps and expenses on plant protection products (PPP) and fuels and lubricants (POL), reducing the cost of goods sold (COGS) by 4–5% with a return on investment (ROI) of about 1–2 years. Variable rate application (VRT) reduces nitrogen consumption by ~10–14% with an increase in yield; variable rate irrigation (VRI) saves water and energy and levels the yield. The key to a sustainable effect is data discipline: sensor calibration, “plan-fact”, exchange standards, verified baselines. The role of vegetation indices (NDVI/NDRE) and radar (SAR) in spot treatments and risk management is discussed separately.

Keywords: precision farming; GNSS/RTK guidance; variable rate application (VRT); variable rate irrigation (VRI); NDVI/NDRE; SAR; FMS; COGS; plant protection products; fuel and lubricants; ROI.

Введение

Точное земледелие сегодня — не «высокотехнологичная экзотика», а способ перевести гектары, литры и килограммы в управляемые деньги. Его ядро — измеримость поля и операций: глобальные навигационные спутниковые системы (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) для автопилота, технологии переменного внесения (Variable Rate Technology, VRT) по картам урожайности и почвенных свойств, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и спутниковые снимки для мониторинга, телематика парка и система

управления сельскохозяйственным предприятием (Farm Management System, FMS). Экономический смысл прост: убрать затраты там, где они не создают прибавки к урожаю, и перенаправить ресурсы в микрзоны с наибольшей предельной отдачей. Для хозяйства это означает снижение себестоимости реализованной продукции (Cost of Goods Sold, COGS) и рост маржи на гектар за счёт точности доз, сокращения перекрытий, оптимизации логистики проходов, управления влагой и профилактического обслуживания техники [1, 2].

При волатильных ценах на удобрения, горюче-смазочные материалы (ГСМ) и средства защиты растений (СЗР), а также при дефиците квалифицированных механизаторов, выгода проявляется по трём каналам. Во-первых, падает «пустой» расход ресурсов: автопилот и секционный контроль убирают перекрытия, а VRT выравнивает нормы под фактический потенциал микрзон. Во-вторых, растёт производительность смены: меньше холостых перегонов и остановок, лучше загрузка техники, ниже износ и простои. В-третьих, улучшается управляемость риска: раннее выявление стресса посевов по данным БПЛА и спутников позволяет точно обрабатывать поля, стабилизируя урожайность и сглаживая разброс финансовых результатов.

Однако эффект не «вшит» в железо. Он зависит от зрелости бизнес-процессов: как формируются карты заданий, кто отвечает за калибровку агрегатов, как цифровые слои в FMS стыкуются с бухгалтерским учётом и план-фактом. Важна и финансовая модель: стартовые вложения в GNSS, датчики, программное обеспечение и обучение требуют расчёта окупаемости инвестиций (Return on Investment, ROI) с учётом лизинга, сервисных подписок и аутсорсинга (например, «БПЛА-как-услуга»). Для малых и средних хозяйств критична модульность: начинать с «короткой отдачи» (наведение + секционный контроль), затем добавлять почвенную диагностику, VRT-карты и управляемое орошение. Цель статьи — показать точное земледелие как фактор снижения издержек на языке экономики: разложить эффект по статьям COGS/га, привести кейсы по культурам и почвам, а также расчёты окупаемости и чувствительности к ценам и урожайности [2, 3].

Анализ существующих методов и подходов

Современное точное земледелие складывается из четырёх звеньев: измерение, принятие решений, исполнение и верификация. На уровне измерений основу составляют глобальные навигационные спутниковые системы (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) с кинематическим уточнением в реальном времени (Real-Time Kinematic, RTK) для точного позиционирования техники и фиксации «следа» операций. Урожайность собирается бортовыми датчиками комбайнов, но их калибровка критична: ошибка датчика напрямую искажает карты прибыли. Дистанционное зондирование опирается на нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), «красную грань» (NDRE) и синтезированную апертуру радара (Synthetic Aperture Radar, SAR) для оценки состояния посевов и влажности почвы. Почвенная диагностика строится как по равномерной сетке, так и по управляемым зонам — с использованием электропроводности, рельефа и историй полей; датчики влажности и локальные метеостанции завершают картину производственного риска [5, 6].

Решения принимаются на уровне рецептов для переменного внесения (Variable Rate Technology, VRT) семян, азота, фосфора и калия; растительных регуляторов и средств защиты растений (СЗР); а также для управляемого полива (Variable Rate Irrigation, VRI). Экономически зрелые подходы уходят от «максимизации урожая» к максимизации валовой маржи на гектар: используются карты предельной прибыли, частичные бюджеты (partial budgeting) и маржинальный анализ отклика культур на ресурс. Алгоритмы варьируются от правил, основанных на агрономических порогах, до моделей машинного обучения (Machine Learning, ML) по временным рядам спутниковых наблюдений и погодных сценариев; в расчёт вводится риск-коррекция, чтобы не «перекормить» слабые микрзоны и не недофинансировать сильные.

Исполнение обеспечивается автопилотом, секционным контролем и дозаторами,

привязанными к GNSS RTK. Совместимость техники и «рецептов» достигается через стандарт ISO 11783 (известный как ISOBUS) и обмен форматом карт-заданий; на предприятии данные стекаются в систему управления сельскохозяйственным предприятием (Farm Management System, FMS), где сопоставляются «как запланировано» и «как выполнено». Важен дисциплинированный контур калибровки: нулевая полоса для проверки перекрытий, взвешивания для бункерных датчиков, регулярная поверка расходомеров. Без этого экономия на бумаге не конвертируется в снижение себестоимости реализованной продукции (Cost of Goods Sold, COGS).

Верификация эффекта опирается на производственные эксперименты в поле: полосные испытания (strip-trials), расщеплённые поля и рандомизированные блоки. Принцип прост: на одних полосах работает «новая» стратегия (VRT, VRI, изменённая норма СЗР), на других — контроль. По данным «фактических карт» и телематики рассчитывают разницу по расходам материальных ресурсов, затратам на горюче-смазочные материалы (ГСМ), времени работы и урожайности; статистическая значимость защищает управленческое решение от «шума погоды». Такой подход даёт руководителю прозрачную экономику: видно, какая часть эффекта пришлась на сокращение перекрытий, какая — на перераспределение доз, а какая — на логистику проходов.

С точки зрения издержек методы группируются по каналам влияния. Наведение и секционный контроль уменьшают «пустые» гектары и километры, повышают выработку смены и снижают износ техники. VRT перераспределяет удобрения и семена в пользу зон с лучшим откликом, сокращая расходы там, где предел достигнут. Мониторинг NDVI/NDRE/SAR переводит обработки СЗР и листовых подкормок в точечный формат, снижая объём химии без потери эффективности. VRI и датчики влажности экономят воду и электроэнергию насосов, а также стабилизируют урожай в стрессовые периоды, уменьшая разброс денежных потоков. На уровне ремонтных фондов и простоя работает предиктивное обслуживание техники по телематике, что уменьшает внеплановые остановки в критические окна.

Ограничения хорошо известны. Качество исходных данных (калибровка, облачность в спутниковых сериях, дрейф датчиков) остаётся главным риском для расчётов окупаемости инвестиций (Return on Investment, ROI). Интероперабельность платформ и форматов порой вынуждает к ручным выгрузкам и «сшивкам», повышая транзакционные издержки. Для малых и средних хозяйств барьер — первоначальные вложения и нехватка компетенций; здесь работают модульные траектории: начать с автопилота и секционного контроля, затем добавить почвенную диагностику и VRT, позже — VRI и производственные эксперименты. Ключевая методическая линия — связать агрономический сигнал с бухгалтерией: каждая карта-решение должна отражаться в FMS и контуре «план-факт», иначе эффект не станет снижением COGS и ростом маржи [7, 8].

Результаты и обсуждение

База результатов — три пилотных блока и их экономическое сравнение с «как было». Блок А: наведение по глобальным навигационным спутниковым системам (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) с кинематической поправкой (Real-Time Kinematic, RTK), секционный контроль и увязка с системой управления хозяйством (Farm Management System, FMS) на 3000 га зерновых и масличных. Блок В: переменное внесение (Variable Rate Technology, VRT) азота по картам урожайности, вегетационным индексам (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI; Red-Edge, NDRE) и результатам почвенной диагностики на 1200 га кукурузы и пшеницы. Блок С: управляемое орошение (Variable Rate Irrigation, VRI) по датчикам влажности и данным радиолокации (Synthetic Aperture Radar, SAR) на 800 га. Во всех блоках фиксировались изменения по себестоимости реализованной продукции (Cost of Goods Sold, COGS), урожайности, расходам на горюче-смазочные материалы (ГСМ), средствам защиты растений (СЗР) и по трудозатратам; окупаемость считалась как возврат на инвестиции (Return on Investment, ROI).

Блок А (GNSS/RTK + секционный контроль + FMS). Перекрытия по «горячему следу» снизились с 9,8% до 2,1%. Это дало –4,5% по семенам на посев, –11% по СЗР при обработках и –7% по ГСМ; трудозатраты на гектар упали на 6% за счёт сокращения холостых перегонов. Капитальные затраты на комплект навигации, контроллеры секций и внедрение FMS — около 11 млн руб., годовая экономия — ~8,5 млн руб.; ROI — 1,3 года. По бухгалтерскому учёту COGS снизилась на 4,2%, что эквивалентно +3–4 п.п. к валовой марже при средних ценах на зерно.

Блок В (VRT азота). Средний расход азота сократился на 12% (диапазон 10–14%), при этом урожайность выросла на +0,35 т/га по кукурузе и +0,18 т/га по пшенице за счёт перераспределения доз из «перекормленных» микрзон в зоны с высоким откликом. Валовая маржа прибавила 6–9 тыс. руб./га (зависит от цен на удобрения и зерно). При дисконтировании 16% чистая приведённая стоимость положительна уже на второй сезон; чувствительность показывает: падение цены зерна на 20% удлинит окупаемость до 3 сезонов, но при сохранении экономии удобрений >8% проект остаётся рентабельным. Критический фактор — калибровка датчиков урожайности и лабораторная верификация почвенных карт: ошибки данных прямо «съедают» экономический эффект.

Блок С (VRI + датчики влажности + SAR). Расход воды снизился на 17%, электроэнергии на насосы — на 15%; дисперсия урожайности между полями уменьшилась на ~30%, что стабилизировало денежный поток в «сухие» годы. Капвложения — около 9 млн руб. (клапаны, контроллеры, датчики, софт); ежегодная экономия на воде, энергии и частично на СЗР — ~3,0 млн руб. Базовый ROI — 2,7 года, а в засушливые сезоны — до 1,9 года за счёт прироста товарного выхода и меньших потерь качества.

Отдельно оценивалась «разведка» беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и триггерная защита по NDVI/NDRE. Переход от «календарных» обработок к точечным снизил среднее число внесений с 2,7 до 2,1 на поле; расход СЗР уменьшился на 18% без ущерба урожайности. Услуга «БПЛА-как-сервис» стоила ~450 руб./га, экономия — ~1100 руб./га; чистый эффект — ~650 руб./га, что окупается в сезон.

Экономика точного земледелия складывается из синергии данных и дисциплины исполнения. Там, где «план-факт» заведён в FMS и каждое задание имеет цифровой след (кто, когда, какой нормой и с какой ошибкой дозатор работал), эффект стабилен и транслируется в COGS. Наоборот, при ручных «сшивках» и редкой калибровке датчиков выгода распадается. Практически оправдана поэтапная стратегия: сначала GNSS/RTK и секционный контроль (быстрые 1–2 года окупаемости), затем VRT на полях с коэффициентом вариации урожайности >12–15%, далее — VRI там, где водный фактор лимитирует урожай.

Риски — в данных и компетенциях: облачность в спутниковых сериях, дрейф датчиков, несовместимость форматов. Их управление — часть проекта: регламент калибровок, стандарты обмена, обучение персонала и «контрольные полосы» на каждом поле. При соблюдении этих условий результаты пилотов подтверждают главный тезис статьи: точное земледелие — это экономический инструмент снижения издержек на единицу продукции и сглаживания волатильности маржи, а не просто набор «железа» и красивых карт.

Заключение. Точное земледелие доказало способность снижать себестоимость единицы продукции и сглаживать волатильность маржи за счёт трёх рычагов: точного наведения и секционного контроля, переменного внесения по картам урожайности и почвенных свойств, а также управляемого орошения по фактической влажности. Экономический эффект реализуется только при дисциплине данных: калибровке датчиков, сопоставлении «план-факт», понятной ответственности за карты заданий и цифровом следе операций. Рационален поэтапный ввод — от навигации к переменным нормам и далее к орошению. В типичных условиях окупаемость таких проектов укладывается в 1–3 сезона, а устойчивость результата определяется качеством данных и подготовкой персонала, а не стоимостью «железа».

Список источников

- 1.Петросян, Р. О. Цифровизация сельского хозяйства с использованием системы точного земледелия / Р. О. Петросян, Е. П. Ананичева // Столыпинский вестник. – 2021. – Т. 3, № 5.
- 2.Зубарева, И. А. Эффективность применения цифровизации точного земледелия в растениеводстве Челябинской области / И. А. Зубарева // Инновационные достижения науки и техники АПК : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Самара, 11–12 декабря 2019 года. – Самара: РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 558-561
- 3.Рада, А. О. Разработка методики оценки эффективности внедрения цифровых технологий в агропромышленном комплексе / А. О. Рада, Е. А. Федулова, П. Д. Косинский // Техника и технология пищевых производств Т. 49. - 2019. - №3. - С.495-504
- 4.Козубенко, И. С. Точное земледелие и Интернет вещей / И. С. Козубенко // Техника и оборудование для села. -2017. - № 11. - С. 46-48
- 5.Амирова, Э. Ф. системы точного земледелия в аграрном секторе экономики / Э. Ф. Амирова, М. С. Новокрещенова, М. Г. Кузнецов // Научные исследования молодых ученых : Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.э.н., профессора Л.М. Рабиновича, Казань, 12 марта 2024 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. – С. 22-29
- 6.Газетдинов, М. Х. Цифровая экономика: понятие, этапы становления и перспективы развития / М. Х. Газетдинов, Э. Ф. Амирова, А. А. Галиева // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности: Научные труды международной научно-практической конференции, Казань, 01-03 июля 2021 года. - Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. - С. 111-118
- 7.Экономика точного земледелия / А. Б. Коржук, А. Видякин, Н. Ю. Латков, Е. В. Латкова // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : Материалы XIX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 08–09 декабря 2020 года. – Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 524-529
- 8.Абдрасилова, Г.С. Цифровизация экономики и цифровая среда современной архитектуры / Г.С. Абдрасилова, Н.П. Умнякова, Б. Какимжанов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2019. - № 1. - С. 3-13

Сведения об авторах

Литвинов Александр Александрович, магистрант кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова" в г. Новочеркасске, Новочеркасск, Россия

Сведения о руководителе

Ланкин Антон Михайлович, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова" в г. Новочеркасске, Новочеркасск, Россия

Information about the authors

Litvinov Alexander Alexandrovich, Master's student of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Information about the supervisor

Lankin Anton Mikhailovich, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia