

Царькова Е.Г.
ФКУ НИИ ФСИН России

Экономическая эффективность внедрения беспилотных авиационных систем в сельскохозяйственной деятельности учреждений ФСИН России: ограничения и потенциал

Аннотация. Статья посвящена разработке методического подхода к оценке экономической эффективности внедрения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельскохозяйственную деятельность учреждений ФСИН России с учетом режимных ограничений. Показано, что рост урожайности и сокращение расхода материальных ресурсов могут быть воспроизведены в условиях уголовно-исполнительной системы Российской Федерации (УИС) при адаптированной структуре затрат и рисков. Предложен переход от статичных моделей «затраты-результат» к динамическому описанию поля как временного ряда вегетационных индексов, параметров почвы и частоты нарушений землепользования, что позволяет выделить поток дисконтированного предотвращенного ущерба как отдельный компонент возврата инвестиций. Предложен ввод коэффициента режимной эффективности, отражающего эффект от снижения нагрузки на личный состав учреждения и уменьшения числа инцидентов за счет воздушного мониторинга. Рассматривается схема распределения полетных заданий между БПЛА и наземными патрулями с учетом зон запрета и ограничений по высоте, а также обозначены ключевые технические, юридические и алгоритмические ограничения внедрения беспилотных авиационных систем в деятельность УИС. Показано, что учет предотвращенного ущерба и режимных эффектов приводит к изменению окупаемости по сравнению с гражданским сельским хозяйством и задает иные требования к ведомственной методике обоснования инвестиций.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, точное земледелие, экономическая эффективность, предотвращенный ущерб, мониторинг посевов, анализ почв, контроль мелиорации, оптимизация трудозатрат, уголовно-исполнительная система Российской Федерации.

Tsarkova E.G.
Federal Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

Economic efficiency of implementing unmanned aircraft systems in agricultural activities of institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia: limitations and potential

Annotation. The article develops a methodological approach to assessing the economic efficiency of implementing unmanned aerial vehicles (UAVs) in the agricultural activities of institutions of the Federal Penitentiary Service of Russia, taking into account security constraints. It is shown that increases in crop yields and reductions in material resource consumption can be achieved within the Penal System of the Russian Federation under an adapted cost and risk structure. The article proposes a shift from static «cost-benefit» models to a dynamic description of the field as a time series of vegetation indices, soil parameters, and land-use violation frequency. This makes it possible to isolate the stream of discounted prevented damage as a separate component of return on investment. A regime efficiency coefficient is introduced, reflecting the effect of reducing the workload on facility personnel and decreasing the number of incidents through aerial monitoring. A scheme for distributing flight tasks between UAVs and ground patrols is considered, taking into account no-fly zones and altitude restrictions. Key technical, legal, and algorithmic limitations of implementing unmanned aircraft systems in the activities of the penal enforcement system are identified. It is demonstrated that accounting for prevented

damage and regime-related effects changes the payback period compared to civilian agriculture and imposes different requirements on the departmental methodology for investment justification.

Keywords: unmanned aerial vehicles, precision agriculture, economic efficiency, prevented damage, crop monitoring, soil analysis, reclamation control, labour optimization, Penal System of the Russian Federation.

Введение

В агропромышленном комплексе учреждений ФСИН России сосредоточены десятки тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий, расположенных вокруг исправительных учреждений, при этом значительная часть производственных процессов, как правило, опирается на ручной труд осужденных и ограниченный парк техники. По данным международных исследований, внедрение технологий точного земледелия с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) обеспечивает рост урожайности для ключевых культур на 42-80% и экономию материальных ресурсов на 10-50% [1, с.4]. При переносе этих оценок в контур сельскохозяйственной деятельности ФСИН России возможно ожидать сопоставимый относительный эффект при учете дополнительных режимных ограничений.

Целью исследования является разработка методологического подхода к оценке экономической эффективности внедрения БПЛА в сельскохозяйственную деятельность учреждений ФСИН России на основе динамических моделей состояния посевов и почв, интегрированных с оценкой предотвращенного ущерба и режимных эффектов. Для решения данной задачи используются количественные результаты по точному земледелию как эталон для сопоставления, с последующей адаптацией к закрытым административно-территориальным условиям [2, с.3]. Ключевым отличием подхода является переход от усредненной нормативной себестоимости к многоагентной системе управления, где БПЛА, наземные роботизированные средства и исполнители работ из числа спецконтингента образуют единый контур принятия решений.

Функциональные задачи БПЛА в агропроизводстве ФСИН России могут быть структурированы по пяти основным направлениям. Первое направление определяется как мониторинг состояния посевов с использованием мультиспектральных и гиперспектральных камер, позволяющих строить карты вегетационных индексов (NDVI и аналоги) и выявлять стрессовые зоны на ранних стадиях. Подобные карты используются для дифференциации доз удобрений и пестицидов, что обеспечивает экономию до 20-40% ресурсов и рост урожайности по овощным и зерновым культурам [3, с.26]. В условиях учреждений УИС те же алгоритмы применимы для участков вокруг колоний-поселений, где площади компактны, а возможность оперативного выезда наземной техники ограничена режимными требованиями.

Следующее направление связано с анализом состояния почв по данным БПЛА, оснащенных датчиками и камерами, оптимизированными под картирование влажности, эрозионных процессов и локальных зон уплотнения. В исследованиях по точному земледелию показано, что использование высокодетализированных карт влагозапасов и плотности почвы позволяет перераспределять полив и механическую обработку, снижая расход воды и топлива на 10-30% без снижения урожайности [4, с.17]. Для земель сельскохозяйственного назначения, используемых в деятельности ФСИН России, это критично, поскольку такие объекты часто расположены в зонах с ограниченными водными ресурсами, а переброска техники между удаленными участками сопровождается дополнительными затратами и рисками, связанными с безопасностью.

Следующая группа задач БПЛА состоит в контроле мелиоративных систем (каналов, дренажей, насосных станций). Беспилотные аппараты могут использоваться для регулярных облетов оросительных каналов и оценки заиления и утечек, что сокращает потери воды и повышает коэффициент полезного действия мелиоративных систем. Данный подход позволяет формализовать график инспекций, перемещая часть функций наземных

обходов на БПЛА, что напрямую влияет на фонд оплаты труда и нагрузку на личный состав учреждений УИС.

Четвертым направлением применения беспилотных систем в агросекторе ФСИН России служит фиксация нарушений землепользования в приграничных к учреждениям зонах (самовольный выпас, несанкционированное использование удобрений третьими лицами, повреждение ограждений, попытки кражи урожая). Регулярный воздушный мониторинг снижает вероятность незамеченных нарушений и сокращает потребность в постоянном наземном патрулировании. Для пенитенциарной системы это приводит к уменьшению количества выходов караульных подразделений на внешние периметры и снижению числа инцидентов, что отражается в предлагаемом коэффициенте режимной эффективности.

Следующее направление применения БПЛА определяется как оперативное выявление очагов вредителей и болезней растений с последующим точечным опрыскиванием. В литературе приводятся оценки экономии распыляемых веществ на уровне 15-20% при использовании БПЛА по сравнению с традиционными наземными опрыскивателями, а также снижение дрейфа химикатов благодаря полету на высоте 1,5-3,5 м и скорости 2,7-6,7 м/с [5, с.23]. Для учреждений ФСИН России эти показатели имеют двойной эффект, связанный как с уменьшением закупок пестицидов при сохранении или росте урожайности и снижением санитарных рисков для осужденных, занятых на полевых работах. Перспективы внедрения БПЛА в сельскохозяйственную деятельность ФСИН России связаны с возможностью снижения зависимости от пестицидов за счет точного применения средств защиты растений и раннего выявления очагов заболеваний. Переход к дифференцированному внесению агрохимикатов позволяет уменьшить суммарный объем применяемых препаратов при сохранении или росте урожайности, что важно в условиях ужесточения санитарных требований и ограничений на использование отдельных действующих веществ. В контуре ФСИН России это дополнительно снижает нагрузку на систему медицинского обеспечения осужденных, сокращая риск токсических воздействий на участников полевых работ.

Результаты исследования

Предлагаемый в работе методологический аспект в оценке эффективности внедрения беспилотных систем в агросектор ФСИН России состоит в отказе от разового сопоставления затрат на БПЛА и достигнутого эффекта по урожайности в пользу динамической модели, где состояние каждого поля описывается как временной ряд вегетационных индексов, влажности и интенсивности нарушений.

Базовый вариант такого методического подхода, где используется статическая оценка путем сравнения средних показателей урожайности до и после внедрения БПЛА по основным культурам, дополняется следующими аспектами. Для учреждений ФСИН каждый год делится на дискретные интервалы наблюдения, по которым рассчитываются не только итоговые урожайные показатели, но и траектория предотвращенных потерь. С точки зрения экономической оценки затраты на внедрение БПЛА в агропроизводство ФСИН России включают стоимость комплексов, обучение операторов из числа личного состава и осужденных, амортизация и регламентные работы. Поскольку интенсивное использование БПЛА обусловлено относительной доступностью оборудования и высокой отдачей в виде экономии ресурсов и роста урожайности, следует дополнительно учитывать затраты на адаптацию регламентов полетов над режимными объектами и интеграцию с ведомственными системами безопасности, что увеличивает первоначальные инвестиции, но при этом укрепляет контроль над внешним периметром учреждений.

На следующем шаге вводится коэффициент режимной эффективности K_{reg} , отражающий экономию ресурсов подразделений охраны и снижение числа инцидентов за счет использования БПЛА для воздушного патрулирования внешних границ сельскохозяйственных угодий. В простейшем виде K_{reg} определяется как отношение приведенной стоимости сокращенных затрат на патрулирование и устранение последствий

нарушений к суммарным эксплуатационным расходам на использование БПЛА по задачам охраны полей. При расчете числителя используются данные о среднем количестве выходов караульных подразделений в год, средней стоимости одного выхода и среднем размере ущерба от хищений урожая и повреждений ограждений, которые устанавливаются по статистическим данным. Механизм влияния БПЛА на данный коэффициент заключается в том, что регулярный воздушный мониторинг позволяет либо отказаться от части наземных обходов, либо перевести их в режим выборочного контроля, уменьшая нагрузку на личный состав и одновременно повышая вероятность фиксации нарушений.

Коэффициент режимной эффективности интегрируется в общую модель возврата инвестиций по БПЛА через показатель дисконтированного предотвращенного ущерба. Для учреждений ФСИН России экономический результат внедрения БПЛА в агропроизводство формируется из трех основных блоков: прирост валовой продукции за счет повышения урожайности, экономия ресурсов (семена, удобрения, средства защиты растений, вода, ГСМ) и предотвращенный ущерб (потери от вредителей, болезней и хищений, а также от нарушений режима эксплуатации инфраструктуры). В отличие от классической схемы «дополнительная выручка минус дополнительные затраты» предлагается рассматривать предотвращенный ущерб как отдельный денежный поток, подлежащий дисконтированию на весь срок службы БПЛА.

Для формализации вышеизложенного используется показатель дисконтированного предотвращенного ущерба DPU , рассчитываемый как сумма по годам планового горизонта

использования комплекса:
$$DPU = \sum_{t=1}^T \frac{U_t}{(1+r)^t},$$
 где U_t – денежная оценка предотвращенных

потерь в году t , r – ставка дисконтирования, отражающая стоимость бюджетных ресурсов или норматив эффективности капитальных вложений для учреждений ФСИН России, T – срок эксплуатации БПЛА с учетом нормативного ресурса и возможной модернизации. Величина U_t включает следующие компоненты: уменьшение потерь урожая от агробиологических факторов, уменьшение потерь от хищений и несанкционированного сбора продукции, снижение расходов на ликвидацию последствий нарушений мелиоративной инфраструктуры. Такой подход позволяет сопоставлять разовые капитальные вложения в БПЛА с распределенным во времени эффектом, привязав оценку к реальному сроку службы техники.

На основе показателя DPU и традиционного дисконтированного эффекта от прироста урожайности формируется показатель ROI для внедрения БПЛА в агросекторе ФСИН России. В общем виде ROI определяется как отношение суммарного дисконтированного эффекта (прирост валовой продукции плюс экономия ресурсов плюс дисконтированный предотвращенный ущерб) к суммарным приведенным затратам на приобретение, обслуживание и эксплуатацию БПЛА. При этом в числитель добавляется компонент $K_{reg} \cdot C_{guard}$, где C_{guard} характеризует приведенную стоимость расходов на охрану внешнего периметра, сокращаемых за счет автоматизации контроля. Такой способ расчета отражает специфику пенитенциарных учреждений, где охранная составляющая существенно влияет на общие затраты и риски.

Предлагаемая модель распределения полетных заданий между БПЛА и наземными патрулями базируется на принципе приоритизации задач по критериям экономической значимости и режимной чувствительности. В течение вегетационного периода полетные слоты делятся на следующие категории: регулярный агромониторинг (плановые облеты полей с целью оценки состояния посевов и почвы), усиленный режимный контроль (облеты зон, прилегающих к внешнему периметру и сельхозобъектам, где зафиксированы нарушения), оперативные вылеты по сигналам (обнаружение очагов заболеваний или несанкционированной активности). Для каждой категории определяется минимальная периодичность облетов и допустимое время реакции, после чего на основе вместимости

аккумуляторов, полезной нагрузки и ограничений по высоте полета формируется расписание полетных заданий.

При этом наземные патрули концентрируются на участках, где использование БПЛА ограничено нормативами полетов над режимными объектами либо метеоусловиями. Такая схема перераспределения задач позволяет сократить долю «слепых» обходов, когда маршрут патруля заранее не ориентирован на выявленные рискованные зоны, и одновременно увеличить долю целенаправленных проверок, инициируемых по результатам анализа данных с БПЛА. В результате численность и нагрузка на наземные обследования может быть оптимизирована без ухудшения уровня безопасности, что формирует экономический результат по линии персонала [6, с.378].

Реализация описанного подхода требует адаптации технической архитектуры комплекса управления БПЛА к условиям закрытых территорий учреждений ФСИН России. Стандартные коммерческие программные системы для планирования полетов (DroneDeploy, Pix4D, DJI Terra и др.) ориентированы на использование в открытых сельхозугодьях и не учитывают наличие запретных секторов, вертикальных ограничений по высоте и режимных зон с повышенными требованиями к конфиденциальности данных. Для учреждений ФСИН России необходимо внедрение специализированных трековых планировщиков, которые позволяют автоматически формировать полетные маршруты с учетом картографически заданных зон запрета и предельных высот, а также регламентировать пересечение границ режимных участков.

Технические ограничения БПЛА (ограниченное время полета, зависимость от погодных условий, ограниченная полезная нагрузка, вычислительные ограничения бортовых систем) оказывают прямое влияние на выбор конфигурации комплекса под задачи УИС. Для задач мониторинга посевов и почв в большинстве случаев достаточно среднеклассных мультикоптеров со временем полета 20-30 минут и полезной нагрузкой до 5 кг, однако для контроля протяженных мелиоративных каналов и внешних границ сельхозугодий более целесообразно применение планерных или гибридных БПЛА с увеличенным временем пребывания в воздухе. В условиях северных регионов учреждения УИС сталкиваются с дополнительными ограничениями по температурному режиму эксплуатации аккумуляторов и ветровым нагрузкам, что отражается на фактической доступности БПЛА в течение года и должно учитываться в расчете годового фонда полетного времени.

Юридические ограничения полетов над режимными объектами формируют отдельный блок рисков. Регламент полетов должен содержать, по меньшей мере, описание допустимых высот, расстояний до ограждений и зданий, перечень территорий, где использование БПЛА запрещено или допускается только с сопровождением оперативных подразделений. При этом часть задач мониторинга (например, контроль состояния кровель складов и ферм) может решаться с использованием наземных роботизированных средств или стационарных видеосистем, а БПЛА выступают как дополнение для инспекции труднодоступных участков. Такая комбинированная схема снижает вероятность нештатных ситуаций, связанных с полетами над режимными объектами, и сокращает спектр юридических согласований.

Программно-алгоритмические ограничения связаны с отсутствием специализированных модулей обработки данных, ориентированных на агропроизводство учреждений ФСИН России. Стандартные решения для точного земледелия предполагают интеграцию с коммерческими системами управления хозяйством и типовыми базами агрономических нормативов. В пенитенциарной системе требуется иной контур: информация о состоянии посевов и почв должна интегрироваться с планами производственных работ, графиками привлечения осужденных к труду и планами охраны периметра. Данный фактор предполагает разработку ведомственных модулей принятия решений, где результат анализа мультиспектральных снимков автоматически

трансформируется не только в агротехнические решения, но и в корректировку маршрутов патрулирования и распределение рабочих смен.

При этом ключевым ограничением на ближайшую перспективу остается кадровый вопрос. Для эксплуатации БПЛА в агросекторе ФСИН России требуется подготовка операторов с компетенциями не только в области пилотирования, но и в обработке данных дистанционного зондирования, базовой агрономии и понимании режимных требований [7, с.29]. Потенциально часть этих функций может быть передана осужденным, прошедшим специализированное обучение, что создает дополнительный социальный эффект в виде приобретения ими востребованных на рынке труда навыков [8, с.11]. Однако при расчете экономической эффективности этот эффект относится к социальным результатам и не включается в денежные показатели ROI, а отражается в качественной части анализа.

Заключение

Предложенный методический подход позволяет учесть специфические для учреждений ФСИН России факторы, включая режимность территории, концентрацию сельхозугодий вокруг объектов, использование труда осужденных, потребность в усиленном контроле внешнего периметра. В отличие от базового подхода, примененного для оценки эффективности БПЛА в сельском хозяйстве гражданского сектора, где акцент сделан на приросте урожайности и экономии ресурсов, здесь существенная часть эффекта формируется по линии предотвращенного ущерба и оптимизации охранной деятельности, что влияет на структуру денежного потока и требует обязательного использования дисконтирования для корректного сравнения с разовыми инвестиционными затратами на закупку и внедрение комплексов БПЛА.

Список источников

1. Абдыкадыров С.К., Исаева А.Э. Об экономической эффективности применения БПЛА в сельском хозяйстве // ВОГУЭ. 2024. №2 (5).
2. Карпухин М.Ю., Инышева В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в АПК // АОН. 2024. №1.
3. Федорова, Л.А. Экономика и организация сельскохозяйственного производства в учреждениях уголовно-исполнительной системы: учебное пособие. – Рязань: Академия ФСИН России, 2021.
4. Бахтин А.С. Цифровая трансформация пенитенциарных систем: зарубежный опыт и российские перспективы // Ведомости уголовно-исполнительной системы. 2023, № 4. С. 15-23.
5. Джавадова А.С. Искусственный интеллект в управлении агрорисками: преимущества и угрозы // Нанотехнологии: наука и производство. 2025, № 4. С. 21-24.
6. Царькова Е.Г., Бодров Е.Н. К вопросу формирования цифровой культуры в процессе профессиональной подготовки сотрудников уголовно-исполнительной системы Российской Федерации // Евразийский юридический журнал. 2023. № 3(178). С. 377-379.
7. Бабина Ю.В., Кузнецова И.Г. Необходимость совершенствования системы управления рисками сельского хозяйства через развитие финансовой грамотности // Экономика сельского хозяйства России. 2025, № 11. С. 28-36.
8. Царькова Е.Г. К вопросу применения интеллектуальных диалоговых помощников при внедрении программного обеспечения специального назначения // Безопасность. Управление. Искусственный интеллект. 2022. Т. 3, № 3(3). С. 10-17.

Сведения об авторе

Царькова Е.Г., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела исследования проблем социологического обеспечения и прогнозирования деятельности ФКУ НИИ ФСИН России, Москва, Россия

Information about the author

Tsarkova E.G., Ph.D., Leading Researcher at the Department of Research on Problems of Sociological Support and Forecasting of the Federal Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Moscow, Russia