Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.145/.147: 614.842/.847

ББК 44.9

Развитие интеграции технологических процессов точного земледелия и противопожарной защиты

Катин О.И.[1], Ворошилов И.В.[2]

[1]Донской государственный технический университет

[2]ООО «Краснодарский компрессорный завод»

Аннотация

В связи с существующими в мире проблемами продовольственной безопасности, работы, направленные на их решение, имеют высокую актуальность. В результате анализа различных подходов в сельском хозяйстве и противопожарной защите была выявлена необходимость интеграции технологических процессов. В рамках этого был выполнен системный синтез модели агропожарного комбайна-дирижабля, который объединяет все агротехнологии и технику точного земледелия с функциями тушения пожаров атмосферным азотом, сепарированным мембранной азотной станцией. Представлены результаты моделирования, подтверждающие возможность тушения пожаров сверхзвуковыми потоками охлаждённого азота с высоты 50 м., которые подтверждают, что агропожарные комбайны-дирижабли обладают неконкурируемым преимуществом не только в тушении пожаров сельхозугодий и лесных массивов, но и в организации сельского хозяйства за счёт предлагаемой интеграции инновационных решений.

Ключевые слова: АГРОТЕХНОЛОГИИ, БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АВИАЦИЯ, ПРОТИВОПОЖАРНАЯ АВИАЦИЯ, МЕМБРАННЫЕ СЕПАРАТОРЫ ВОЗДУХА, ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЗОПАСНОСТИ И АГРОТЕХНОЛОГИЙ, ГИБРИДНЫЕ ДИРИЖАБЛИ

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Введение

Академик ВАСХНиЛ Иван Семёнович Шатилов был известным советским и российским учёным-агрономом, основоположником точного земледелия в СССР. Он предложил использовать точное земледелие для оптимизации сельскохозяйственного производства. И.С. Шатилов также разработал ряд методов и агротехнологий «точного растениеводства», включая определение оптимальных режимов мелиорации и внесения удобрений и пестицидов на основе анализа почвы и растительности. Его работы были отмечены многими наградами и практически внедрены в ряде совхозов и колхозов нашей страны как «автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в земледелии» [1].

Однако в настоящее время сельское хозяйство и технологии обработки почвы претерпели значительные изменения, в т.ч. в угоду желанию увеличить производительность сельхозугодий. Для сохранения плодородия почвы на длительный срок необходимо тщательно рассчитывать внесение удобрений и планировать процессы с учётом режимов восстановления. Часто этим пренебрегают в погоне за кратковременным увеличением урожайности. Необходимо постоянно совершенствовать и дорабатывать существующие концепции продовольственной и водной безопасности по мере развития наукоёмких технологий [2].

Также не менее значимой и трудной задачей является защита урожая от естественных и антропогенных факторов [3], включая лесные, торфяные и степные пожары [4], которые способны не только уничтожить урожай, но и на длительное время сделать верхний слой почвы непригодным для посева [5].

Из-за указанных проблем возникла необходимость решить научно-технические задачи, связанные с самоорганизацией аграрных технологий и разработкой технологий защиты сельскохозяйственных угодий от пожаров.

Методы и средства

На данный момент разрабатываются и используются различные системы мониторинга для контроля состояния почв и обнаружения пожаров на сельскохозяйственных угодьях, такие как малая авиация, беспилотные летательные

аппараты и спутники [6]. Однако эти системы не синхронизированы друг с другом и не имеют единой базы данных, что затрудняет решение проблем [7].

Статистические данные указывают на то, что малая авиация обладает достаточной дальностью полёта и грузоподъёмностью, что позволяет не только осуществлять контроль за большими территориями, но и проводить обработку полей и садов, однако эксплуатация малой авиации требует значительных затрат, что делает её использование невыгодным для малых хозяйств [8].

Развитие навигационных систем привело к бурному росту использования дронов в агропромышленности, так как они могут обеспечивать мониторинг почвы, болезней и вредителей, а также обработку посевов. Однако ограниченные грузоподъёмность и время работы на аккумуляторах делают их непригодными для использования на больших площадях или в труднодоступных местах. Для решения этой проблемы было предложено использовать гибридные дирижабли, которые сочетают свойства самолётов, дирижаблей и вертолётов [9].

В этом случае дирижабль может быть использован для мониторинга и управления сельскохозяйственными угодьями. Он оснащается специальным оборудованием для сбора данных о почве, влажности, температуре и других параметрах окружающей среды, с помощью которых можно оптимизировать расход ресурсов и увеличить урожайность. Дирижабль также можно использоваться для распыления удобрений и пестицидов с высокой точностью и минимальным воздействием на окружающую среду. Кроме того, он может быть использован для быстрого обнаружения и локализации проблемных зон на полях, таких как болезни растений или повреждения от насекомых. В целом, дирижабль для «умного земледелия» может значительно повысить эффективность и качество сельскохозяйственного производства.

Дирижабли имеют одно из главных преимуществ - минимальные затраты энергии для перемещения и поддержания высоты. Благодаря силе Архимеда они могут парить на любой высоте, сохраняя свою грузоподъёмность. Это позволяет значительно сократить эксплуатационные затраты, по сравнению с малой авиацией, и уменьшить стоимость производства в сотни раз [10]. Использование инертного газа гелия и современных материалов с низким уровнем гелиопроницаемости означает, что необходимость в пополнении несущего газа в летательном аппарате невелика. Это приводит к увеличению

расчётной надёжности и долговечности дирижаблей в сотни раз, а безопасность их использования возрастает в тысячи раз [11].

Дирижабли имеют принципиальное преимущество, заключающееся в том, что они могут осуществлять посадку и взлёт на любых площадках без необходимости специального оборудования и аэродромов. Благодаря этому они являются очень эффективным решением для точного земледелия. Большая грузоподъёмность дирижаблей позволяет оснащать их современной навигационной аппаратурой, измерительными приборами и агротехнологическим оборудованием, включая системы полива и внесения удобрений как на больших, так и отдельных участках полей, а также обеспечивать транспортирование урожая в пункты обработки без использования автотранспорта и потерь из-за бездорожья и при погрузочно-разгрузочных работах [12].

Результаты

Лучшей техникой для борьбы с пожарами являются противопожарные самолёты и вертолёты (рис. 1) МЧС России [13], но они не могут решить проблему перерывов в тушении пожаров из-за необходимости пополнения запасов воды [14, 15]. Поэтому для устранения этих недостатков были разработаны способы тушения лесных, степных и торфяных пожаров атмосферным азотом с помощью мембранных (МСВ) и термомагнитных сепараторов воздуха (ТМСВ), которые защищены патентами РФ [16, 17].

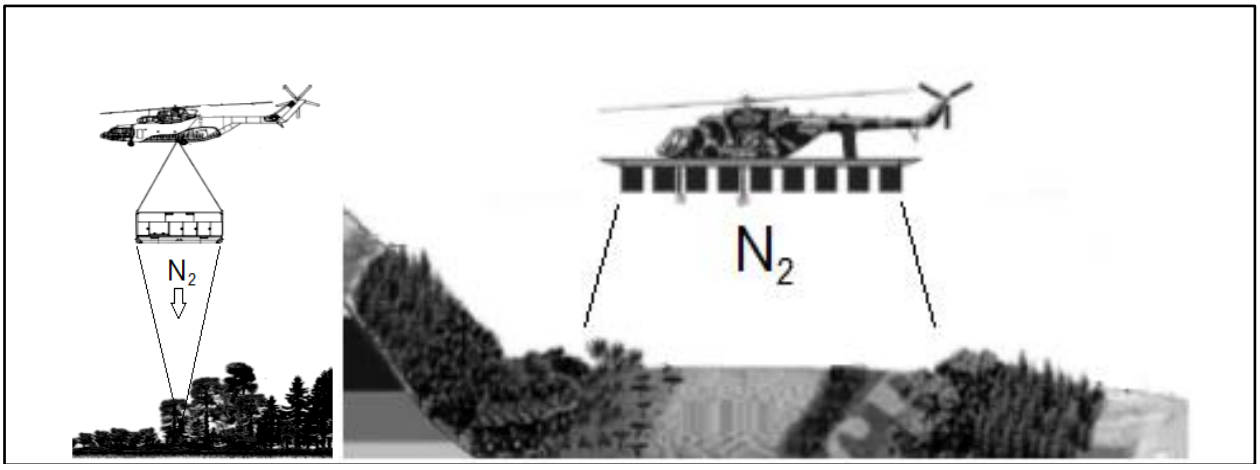

Рис. 1. Тушение лесных и ландшафтных пожаров Ми-26 и Ми-8

В соответствии с упомянутыми принципами разработанные дирижабли с контейнерной азотной мембранной станцией Краснодарского компрессорного завода (ККЗ), используемые в точном земледелии [18, 19], имеют преимущества также и в борьбе с пожарами. Так как для тушения нет необходимости пополнять запасы огнетушащего состава, агропожарный дирижабль может быстро реагировать на возникший пожар, выполняя дистанционное обнаружение загораний во время работы на сельхозугодиях. Это значительно повышает продовольственную и пожарную безопасность в регионе применения, так как быстрая реакция на пожар снижает потери от огня [20, 21].

По данным Международного независимого института аграрной политики за 2008–2015 годы, средняя урожайность пшеницы в мире составляет 31.4 центнера с гектара. Такая низкая урожайность обусловлена тем, что в тракторном земледелии поверхностный слой почвы многократно утрамбовывается и укатывается многочисленной самоходной и прицепной техникой, практически не применяется орошение и т.д. [22, 23].

Исследования возможностей применения дирижаблей привели к созданию концепции «агропожарного комбайна-дирижабля» (АПКД), который может контролировать и поливать сельхозугодия, тушить пожары атмосферным азотом, а также обрабатывать почву, сеять семена и собирать урожай без повреждения почвы колёсами и гусеницами. Для этого АПКД оснащён сменным контейнером, из которого выдвигаются навесные инструменты для сбора урожая, а также газоторфяные стволы-термо-электро-зонды для капельного орошения и внесения удобрений. Кроме того, дирижабль может самостоятельно оттранспортировать собранный урожай [24, 25].

В основу агро-пожарного комбайна-дирижабля были положены отечественные гибридные дирижабли линзообразной формы «Аэросмена», защищённые Патентами РФ [20]. Эта форма оказалась более устойчивой к воздействиям ветра, что является важным фактором для точного позиционирования при посеве и использовании системы капельного орошения и внесения удобрений [26, 27].

После проведения предварительной компоновки было установлено, что гибридный дирижабль "Аэросмена" с диаметром в 50 метров и высотой в 36 метров, имеющий грузоподъёмность 60 тонн, является оптимальным для разработки агропожарного комбайна (рис. 2) [28, 29]. Эта модель позволяет эффективно расположить мембранную станцию, вспомогательный контейнер для пожарной техники и персонала, а также

сменный контейнер с выдвижной сельхозтехникой, приводимой в движение дизельным генератором мощностью 750 КВт. В случае пожара генератор переключается на мембранную азотную станцию, а в остальное время обеспечивает работу выдвижных органов сельхозтехники.

Такая компоновка позволяет работать с необходимой точностью позиционирования 1–3 см. и скоростями передвижения АПКД над полями сельскохозяйственных культур от 3,6 до 14,4 км/ч.

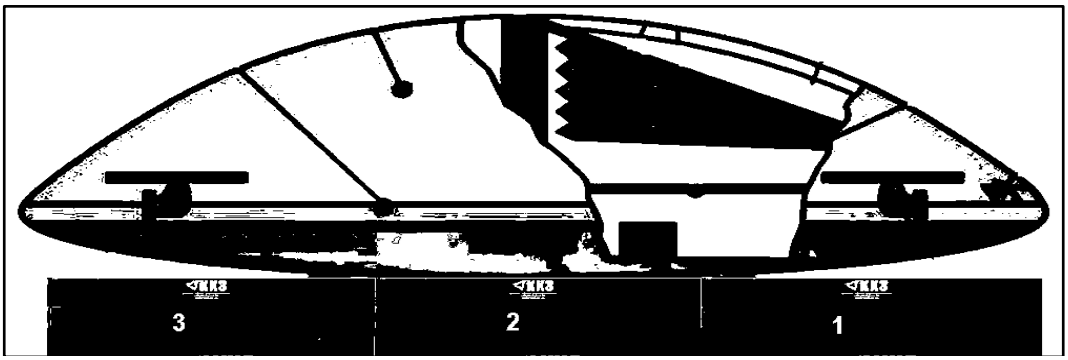

Рис. 2. Схема агропожарного комбайна-дирижабля

Примечание: 1-сменный контейнер (с выдвижными сельскохозяйственными агрегатами); 2- контейнерная мембранная станция; 3 – вспомогательный контейнер (с пожарной или/и агротехникой и спасателями/специалистами).

Численный расчёт демонстрирует, что использование ресивера высокого давления с четырьмя соплами Лаваля (рис. 3) позволяет успешно тушить любые ландшафтные пожары на высоте 50 метров [30, 31].

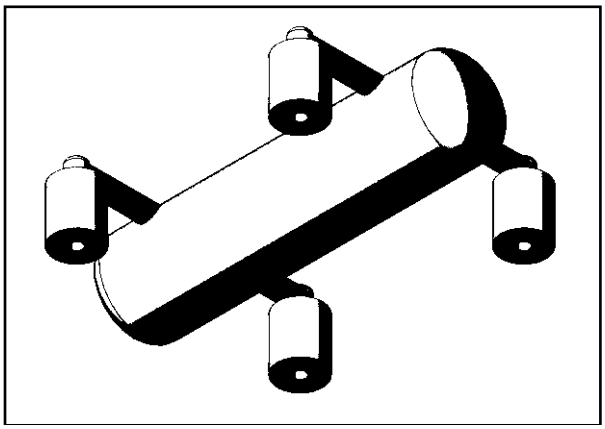

Рис. 3. Эскиз ресивера с соплами Лаваля для контейнерной мембранной станции азотного пожаротушения агропожарного дирижабля

Специально разработанный скрипт Matlab был использован для расчёта параметров сопла Лаваля в заданном диапазоне входного давления от 100 до 250 атмосфер (рис. 4). Полученные результаты были использованы для создания 3D моделей сопел различной конфигурации. Затем в программе SolidWorks Flow Simulation было проведено моделирование течения азота из сопла [32, 33].

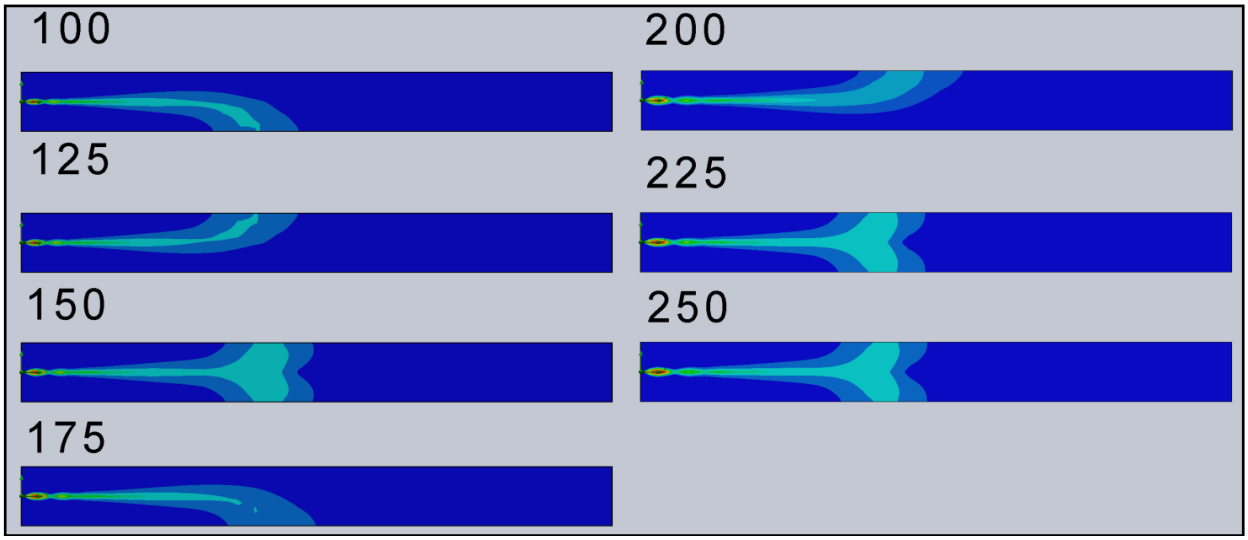

Рис. 4. Моделирование сопел Лаваля в диапазоне номинального давления от 100 до 250 атмосфер

Результаты моделирования показали, что изменение входного давления и номинального давления сопла не привело к значительному увеличению дальности сверхзвукового течения. Например, сопла, рассчитанные на давление около 100 атмосфер, формировали струю, которая ослабевала и теряла устойчивость потока уже на расстоянии 15 метров. Увеличение давления свыше 150 атмосфер могло привести к возникновению завихрений, которые негативно влияли на распространение азота. Кроме того, на выходе из сопла могли наблюдаться завихрения, которые также мешали формированию устойчивого потока.

На основании полученных данных, для достижения цели было принято решение увеличить производительность сопла до 40 кг/с и выбрать номинальное давление в 150 атмосфер. В результате удалось сформировать устойчивую струю азота, которая достигала поверхности земли на расстоянии 50 метров, сохраняя скорость выше скорости звука. Проблема завихрений потока была решена благодаря повышенной

производительности, которая обеспечила достаточную плотность сверхзвуковой струи для преодоления окружающего воздуха без отклонения от оси сопла (рис. 5).

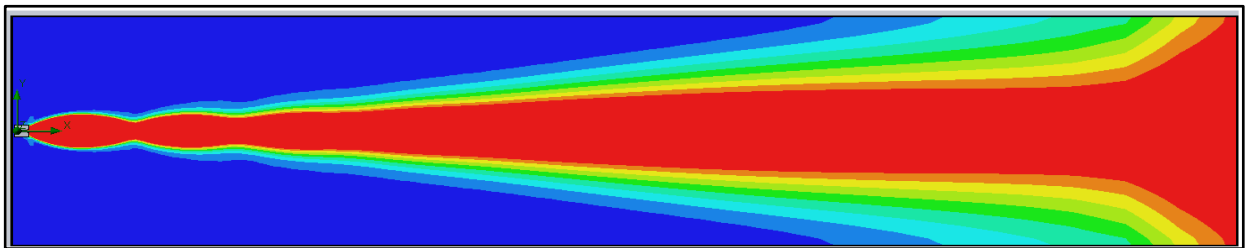

Рис. 5. Структура сверхзвукового «азотного пакета» на расстоянии 50 метров до очага пожара

Было проведено моделирование движения частиц азота (рис. 6) при размещении сопел по углам контейнера системы азотного пожаротушения.

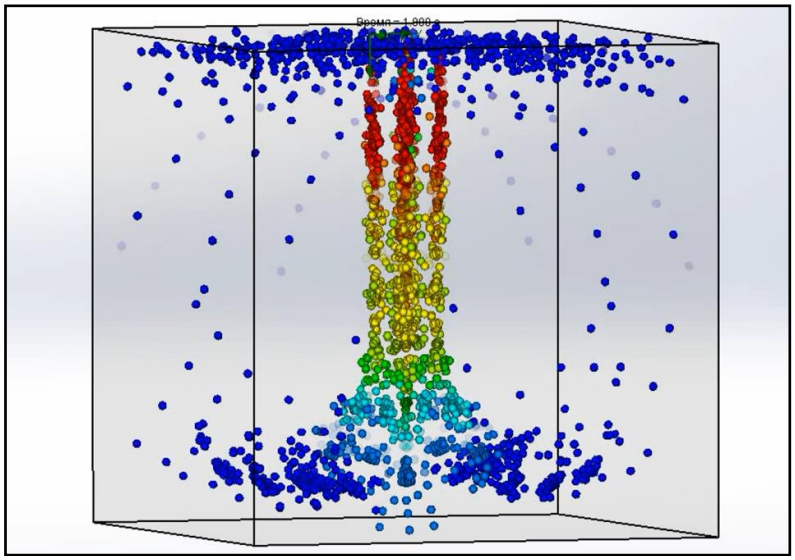

Рис. 6. Модель течения азота от установки азотного пожаротушения до поверхности земли

Полученный график демонстрирует, что сопла Лаваля формируют плотные, охлаждённые за счёт адиабатного расширения азотные потоки, достигающие поверхности, а затем распространяющиеся в стороны, создавая конусообразную область, заполненную азотом. Внутренняя часть потока поможет отсечь пламя и охладить очаги пожара, а внешняя обеспечит защиту от повторного возгорания, связанного с поступлением кислорода.

Таким образом, проведённое моделирование с применением отечественных научных трудов и инноваций доказало возможность и целесообразность создания на базе гибридных дирижаблей линзообразной формы «Аэросмена» агропожарных комбайнов-дирижаблей, способных реализовать современные наукоёмкие технологии земледелия и противопожарной защиты сельхозугодий и лесных массивов России.

Заключение

На основе системного анализа агротехнологий земледелия и растениеводства, в частности трудов отечественных учёных - И.Е. Овсинского, академиков Д.Н. Прянишникова и И.С. Шатилова, была выполнена оптимизация указанных процессов и осуществлён системный синтез модели агро-пожарного комбайна-дирижабля.

Как показало моделирование, АПКД может не только вывести отечественное земледелие на неконкурируемый уровень производства и качества сельскохозяйственной продукции, но и создать основу для взаимодействия региональных подразделений Рослесхоза, Росагропрома и МЧС РФ в целях обеспечения продовольственной и пожарной безопасности России, а именно:

во-первых, путём обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур, не повреждая верхний слой почвы колёсами и гусеницами тракторов;

во-вторых, путём применения динамического «капельного орошения» без укладки труб и капельниц «корневого внесения» воды и удобрений;

в-третьих, путём уборки урожая «навесными косилками» с более высокой скоростью и качеством. А заполнив ёмкость урожаем, дирижабль может оттранспортировать его самостоятельно к месту обработки (сушки, сортировки и т.д.) без потерь из-за «дефектов сельских дорог», после чего вернуться на поле и продолжить работу;

в-четвёртых, путём оперативного привлечения к тушению обнаруженных пожаров, а также к круглосуточному патрулированию (при «агротехнологических паузах») по оптимальным маршрутам территории региона, включая горные районы, что недоступно ни существующим средствам, ни отдельными службам (МЧС, Рослесхоз, Росагропром) из-за ограниченности материальных и людских ресурсов, а также благодаря безопасному и удобному (без парашютного) «десантированию» агро-специалистов и/или пожарных-

спасателей с необходимыми техническими средствами, располагаемыми во вспомогательном контейнере, в любом месте маршрута для выполнения агротехнологий точного земледелия и/или организации противопожарной обороны.

Принимая во внимание, что эксплуатационные затраты на передвижение дирижабля и его зависание и/или приземление в любом месте региона охраны и/или точного земледелия на несколько порядков ниже затрат других авиационных средств, а азотная мембранная станция является «источником бесконечного огнетушащего состава» из атмосферы, что не требует доставки к очагу пожара воды или других огнетушащих средств, реализация предлагаемого подхода создаёт не только научно-технологический приоритет РФ в технологии тушения ландшафтных и лесных пожаров, но и обладает неконкурируемым качеством в организации сельского хозяйства за счёт предлагаемой интеграции указанных инновационных решений.

Список использованных источников:

1. Абросимов Д.В., Белозеров В.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Филимонов М.Н., Белозеров Вл.В. Способ обнаружения и тушения вертолетом ландшафтных пожаров инертными атмосферными газами // Патент РФ на изобретение 2732748; заявл. 18.02.2020; опубл. 22.09.2020 Бюл. № 27.

2. Авиационные системы: экспресс-информация (по материалам зарубежной печати, составитель О.В. Семичастный // ЭИ. 2015. № 49. [Электрон. ресурс] – URL: http://tlib.gosniias.ru/get_issue.php?id=33275

3. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая: Принципы АСУ ТП в земледелии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 320 с.

4. Академик Дмитрий Николаевич Прянишников (К 50-летию научной деятельности) / Н.И. Вавилов // Доклады ВАСХНИЛ. 1938, вып. 23—24. - С. 3–6.

6. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Катин О.И., Никулин М.А. Синергетика и интеграция агротехнологий и технологий противопожарной защиты сельхозугодий, лесов и торфяников // Успехи современного естествознания. - 2021. - № 10. - С. 13–19.

7. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Зубков С.Г., Никулин М.А., Топольский Н.Г., Белозеров Вл.В. Способ обнаружения и тушения пожаров сельхозугодий, степных и лесных массивов атмосферным азотом // Патент на изобретение 2766070 C2; заявл. 07.08.2020; опубл. 07.02.2022 Бюл. № 4.

8. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Обухов П.С., Белозеров Вл.В. Способ обнаружения, предотвращения распространения огня и тушения лесных пожаров атмосферным азотом с помощью вертолета // Патент РФ на изобретение 2730906; заявл. 17.02.2020; опубл. 26.08.2020 Бюл. № 24.

9. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Кальченко И.Е., Мальцев Г.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Олейников С.Н. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способ // Патент на изобретение 2530397 С1; заявл.22.02.2013; опубл.10.10.2014 Бюл. № 28.

10. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Катин О.И., Никулин М.А., Белозеров Вл.В. Способ земледелия и защиты сельхозугодий и лесных массивов агропожарными комбайнами-дирижаблями // Заявка на изобретение № 2022134688 от 27.12.2022.

11. Белозеров В.В., Денисов А.Н., Катин О.И., Никулин М.А., Белозеров Вл.В. Способ реализации агротехнологий и противопожарной защиты сельхозугодий и лесных массивов с помощью дирижабля // Патент РФ на изобретение 2751365; заявл. 19.11.2020; опубл. 13.07.2021 Бюл. № 20.

12. Белозеров В.В., Долаков Т.Б. О синергетическом подходе к решению проблем водной и продовольственной безопасности // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции «Интерагромаш-2019». Ростов н/Д: ДГТУ, АНЦ «Донской». 2019. С. 572–577. – DOI: https://doi.org/10.23947/interagro.2019.7.572-577 .

13. Белозеров В.В., Катин О.И., Никулин М.А. Обоснование применения противопожарного дирижабля в сельском и лесном хозяйстве //Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: сборник материалов. национальной научно-практической конференции, (Тюмень, 21-23 октября 2020 г.) - Тюмень: изд. ГАУСЗ, 2020. - С. 4–10.

14. Белозеров В.В., Катин О.И., Никулин М.А. Об интеграции современных наукоемких агропожарных технологий // Современные наукоемкие технологии. - 2021. - № 6–2. - С. 239-247.

15. Белозеров В.В., Кравченко Е.С., Никулин М.А. О новом уровне автоматизации в рамках АСУ ТП в земледелии академика Шатилова И.С. //Студенческий научный форум 2023 [Электрон. ресурс]. - URL: https://scienceforum.ru/2023/article/2018032214

16. В России разработан аванпроект транспортного дирижабля грузоподъёмностью до 200 тонн [Электрон. ресурс] – URL: https://sdelanounas.ru/blogs/18087/

17. Ворошилов И.В., Мальцев Г.И., Кошаков А.Ю. Генератор азота // Патент РФ на изобретение 02450857, заявл. 24.08.2010; Опубл. 20.05.2012 Бюл. № 14.

18. Вертолеты на службе у сельского хозяйства [Электрон. ресурс] – URL: https://helico-russia.ru/blog/vertolety-na-sluzhbe-u-selskogo-khozyaystva

19. Голубятников В.Н., Пензин С.Б., Козлов О.А. Гибридный дирижабль линзообразной формы // Патент РФ на изобретение 2546027 от 10.08.2012, опубл. 10.04.2015 Бюл. № 10.

20. Многоцелевой дирижабль Au-30 [Электрон. ресурс] – URL: http://rosaerosystems.ru/airships/obj676

21. Можейко О. Комплексная система защиты зерновых культур //Глав Агроном. 2021. № 1379 [Электрон. ресурс]. - URL: https://glavagronom.ru/articles/kompleksnaya-sistema-zashchity-zernovyh-kultur

22. МЧС России – Авиация – Техника [Электрон. ресурс] – URL: https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye-podrazdeleniya/aviaciya/tehnika

23. Овсинский И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1899 г. (Киев, тип. С.В. Кульженко)–Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ, 2004. – 86 с.

24. Передвижные азотные компрессорные станции ТГА – оперативное обеспечение труднодоступных объектов сжатым азотом // Бурение и нефть. - 2012. - №5, 2012. - С. 64–65.

25. Перспективы применения малой и беспилотной авиации в сельском хозяйстве [Электрон. ресурс] – URL: https://agrostory.com/info-centre/agronomists/perspektivy-primeneniya-maloy-aviatsii-v-selskom-khozyaystve

29. Тужилин С.Ю. Практическая биодинамика в Сибири – Иркутск: ОАО «Иркутская типография № 1», 2002. – 66 с.

31. Шевченко А.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве // Робототехника и техническая кибернетика. - 2019. - Т. 7. - № 3. - С. 183–195; DOI: https://doi.org/10.31776/RTCJ.7303.

32. Kurakov F.A. Technologies of extinguishing landscape fires as a possible scientific and technological priority of the Russian Federation // Economics of science. - 2017. - Vol. 3. - No. 3. - pp. 214-226; DOI: https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-3-3-214-226.

33. Valery Belozerov, Mihail Nikulin and Nikolay Topolsky Nanotechnology for the suppression of fires in agricultural land and forests / XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020» // E3S Web Conf., 175 (2020) 12007; DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017512007

==========

Цитирование:

Катин О.И., Ворошилов И.В. Развитие интеграции технологических процессов точного земледелия и противопожарной защиты [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_250.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202132250.