

ния по поверхности поля с коэффициентом вариации не превышающим 8 – 10 %. Кроме того, ввиду наличия на штанговых распределяющих рабочих органах катушечных дозаторов появляется возможность дифференцированного распределения удобрений не только по направлению движения, но и по ширине захвата [3].

Заключение

Применение штанговых машин для внесения твердых минеральных удобрений для выравнивания пестроты плодородия почв имеет значительные перспективы, поскольку наличие катушечных дозаторов на штанговых распределяющих рабочих органах позволяет осуществлять дифференцированное внесение удобрений как по ширине захвата так и по направлению движения агрегата.

Список использованных источников

1. Степук, Л. Я. Недобор и потери урожая как следствие наличия проблем в сфере технического обеспечения сельского хозяйства / Л.Я. Степук, В.Р. Петровец, И.В. Барановский / Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии: сб. ст. / УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». – Горки, 2017. – №2. – С. 132–136.

2. Kaplan, J. Unevenness of Fertilizer Distribution and determination of the Application Rate / J. Kaplan, J. Chaplin. – Proceedings of the 4-th International Conference on Precision Agriculture. – St. Paul, MN, USA. – 1998. – P. 943–952.

3. Степук, Л.Я. Стратегия механизации внесения удобрений / Л.Я. Степук, И.В. Румянцев, Н.М. Марченко, Г.И. Личман // Механизация, энергетика и автоматизация. – Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1999. – №1. – 85–88.

УДК 623.746

Н.В. Кочетов, канд. техн. наук, магистр экономики, доцент
e-mail: nicr1252@vk.com,

И.В. Подорожня, магистр технических наук,

О.Л. Миранович, канд. техн. наук, доцент,

ОАО «Приборостроительный завод Оптрон», г. Минск

В.Ю. Разганой, магистр

Белорусский национальный технический университет

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ БПЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ключевые слова: двс, БПЛА, температура двухтактного двигателя, управление системой охлаждения, датчик температуры, обслуживание системы охлаждения.

Keywords: internal combustion engine, UAV, two-stroke engine temperature, cooling system control, temperature sensor, cooling system maintenance.

Аннотация: Статья содержит концепцию гибридной системы охлаждения двс БПЛА. Система комбинации воздушного и водяного охлаждения обеспечивает эффективное поддержание температуры двигателя при минимальных габаритах и весе.

Abstract: The article contains the concept of a hybrid cooling system for an internal combustion engine of a UAV. The system of combination of air and water cooling provides effective maintenance of engine temperature with minimal dimensions and weight.

В период стремительного увеличения спроса на беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА) появилась потребность в подборе и создании специализированного двигателя. Рекомендуется использовать для БПЛА двухтактные двигатели с искровым зажиганием, отмечая их простоту, технологичность, дешевизну и высокую энергоэффективность.

Двухтактные двигатели чаще всего охлаждаются воздушным или жидкостным способом. Воздушное охлаждение основано на естественной циркуляции воздуха, проходящего через ребра на цилиндре. Такой способ охлаждения не требует дополнительных компонентов, таких как насосы и радиаторы, но менее эффективно при высоких температурах окружающей среды, так как воздух менее теплопроводен по сравнению с жидкостью.

Жидкостное охлаждение эффективнее отводит тепло из-за циркуляции охлаждающей жидкости через рубашку вокруг цилиндра, хотя и требует более сложной и дорогой системы, включающей насос, радиатор, шланги и саму охлаждающую жидкость.

В данной работе авторы предлагают компромиссное решение для минимизации расхождения между эффективным охлаждением двигателя и его технико-экономическими показателями.

При интенсивных режимах работы, характерных для многих типов БПЛА, традиционные методы воздушного охлаждения оказываются недостаточно эффективными.

Поэтому нами предложена двойная, – гибридная, система охлаждения: *сочетающая в себе воздушную и жидкостную*. Основное теплоотведение от двигателя БПЛА остается за воздушным потоком, однако при приближении к опасно высоким температурам следует подключать жидкостное, а именно водяное охлаждение. Суть предложенного нами подхода в том, что интенсивный отвод тепла *может быть достигнут другим путем*, например, при **переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое**.

Вода является одним из наиболее теплоемких веществ в природе: при 18 °С удельная теплоемкость составляет 4,19 кДж/(кг · К) [23]. Это означает что для нагрева 1 кг воды с 18 °С до 100 °С потребуется затратить 343,58 кДж.

Но для того, чтобы 1 кг воды в жидком состоянии при 100 °С превратить в пар при этой же температуре необходимо затратить еще энергию для парообразования в количестве 2 260 кДж [23]. Таким образом, парообразование требует в 6,5 раза больше энергии (при той же температуре). При этом образующийся пар переходит в окружающий воздух, а летательный аппарат теряет в весе на эту же величину испарившейся воды.

Дозатор с определённым интервалом времени выпускает порцию воды, чтобы температура всего цилиндра успевала выровняться и цилиндр не «повело» от большого перепада температур. Обычно в материале возникают остаточные деформации при большом перепаде температур между отдельными частями детали за короткий промежуток времени (сварка, закалка в воде). Это возможно только при температурных деформациях, выходящих за пределы упругости материала.

Поскольку направление воды из дозатора идёт в определённую точку, для более равномерного охлаждения цилиндра пришлось бы ставить равномерно по окружности несколько форсунок в кольцевой камере. Это усложняет конструкцию, ухудшая другие параметры (вес, стоимость, надёжность, ремонтоспособность). Например, одно и многоэлектродные свечи зажигания. Последние дороже и менее распространены.

Схема системы водяного охлаждения двухтактного двигателя внутреннего сгорания для БПЛА показана на рисунке 1.

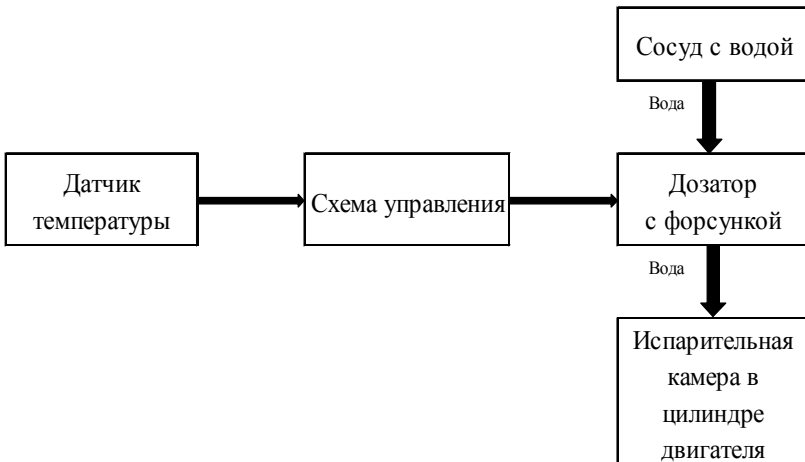


Рисунок 1 – Схема действия системы водяного охлаждения

С целью повышения надежности двигателя для БПЛА была предложена гибридная система охлаждения. Основной поток избыточного тепла отводится традиционно воздушным потоком. В случае увеличения температуры двигателя и выхода за пределы рабочего диапазона начинает работать водяное охлаждение, увеличивающее теплоотдачу в окружающую среду и возвращающее температуру двигателя в рабочий диапазон.

Это позволит продлить ресурс двигателя БПЛА, улучшить надежность, расширить область применения двигателя в различных типах БПЛА, включая аппараты с длительным временем полета и интенсивной нагрузкой.

Дальнейшие исследования направлены на совершенствование системы управления температурой двигателя, систем выпуска и инерционного наддува для двухтактных двс с искровым зажиганием.

Конструктивно практическая реализация водяного охлаждения предлагаемого нами решения может быть выполнена следующим устройством.

Изначально вода находится в сосуде, соединенном трубкой с дозатором. При достижении критического значения температуры цилиндра двигателя срабатывает датчик температуры, подающий сигнал на дозатор для открытия каплепадения. На рисунке 2 описано конструктивное исполнение испарительной камеры.

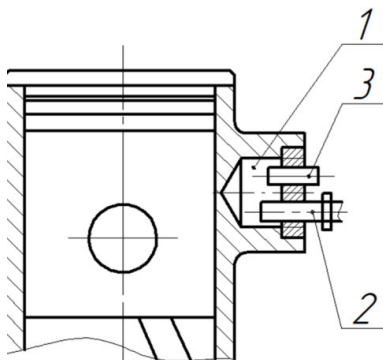


Рисунок 2. – Устройство испарительной камеры:

- 1 – внутренняя поверхность испарительной камеры;
- 2 – гидрофорсунка-дозатор;
- 3 – дренажный клапан

С целью повышения надежности двигателя для БПЛА была предложена гибридная система охлаждения. Основной поток избыточного тепла отводится традиционно воздушным потоком. В случае увеличения температуры двигателя и выхода за пределы рабочего диапазона начинает работать водяное охлаждение, увеличивающее теплоотдачу в окружающую среду и возвращающее температуру двигателя в рабочий диапазон.

Это позволит продлить ресурс двигателя БПЛА, улучшить надежность, расширить область применения двигателя в различных типах БПЛА, включая аппараты с длительным временем полета и интенсивной нагрузкой.

Дальнейшие исследования направлены на совершенствование системы управления температурой двигателя, систем выпуска и инерционного наддува для двухтактных двс с искровым зажиганием.

Список использованной литературы

1. Каталог авиационных двигателей для СЛА / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vidsverhu.ru/aviatehnika/dvigateli> – Дата доступа: 25.06.2025.
2. Черкасов А.Н., Легконогох Д.С., Зиненков Ю.В., Панов С.Ю. Двигатели для отечественных беспилотников: прошлое, настоящее и будущее // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 3. С. 127–137.
3. Кочетов, Н.В., Янкевич, С.Н., Хроль, И.Н., Вальчак, И.И., Постельняк, А.А., Присяженко Г.Р. Эволюция тепловых двигателей // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – №3. – С. 99–104.
4. Справочник по элементарной математике, механике и физике. Под ред. Н.И. Кузнецова. Минск: Наука и техника, 1966. 200 с.

УДК 621.78:631.316.4:519.87

Г.И. Анискович, *канд. техн. наук, доцент*,

В.У. Бондарчук, *канд. физ.-мат. наук*,

М.А. Шевчук, *ассистент*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ В НЕСТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ВОДЫ

Ключевые слова: закалка, глубокорыхлитель, детали, охлаждение, математическая модель, теплопроводность, нестационарный процесс, теплообмен, фазовые превращения, поток воды.

Keywords: quenching, deep ripper, parts, cooling, mathematical model, thermal conductivity, unsteady process, heat transfer, phase transformations, water flow.

Аннотация: В работе представлена математическая модель охлаждения нестационарным потоком воды прямоугольного параллелепипеда представляющего собой в упрощенном виде деталь рабочего органа глубокорыхлителя в процессе импульсной закалки. Модель учитывает температурную зависимость теплофизических свойств материала, фазовые превращения с выделением скрытой теплоты, а также нелинейный радиаци-