

EDN: PYXGPS

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95



Научная статья

УДК 691.175.5/.8



Резервуар на БПЛА для обработки сельскохозяйственных угодий жидкими агрохимикатами

Александр Геннадьевич Магдин,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: magdin.sasha@yandex.ru;
Алексей Дмитриевич Припадчев,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: apripadchev@mail.ru;

Александр Алексеевич Горбунов,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: gorbynovaleks@mail.ru;
Даниил Викторович Домовецких,
студент,
e-mail: danya.domovetskikh@bk.ru

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация

Реферат. Для обработки сельскохозяйственных посевов используются беспилотные летательные аппараты, несущие резервуары с жидкими химическими веществами. Отметим, что по прочности, термостабильности, устойчивости к ультрафиолетовым лучам, сроку эксплуатации емкости из полипропилена и полиэтилена уступают резервуарам из стеклопластика. (*Цель исследования*) Спроектировать конструкцию и изготовить резервуар из композиционного стеклопластикового материала с системой гашения гидравлического удара. (*Материалы и методы*) Для резервуара выбраны S-стекло и эпоксидновинилэфирная смола, которые наиболее устойчивы к химическим воздействиям. Для выполнения элементов резервуара использованы методы напыления, пропитки стекловолокнистого наполнителя в замкнутой форме, намотки. (*Результаты и обсуждение*) Провели сравнительный анализ моделей резервуаров с системой гашения гидравлического удара и без такой системы. Эффективность предлагаемого решения подтверждена в программном обеспечении КОМПАС-3D в приложении KompasFlow, где гидравлический удар будет распространяться внутри резервуара, отражаясь от стенок и постепенно затухая. Проведены расчеты нагрузок и прочности стеклопластикового резервуара, основанные на параметрах стекловолокна, в приложении APM FEM. (*Выводы*) Разработали модель резервуара для жидких химических веществ для опрыскивания посадок с беспилотных летательных аппаратов. Применили инновационные методы при изготовлении элементов резервуара. Кроме того, рассмотрели возможность сервисного обслуживания и ремонтпригодности. Объем резервуара (экспериментального образца) 0,0158 метра кубического, длина 480 миллиметров, ширина 216 миллиметров, толщина 3,6 миллиметра, масса около 4 килограммов. Конструкция крепления резервуара из композиционного материала к беспилотному летательному аппарату смоделирована таким образом, что вес беспилотного летательного аппарата не оказывает влияния на резервуар. **Ключевые слова:** стеклопластик, резервуар, композиционный материал, внедрение, жидкие химические вещества, беспилотные летательные аппараты, защита растений.

■ **Для цитирования:** Магдин А.Г., Припадчев А.Д., Горбунов А.А., Домовецких Д.В. Резервуар на БПЛА для обработки сельскохозяйственных угодий жидкими агрохимикатами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 89-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95. EDN: PYXGPS.

Scientific article

UAV-Mounted Tank for Processing Agricultural Land with Liquid Agrochemicals

Alexander G. Magdin,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: magdin.sasha@yandex.ru;
Alexey D. Pripadchev,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: apripadchev@mail.ru;

Alexander A. Gorbunov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gorbnovaleks@mail.ru;
Daniil V. Domovetskikh,
student,
e-mail: danya.domovetskikh@bk.ru

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. To process agricultural crops, unmanned aerial vehicles carrying tanks with liquid chemicals are used. The paper highlights that containers made of polypropylene and polyethylene exhibit inferior qualities compared to those made of fiberglass, specifically, in terms of strength, thermal stability, resistance to ultraviolet rays, and service life. (*Research purpose*) To design

and manufacture a tank made of composite fiberglass material with a water hammer damper. (*Materials and methods*) S-glass and epoxy vinyl ester resin were selected for the tank, as they exhibit superior resistance to chemical influences. To construct the tank elements, spray application, impregnation of glass fiber filler in a closed form, and winding were used. (*Results and discussion*) A comparative analysis was conducted on tank models, assessing their performance with and without a water hammer damper. The effectiveness of the suggested solution has been substantiated through the utilization of *KOMPAS-3D* software in the *KompasFlow* application. Within this software, the hydraulic shock is simulated to propagate inside the tank, reflecting off the walls, and gradually diminishing. Load and strength calculations for the fiberglass tank were performed by considering fiberglass parameters using the *APM FEM* application. (*Conclusions*) A tank model designed for application of liquid chemical substances in crop spraying from unmanned aerial vehicles has been developed. Innovative methods were employed in the manufacturing of the tank components. Additionally, careful consideration was given to the feasibility of maintenance and reparability. The tank's volume (experimental sample) measures 0.0158 cubic meters, with a length of 480 millimeters, a width of 216 millimeters, a thickness of 3.6 millimeters, and a weight of approximately 4 kilograms. The design for mounting the composite tank on the unmanned aerial vehicle ensures that the weight of the unmanned aerial vehicle does not impact the tank.

Keywords: fiberglass, tank, composite material, implementation, liquid chemicals, unmanned aerial vehicles, plant protection.

■ **For citation:** Magdin A.G., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A., Domovetskikh D.V. UAV-mounted tank for processing agricultural land with liquid agrochemicals. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 89-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-89-95. EDN: PYXGPS.

Для оптимизации сельскохозяйственных работ и рационального использования ресурсов внедряются современные методы точного (координатного) земледелия. Концепция точного земледелия основана на подходе к участку поля как к отдельной комплексной агросистеме с локальными особенностями почвенных и климатических условий. Распространение в аграрной сфере технологий позиционирования, аэрофотосъемки, картирования, дистанционного анализа почвы расширяют возможности эффективного планирования и управления.

В развитии и внедрении систем точного земледелия большую роль играют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Они позволяют точнее обрабатывать посевы, сократить расход агрохимикатов и их воздействие на окружающую среду, исключить механическое повреждение растений (примятие от наземных технических средств). С помощью БПЛА можно организовать экстренную обработку сельскохозяйственных угодий при внезапном нашествии насекомых-вредителей, в весеннюю распутицу и на труднодоступных участках.

В авиационной промышленности летательные аппараты все чаще конструируют из композиционных материалов [1]. Из них можно изготавливать резервуары для жидких веществ, которыми обрабатывают посевы с автоматизированных беспилотников (рис. 1) [2].

Большинство применяемых для этих целей емкостей изготовлены из термопластичных полипропилена или полиэтилена, однако по качеству они уступают такому композиционному материалу, как стеклопластик [3]. Как следует из таблицы, стеклопластик отличается важными преимуществами [4]. Срок эксплуатации стеклопластиковых резервуа-

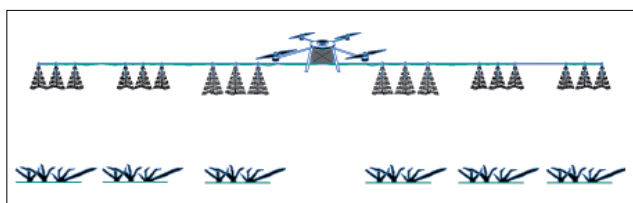


Рис. 1. Обработка полей с БПЛА

Fig. 1. Field spraying using UAV

ров составляет около 30 лет (полипропиленовых – до 20, полиэтиленовых – 7 лет для слабоагрессивных жидкостей и 3 года для агрессивных).

При выборе конструкции и технологии для изготовления стеклопластиковых резервуаров необходимо учитывать не только их прочность и долговечность, но и совместимость с другими компонентами беспилотного летательного аппарата, а также возможность обслуживания и ремонтпригодность.

Цель исследования. Проектирование и изготовление модели стеклопластикового резервуара с системой гашения гидравлического удара при помощи внутренних стенок и высокой эффективности применения.

Материалы и методы. Для конструирования резервуара выбраны наиболее устойчивые к химическому воздействию стекловолокно и смола, а также оптимальные методы изготовления элементов экспериментального образца.

Емкость представляет собой цилиндрическую обечайку 1 с цилиндрическим днищем 2 (рис. 2). Внутри расположены стенки 3, предотвращающие гидравлический удар, что способствует гашению волн жидкости. Благодаря небольшому уклону нижней части резервуара в сторону патрубка 5 и небольшим отверстиям в нижней части стенок жид-

Таблица СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРА / COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF TANK MATERIALS			Table
Полиэтилен (ПЭ)	Полипропилен (ПП)	Стеклопластик на эпоксидной основе	
<i>Прочность</i>			
Низкий предел прочности Преимущества ударная вязкость и высокая пластичность Прочность на разрыв ПЭ высокого давления от 20 до 37 МПа	Выдерживает случайные удары, столкновения, вибрацию, истирание, но при больших усилиях деформируется Прочность на разрыв ПП обычных типов от 25 до 45 МПа	По удельной прочности превосходит сталь при меньшей толщине Прочность на разрыв от 300 до 500 МПа	
<i>Термоустойчивость</i>			
Низкая термоустойчивость, не допускается к эксплуатации в экстремальных условиях. Стабильные технические характеристики при низкой температуре от -70 до -100°C	Сохраняет эксплуатационные свойства при температуре от -20 до +100°C Емкости из ПП невозможно использовать в полярной климатической зоне	Обычно эпоксидный стеклопластик выдерживает температуру от -40 до +135 °C	
<i>Устойчивость к ультрафиолету</i>			
Изменение цвета и механических свойств (становится хрупким, растрескивается даже без механической нагрузки)	Становится хрупким, повреждается поверхность изделия. Этот процесс ускоряется при повышенной температуре окружающей среды	Устойчив к воздействию ультрафиолетового излучения	
<i>Цена</i>			
Приемлемая	Приемлемая	Высокая цена из-за сложности изготовления	
<i>Вес</i>			
Удельный вес от 0,91 до 0,976 г/см ³	Удельный вес 0,91 г/см ³	Удельный вес стеклопластика на эпоксидной основе около 1,6-2,0 г/см ³ и зависит от конкретного состава материала и наличия дополнительных добавок	

кость полностью сливается. Химические препараты заливают сверху через горловину 4.

Стеклопластик состоит из связующего и армирующего компонентов. Для экспериментальной модели резервуара связующим элементом служит эпоксивинилэфирная смола, из нее производят высокоустойчивое к химическим воздействиям и коррозии полимерное соединение. Изделия из стеклопластика могут эксплуатироваться в агрессивной среде. Это дешевый и доступный материал, обладающий хорошими технологическими свойствами [3]. Армирующим элементом стеклопластика слу-

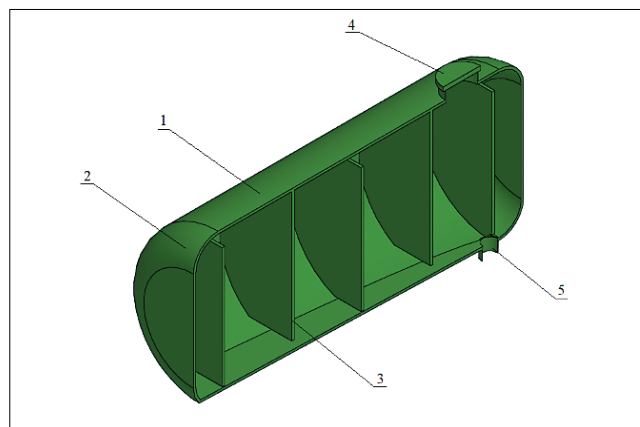


Рис. 2. Конструкция резервуара для жидких химических веществ (в разрезе): 1 – обечайка; 2 – днище; 3 – стенка; 4 – горловина; 5 – патрубок для слива жидкости
Fig. 2. The design of the tank for liquid chemicals (sectional view): 1 – shell; 2 – bottom; 3 – wall; 4 – neck; 5 – branch pipe

жат волокна S-стекла с высокими показателями прочности на растяжение и сжатие, термостойкости и ударопрочности [4].

Для придания стеклопластику определенной конфигурации используются металлические формы, изготовленные литьем, формованием, штамповкой.

Днище резервуара образовано методом напыления стеклопластика (рис. 3). Суть его заключается в одновременном нанесении на поверхность металлической формы связующего элемента – эпоксивинилэфирной смолы и нарезанного на отрезки жгута из S-стекла [5].

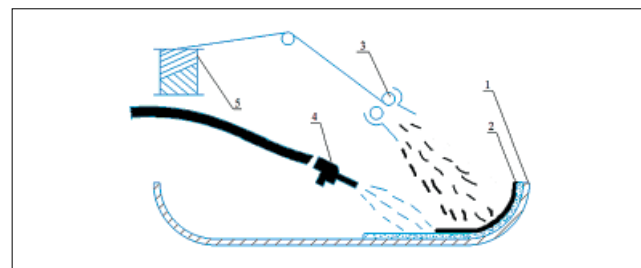


Рис. 3. Формирование днища методом напыления: 1 – металлическая форма конструкции; 2 – еще неуплотненный слой связующего и армирующего компонентов; 3 – режущее устройство; 4 – распылительное устройство; 5 – жгут из S-стекла
Fig. 3. Shaping the bottom by spraying: 1 – surface of the metal mold; 2 – still uncompacted layer of binder and reinforcing components; 3 – cutting device; 4 – spray device; 5 – bundle of S-glass

На металлическую форму 1 через распылительное устройство 4 наносится эпоксивинилэфирная смола и в эту же зону напыляется армирующий стекложгут 5, нарезанный на отрезки длиной 25-30 мм. При взаимодействии связующего и армирующего компонентов образуется двухслойная композиция 2 толщиной примерно 7-10 мм, которая уплотняется прикатывающими вальками, чтобы внутри не образовались пустоты и пузырьки воздуха. Для затвердевания применяют инфракрасный нагреватель или горячий воздух [6].

Стенки резервуара изготовлены методом пропитки стекловолоконистого наполнителя в замкнутой форме (рис. 4).

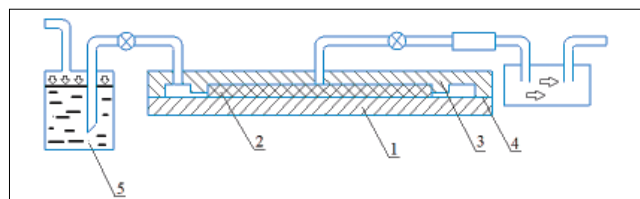


Рис. 4. Формование изделий из стеклопластика пропиткой наполнителя в замкнутой форме: 1 – пуансон; 2 – наполнитель; 3 – матрица; 4 – уплотняющее кольцо; 5 – бак со связующим компонентом

Fig. 4. Molding of fiberglass products by impregnating filler in a closed form: 1 – punch; 2 – filler; 3 – matrix; 4 – sealing ring; 5 – tank with a binder

На пуансоне 1 выкладывается послойно сухой наполнитель 2 [7]. Пуансон смыкается с матрицей 3, сжимая армирующий элемент (волокно S-стекла) до окончательных размеров изделия. Герметичность полости формы достигается установкой уплотняющего кольца 4. За счет разрежения, создаваемого в полости формы, связующий компонент засасывается из бака 5 и пропитывает наполнитель. Изделия получаются почти без включений воздуха [8]. Формы изготовлены из стального и алюминиевого проката. При эксплуатации они подвергаются значительным механическим нагрузкам, возникающим при сжатии наполнителя и пропитке его связующим [9].

Цилиндрическая обечайка изготавливается методом намотки, который применяется для выполнения изделий, имеющих форму тела вращения. Изделие получается прочное за счет ориентированной укладки армирующего элемента и его высокого содержания в материале. При небольших изделиях используется станок с вращающейся в двух плоскостях оправкой, на которую наполнитель подается неподвижным раскладчиком. Горловина и патрубок резервуара изготовлены аналогично.

Для сборки резервуара из подготовленных элементов на внутреннюю часть обечайки прикрепляются стенки на слой эпоксидного клея, поверхно-

сти плотно прижимаются и фиксируются струбцинами или иным образом. Обечайки соединяют с днищами, в готовый корпус резервуара врезают горловину и патрубок для слива содержимого. Перед соединением деталей поверхности стыков тщательно приторцовывают и края обезжиривают, места соединений герметизируют специальным клеем [10].

Объем резервуара (экспериментального образца) составляет 0,0158 м³, длина 480 мм, ширина 246 мм, толщина 3,6 мм, масса около 4 кг. Резервуар устанавливается на БПЛА коптерного типа сельскохозяйственного назначения (ценовой сегмент средний и ниже среднего) на две опорные стойки 1, на которых закреплена форма под емкость 2 (рис. 5). Форма также имеет уклон в сторону сливного патрубка. Раздвижные фиксаторы 3 дополнительно обеспечивают неподвижность резервуара. Вся конструкция присоединяется к БПЛА с помощью ножек 4 [11]. Ножки установлены таким образом, что вес БПЛА приходится на опорные стойки и не влияет на вес конструкции формы под емкость.

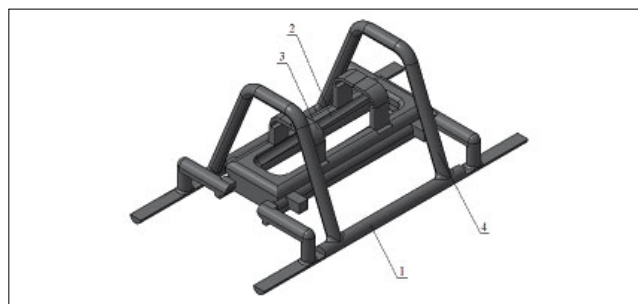


Рис. 5. Крепление резервуара с БПЛА: 1 – опорные стойки; 2 – форма под емкость; 3 – раздвижные фиксаторы емкости; 4 – ножки для БПЛА

Fig. 5. Attachment of the tank to the UAV: 1 – support posts; 2 – container mold; 3 – sliding capacitive clamps; 4 – UAV legs

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Действующие нагрузки на стеклопластиковый резервуар могут быть обусловлены различными факторами. Например, к ним относится давление, вызванное изменением скорости содержимого резервуара, вследствие этого возникает гидравлический удар. Сравнительный анализ резервуара с системой гашения гидравлического удара и без нее проведен в программном обеспечении *Kompas Flow*. Использовали обычную воду плотностью 1000 кг/м³.

К дальнему от патрубка днищу были приложены скорость 25 м/с и давление 0,000987 атм, время расчета 0,03 секунды. Для оценки протекающего процесса внутри емкости, поскольку давление и скорость приложены к внешней поверхности, исследованы зависимости давления, вызванного изменением скорости жидкости внутри резервуаров от времени (рис. 6).

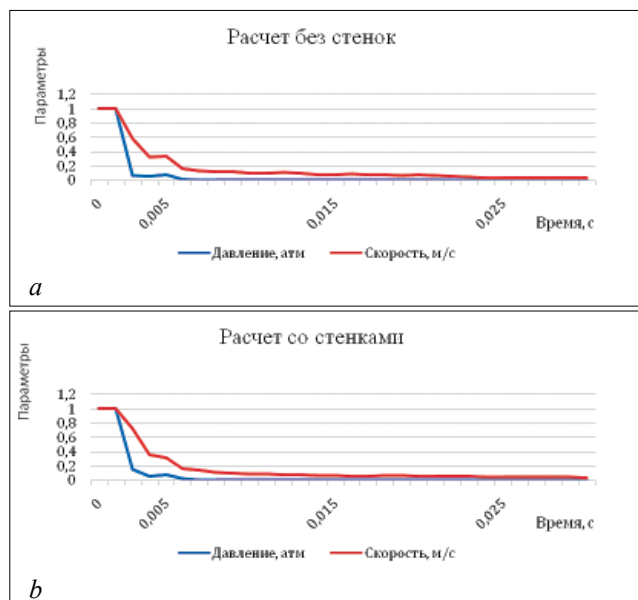


Рис. 6. Зависимость давления и скорости внутри резервуара от времени: а – без системы гашения гидравлического удара (без стенок); б – с системой гашения гидравлического удара (со стенками)
Fig. 6. The dependence of pressure and velocity inside the tank on time: а – without a hydraulic shock damping system; б – with a hydraulic shock damping system

Графики зависимости в обоих случаях почти не различаются. Однако при рассмотрении расчетных моделей резервуаров (рис. 7) очевидно, что для предотвращения гидравлического удара необходимы внутренние стенки, иначе удар распространяется более свободно (модель I). Это свидетельствует об отсутствии гашения давления, вызванного изменением скорости внутри емкости. В модели II, напротив, благодаря внутренним стенкам давление во всех точках емкости почти отсутствует. Гидравлический удар будет распространяться внутри резервуара, отражаясь от стенок и постепенно затухая.

Гидростатическое давление $P = \rho \cdot g \cdot h$ (ρ – плотность жидкости, в данном случае воды 1000 кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$; h – высота жидкости, м). Высоту h следует измерять от

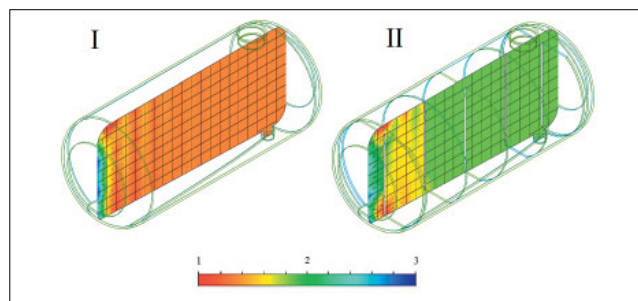


Рис. 7. Влияние давления воды на внутреннюю поверхность резервуаров без стенок (модель I) и со стенками (модель II)
Fig. 7. The impact of water pressure on the inner surface of tank models without walls (I) and with walls (II)

поверхности жидкости до точки, в которой рассчитывается давление. Точка выбрана в нижней части резервуара, имеющей уклон к сливному патрубку и где давление жидкости наибольшее. Таким образом, $h = 0,12 \text{ м}$ и гидравлическое давление $P = 0,012 \text{ атм}$.

На резервуар также могут действовать нагрузки от приложения внешних сил. Проведен сравнительный анализ прочности стеклопластикового резервуара с внутренними стенками и без них [11]. Прочность определяли с использованием приложения *APM FEM* для экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D [12]. Условием ставилось приложение на поверхность резервуара внешнего давления 3751 МПа отдельно на обечайку и днище [13]. Изменение формы стеклопластикового резервуара, после которого емкость деформируется пластически, показано на рисунке 8.

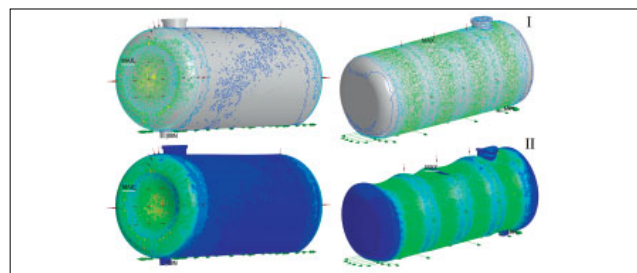


Рис. 8. Расчетная модель стеклопластикового резервуара при воздействии внешнего давления на днище и на обечайку, приводящего к деформации: I – воздействие внешнего давления в изолиниях; II – деформированное воздействие внешнего давления на днища и обечайку
Fig. 8. Calculation model of a fiberglass tank subjected to external pressure causing plastic deformation of the container: I – effects of external pressure on the bottoms and shell, presented in isolines; II – visually depicting the deformed effect of external pressure on the bottoms and shell

Численная оценка воздействия нагрузки на стеклопластиковый резервуар внешнего давления на днище и обечайку представлена на рисунке 9.

На модели показано максимальное и минимальное давление на внешнюю поверхность резервуара. На поверхности обечайки точка максимального приложения давления находится на верхней центральной части резервуара, а на днище – на его плоской поверхности на границе со скругляемым элементом. После превышения предела текучести материал начинает разрушаться, и этот процесс характеризуется пределом прочности на сжатие.

Для поддержания стеклопластикового резервуара в надлежащем состоянии, предотвращения возможных поломок и продления срока службы необходимо сервисное обслуживание: регулярные визуальные осмотры и выявление признаков износа; очистка и обслуживание фильтров для предотвращения их засорения; проверка уплотнений и соеди-

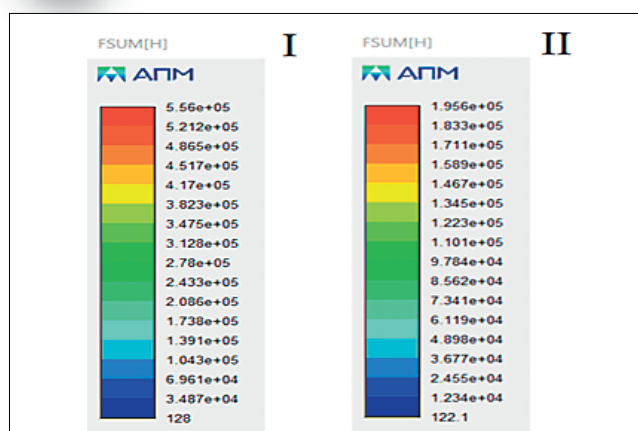


Рис. 9. Диаграмма воздействия внешнего давления на днище (слева) и обечайку (справа) рассматриваемой модели, демонстрирующей численные значения нагрузки (в Н) в соответствии с цветовой схемой

Fig. 9. Diagram illustrating the effect of external pressure on the bottoms (left) and shell (right) of the model under consideration, displaying numerical load values through a color scheme

нений. При ремонте необходимо учитывать тип и состав материала. Ремонтопригодность емкости зависит от типа повреждения. При небольших трещинах или сколах емкость относительно легко отремонтировать, но серьезные повреждения, затрагивающие несущие части резервуара, могут потребовать более сложных и дорогостоящих работ. В этом случае лучше заменить резервуар.

Выводы. Смоделирован стеклопластиковый резервуар для жидких химических веществ, прикрепляемый с помощью специальной конструкции на БПЛА для обработки посевов. По эксплуатационно-техническим характеристикам и долговечности для изготовления резервуара предлагается стеклопластик (S-стекло).

Предложен способ устранения гидравлического удара внутри емкости за счет установки дополнительных внутренних стенок. За счет этого увеличиваются долговечность, надежность и эффективность в работе, снижаются затраты на ремонт и замену стеклопластиковых конструкций. Выполнен расчет прочности и нагрузок на резервуар, определены основные параметры стеклопластика и максимальные точки внешнего давления на поверхность емкости. При изготовлении компонентов резервуара применены инновационные методы: напыление (формирование днища), пропитка стекловолоконного наполнителя в замкнутой форме (стенки) и намотка (обечайка, горловина и патрубок). Предложена специальная конструкция для фиксирования и крепления резервуара на БПЛА.

Экологичность стеклопластиковых резервуаров делает их безопасными, особенно при обработке полей химическими веществами. Устойчивость стеклопластика к температурным изменениям обеспечивает стабильную работу резервуаров, снижая риск протечек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Подтелкина О.А. Применение композиционных материалов при конструировании беспилотных летательных аппаратов // *Современные научные исследования и инновации*. 2018. N11(91). С. 21-22. EDN: YRXJNR.
- Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотов М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2019. N2. С. 47-51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. EDN: TITLEP.
- Almtteri N., Birch R., Guan Zh. Manufacturing process of S-glass fiber reinforced PEKK prepreps: World Academy of Science, Engineering and Technology International. *Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 12. N10. 943-947.
- Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. N3 (56). С. 48-58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
- Terekhov I.V., Chistyakov E.M. Binders used for the manufacturing of composite materials by liquid composite molding. *Polymers*. 2021. N14(1). 87. 1-30. DOI: 10.3390/polym14010087.
- Uday M., Kiran Kumar P. Heat transfer studies for infrared radiation assisted curing in polymer composites. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1473. DOI: 10.1088/1742-6596/1473/1/012027.
- Shaheen W.H.A., Kanapathipillai S., Mathew Ph., Prusty G. Optimization of compound die piercing punches and double cutting process parameters using finite element analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 2020. Vol. 234(1-2). 3-13. DOI: 10.1177/0954405419855507.
- Klosterman D., Browning C., Hakim I., Lach K. Investigation of various techniques for controlled void formation in fiberglass/epoxy composites. *Journal of Composite Materials*. 2020. N55(4). DOI:10.1177/0021998320952517.
- Уразбахтин Ф.А., Харинова Ю.Ю., Болонкин В.А. Предельные состояния в процессе отверждения волокнистых стеклопластиков // *Известия вузов. Авиационная техника*. 2015. N3. С. 79-85. EDN: VCORXH.
- Негматов С.С., Тухлиев Г.А., Негматова К.С., Бабаханова М.Г. Исследование эксплуатационных свойств композиционных полимерных клеев // *Universum: технические науки*. 2021. N8(89). С. 73-75.
- Galimov M., Fedorenko R., Klimchik A. UAV Positioning mechanisms in landing stations: classification and engineering design review. *Sensors*. 2020. Vol. N234(1-2).

С. 3-13. DOI:10.3390/s20133648. EDN: KPJBFC.
12. Мельников Д.А., Ильичев А.В., Вавилова М.И. Сравнение стандартов для проведения механических испытаний стеклопластиков на сжатие // *Труды ВИАМ*. 2017. N3(51).

С. 55-64. DX.DOI.ORG/ 10.18577/2307-6046-2017-0-3-6-6.
13. Бородулин А.С. Свойства и особенности структур стеклянных волокон, используемых для изготовления стеклопластиков // *Материаловедение*. 2012. N7. С. 34-37.

REFERENCES

1. Podtelkina O.A. The use of composite materials in the design of unmanned aerial vehicles. *Modern scientific researches and innovations*. 2018. N11(91). 21-22 (In Russian). EDN: YRXJNR.
2. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Use of uncleaned aircraft in agriculture. *Perm Federal Research Centre Journal*. 2019. N2. 47-51 (In Russian). DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. EDN: TITLEP.
3. Almtteri N., Birch R., Guan Zh. Manufacturing process of S-glass fiber reinforced PEKK prepregs: World Academy of Science, *Engineering and Technology International. Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 12. N10. 943-947 (In English).
4. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composite materials. *Aviation materials and technologies*. 2019. N3(56). 48-58 (In Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
5. Terekhov I.V., Chistyakov E.M. Binders used for the manufacturing of composite materials by liquid composite molding. *Polymers*. 2021. N14(1). 87. 1-30 (In English). DOI: 10.3390/polym14010087.
6. Uday M., Kiran Kumar P. Heat transfer studies for infrared radiation assisted curing in polymer composites. *Journal of Physics*. 2020. Vol. 1473 (In English). DOI: 10.1088/1742-6596/1473/1/012027.
7. Shaheen W.H.A., Kanapathipillai S., Mathew Ph., Prusty G. Optimization of compound die piercing punches and double cutting process parameters using finite element analysis. *Journal of Engineering Manufacture*. 2020. Vol. 234(1-2). 3-13 (In English). DOI: 10.1177/0954405419855507.
8. Klosterman D., Browning C., Hakim I., Lach K. Investigation of various techniques for controlled void formation in fiberglass/epoxy composites. *Journal of Composite Materials*. 2020. N55(4) (In English). DOI:10.1177/0021998320952517.
9. Urazbakhtin F.A., Kharinova Y.Y., Bolonkin V.A. Limiting states at curing of fibrous composite materials. *Russian Aeronautic*. 2015. N5. 79-85 (In Russian). EDN: VCORXH.
10. Negmatov S., Tukhliev G., Negmatova K., Babakhanova M. Study of performance properties of composite polymer adhesives]. *Universum*. 2021. N8(89). 73-75 (In Russian).
11. Galimov M., Fedorenko R., Klimchik A. UAV Positioning mechanisms in landing stations: classification and engineering design review. *Sensors*. 2020. Vol. N234(1-2). 3-13 (In English). DOI: 10.3390/s20133648. EDN: KPJBFC.
12. Melnikov D.A., Il'ichev A.V., Vavilova M.I. Comparison of standards for mechanical testing of fiberglass for compression. *Proceedings of VIAM*. 2017. N3(51). 55-64 (In Russian). DX.DOI.ORG/10.18577/2307-6046-2017-0-3-6-6.
13. Borodulin A.S. Properties and features of glass fiber structures used for the manufacture of fiberglass plastics. *Materialovedenie*. 2012. N7. 34-37 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Магдин А.Г. – обработка результатов исследования, формулирование основных целей и задач экспериментальных исследований;
Припадчев А.Д. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;
Горбунов А.А. – определение методологии исследования, формирование общих выводов;
Домовецких Д.В. – разработка модели, анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Magdin A.G. – processing research results, formulating the main goals and objectives of the experimental research;
Pripadchev A.D. – scientific guidance, formulating the research main directions;
Gorbunov A.A. – defining the research methodology, formation of general conclusions;
Domovetskikh D.V. – model development, analysis and generalization of literature data, collecting literature data.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

06.10.2023
27.11.2023