

SIMULATION AND TESTING OF INDIVIDUAL ELEMENTS OF THE ASPIRATION SYSTEM AND VENTILATION USED DURING MECHANICAL TREATMENT OF COMPOSITE SHIPBUILDING MATERIALS

K. A. Vasilev

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russian Federation

Polymer composite materials are beginning to be widely used in sudostroy research Institute responsible for the manufacture of large body parts, as well as de-hoists functional tribological purposes. Currently, there are the difficulty associated with solving environmental problems and tasks of environmental protection when machining composites, as well as problems related to health and safety in the workplace. Elevated carcinogenic properties of products of destruction of composites at cutting are determined by fine earthy dust with separate fractions of less than 10 MK, aerosols and mists of Metalworking fluids, harmful gases from disintegration under the influence of temperature organic matrix composite, etc. Previously listed require ventilation systems, aspiration products of destruction of composites and air-conditioning system of increased cost of separate modules, which will create the necessary climate and safe working conditions in the workplace. It is noted that substantially reduce the cost of stages of development of an integrated system of ventilation, perhaps through the use of the algorithm.-true taking into account not only the processes taking place in the area of mechanical processing, but also the capabilities of the individual modules, systems, and hardware control hazards involved in such complex systems. This article describes a comprehensive methodical approach to all stages, including the elaboration of individual modules of the system in both the design and during normal and abnormal operation. The proposed me-tadici and algorithms can be used to conduct scientific research related to the transition of existing production to the machining of workpieces made of composite materials. The results of the research confirm the efficiency of the proposed algorithm and the effectiveness of the used hardware.

Keywords: Composite material, ventilation, aspiration, air-conditioning, modeling, algorithm, process, measuring system, microscope, quality indicators.

For citation:

Vasilev, Kirill A. "Simulation and testing of individual elements of the aspiration system and ventilation used during mechanical treatment of composite shipbuilding materials." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 9.6 (2017): 1282–1290. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1282-1290.

УДК 629.12, 697.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ И ВЕНТИЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К. А. Васильев

ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Полимерные композитные материалы начинают широко использоваться в судостроении для изготовления ответственных крупногабаритных корпусных деталей, а также деталей функционального триботехнического назначения. В настоящее время имеются трудности, связанные с решением экологических задач и задач охраны окружающей среды при механической обработке композитов, а также задач, связанных с охраной труда и техникой безопасности на рабочих местах. Повышенные канцерогенные свойства продуктов разрушения композитов при резании определяются мелкой перстной пылью с отдельными фракциями менее 10 мк, аэрозоли и туманы смазочно-охлаждающих жидкостей, вредные газы от распада под воздействием температуры органической матрицы композита и т. п. Ранее указанное требует от системы вентиляции, аспирации продуктов деструкции композитов, а также системы кондиционирования повышенных затрат

на отдельные модули, которые позволят создавать необходимый микроклимат и безопасные условия труда на рабочих местах. Отмечается, что существенно снизить затраты на этапах разработки комплексной системы вентиляции, возможно за счет использования алгоритма, достоверно учитывающего не только процессы, происходящие в зоне механической обработки, но и возможности отдельных модулей, систем и аппаратных средств контроля вредностей, задействованных в подобных комплексных системах. В статье изложен комплексный методический подход ко всем этапам, включающий проработку отдельных модулей системы как при проектировании, так и при штатной и нештатной эксплуатации. Предложенные методики и алгоритмы можно использовать для проведения научно-исследовательских работ, связанных с переходом действующего производства на механическую обработку заготовок из новых композиционных материалов. Приведенные результаты исследований подтверждают работоспособность предложенного алгоритма и эффективность использованных аппаратных средств.

Ключевые слова: композитный материал, вентиляция, аспирация, кондиционирование, моделирование, алгоритм процесса, измерительный комплекс, микроскоп, показатели качества.

Для цитирования:

Васильев К. А. Моделирование и испытание отдельных элементов системы аспирации и вентиляции, используемой при механической обработке композиционных судостроительных материалов / К. А. Васильев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. xx–xx. DOI:

Введение

В судостроении применяют достаточно большое количество инновационных композиционных полимерных материалов как для изготовления корпусных деталей, так и для деталей функционального назначения [1], [2]. Современные способы изготовления заготовок из полимерных композиционных материалов не всегда гарантируют точность и качество сопрягаемых поверхностей, обеспечивающих необходимые сопряжения в зазорах при монтаже и зазоры в парах трения. При изготовлении изделий из композиционных материалов в судостроительной области широко применяются разные типы технологического оборудования, связанного с формообразованием путем удаления слоя конструкционного материала [1]. К подобного рода методам механической обработки можно отнести технологические переделы, выполняемые на станках с повышенной концентрацией операций типа *обрабатывающий центр* с числовым программным управлением выполненные в виде стандартной компоновки (станка токарной или фрезерной группы) или станках портального типа для крупногабаритных заготовок; обрабатывающих модулей, оснащенных манипуляторами (роботами), а также обработку, проводимую на рабочих местах, в виде слесарных операций с помощью ручного пневматического и электроинструмента. Три последние из указанных технологических методов механической обработки и средств технологического оснащения имеют открытые зоны обработки с прямым контактом с окружающей средой.

Среди основных негативных и сдерживающих факторов, возникающих при обработке композиционных полимерных материалов, можно выделить [3]:

- отсутствие достаточной технологической базы в механической обработке, связанной со специфическими процессами, происходящими при разрушении резанием композиционных полимерных материалов, отсутствие законов, корректно описывающих деструкцию композита, а также принципов, рекомендаций по назначению режимов резания и единых правил;
- отсутствие единого подхода к использованию средств технического и технологического оснащения производства, частичное или полное отсутствие специализированного оборудования, инструмента и рекомендаций по обработке, а также отсутствие рекомендаций по выбору средств вентиляции, кондиционирования и аспирации (транспортировки) отходов производства и пылевидной стружки для рабочих мест;
- достаточно высокие требования, предъявляемые к качеству обработки композитных материалов, автоматически ужесточают самые высокие требования по точности оборудования и изготовления инструмента, что приводит к многократному удорожанию самих средств технологического оснащения;

– отсутствие единого выработанного подхода к безопасности условий труда, охраны окружающей среды, решения вопросов утилизации как самих изделий после исчерпания их ресурса, так и отходов производства (стружки и пыли).

Ранее сформулированные факторы, связанные с защитой окружающей среды и охраной труда определены Санитарными правилами для производства от 25 января 1989 г. № 4950-89. Наряду с факторами шума, вибрации и излишнего физического напряжения операторов наиболее существенным является фактор применения в качестве связующего полимерных эпоксидных или фенолформальдегидных смол, который обуславливает канцерогенную опасность указанных производств, что является основанием для предъявления повышенных требований к размещению предприятий, расположению отдельных цехов, к процессам и оборудованию. Если данные проблемы были достаточно хорошо решены в авиационной и аэрокосмической промышленности, то они полностью не были решены в судостроительной отрасли. Авиационная и космическая промышленность изначально строилась и проектировалась под новые композиционные материалы с учетом следующих нормативных требований:

– определение больших площадей, занимаемых предприятием, по сравнению с металлообработывающими производствами;

– строительство хорошо продуваемых отдельно стоящих корпусов с большими промежуточными расстояниями между отдельно стоящими зданиями, ориентированными к наиболее вероятной «розе ветров»;

– хорошая организация служб, обеспечивающих работоспособность системы вентиляции, кондиционирования, аспирации, утилизацию пыли и вредных выбросов от производства.

Следует отметить, что ранее указанные нормативные требования и средства их технического обеспечения полностью отсутствуют на современных судостроительных предприятиях (например, производствах судостроительного комплекса, расположенных в г. Санкт-Петербурге). Ныне действующие судостроительные предприятия исторически были адаптированы под традиционные конструкционные материалы, металлы и сплавы. На данных предприятиях механической обработки предъявлялись повышенные требования к безопасности труда и охране окружающей среды, как, например, изначально действующие требования в авиационной и аэрокосмической промышленности.

Методы и материалы

Для решения задач, связанных со снижением экологического давления производств, связанного с механической обработкой композитов, жестким выполнением требований нормативов по охране труда и технике безопасности, необходимо осуществить следующее:

1. Для проектируемой системы промышленной вентиляции, аспирации и системы кондиционирования воздуха:

– создать модели процесса — представить соответствующие математическое описание [4];
– провести анализ неопределенностей и формализация понятия цели (формирование целевой функции, критерия и т. п.);

– решить возникающие оптимизационные и сопутствующие математические задачи (добиться в течение минимального времени наибольшей производительности процесса при наименьшей износостойкости элементов трубопроводной системы вентиляции в режиме штатной эксплуатации и энергозатрат, а также обеспечить безопасность системы в случае аварийной ситуации (при резком увеличении удаляемого материала с заготовки и одновременно максимальных нагрузках в переходных зонах) — [3], [4].

– применить в качестве основных квазиоптимальные (рациональные) модели, позволяющие с удовлетворительной достоверностью описать процессы, протекающие в системе. Подход на основе квазиоптимальных (рациональных) моделей подразумевает построение многоуровневого алгоритма, позволяющего управлять сложной системой. Данный алгоритм состоит из восьми уровней (рис. 1) — [3], [4].



Рис. 1. Многоуровневая схема, иллюстрирующая алгоритм комплексный подход при выборе параметров системы вентиляции, аспирации, кондиционирования



Рис. 2. Классификационная схема аспирационных и пылетранспортных установок, применяемых в системах вентиляции при механической обработке композиционных материалов

2. Сформулировать требования к системе аспирации и пылеулавливания с учетом высокой канцерогенной и абразивной способности углеродосодержащей пыли, возникающей при обработке новых композиционных материалов, а также провести группировку аспирационных систем по переделам (получение исходных заготовок, механическая обработка, покраска и нанесение протекторных защитных покрытий и т. п.) вокруг вертикальных коллекторов, причем количество аспирируемых укрытий от оборудования одинакового назначения не должно превышать пяти [5]. Подобная компоновка участка, состоящего из четырех токарных обрабатывающих центров модели, приведена в работе [4]. Оптимальное разрежение в рабочей зоне аспирируемых укрытий должно находиться в пределах 10 ... 30 Па, возможная компоновка рабочего места для одной единицы оборудования представлена в работах [3], [4].

Из представленного на рис. 2 классификатора следует предварительно выбрать тип пневмотранспортной установки, обеспечивающей необходимое пылеудаление из зоны обработки, а также транспортировку частиц пыли и продуктов разрушения композиционных материалов в виде струйки до места фильтрации и хранения твердых частиц [6], [7].

3. На этапе проектирования системы вентиляции, аспирации и кондиционирования целесообразно широко использовать аппаратные средства, автоматизированные измерительные комплексы, приборы и прочие средства оценки показателей, которые при таком комплексном подходе позволяют комплексно оценить состояние отдельных узлов и всей системы вентиляции в целом.

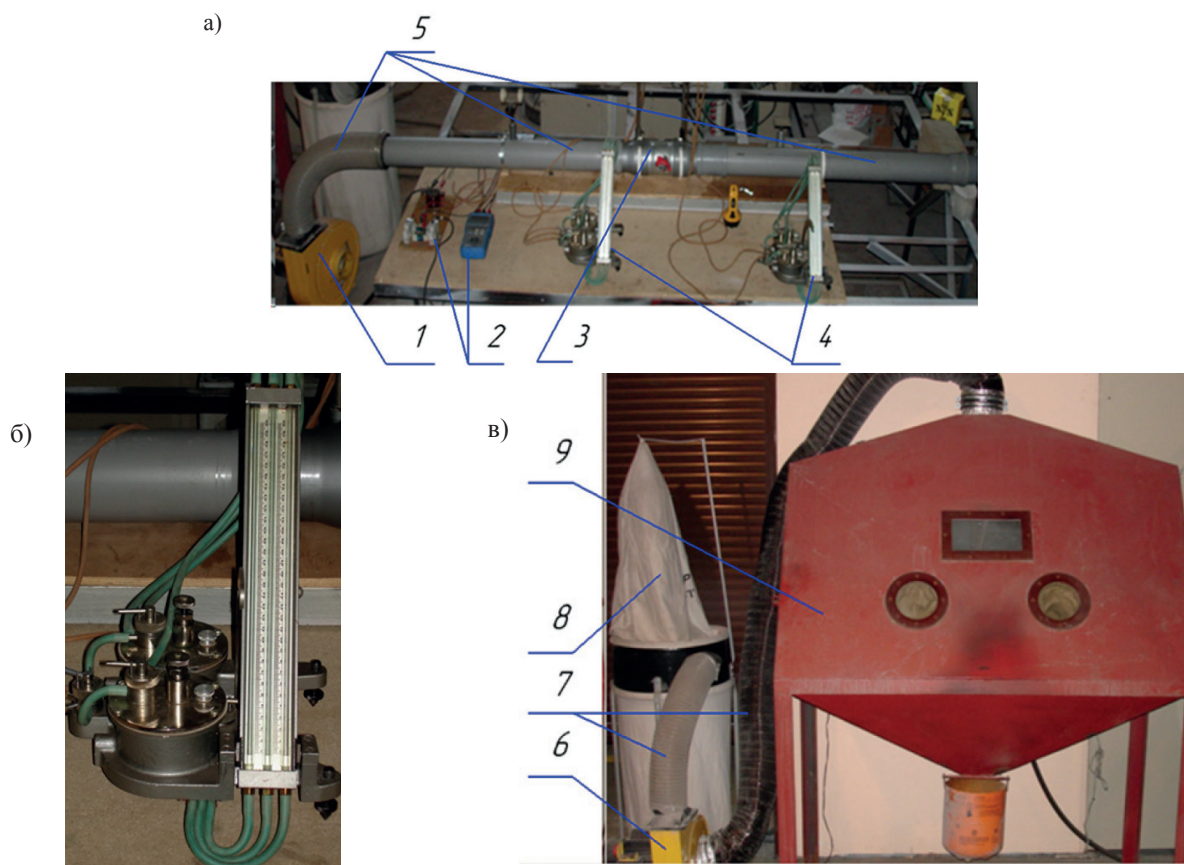


Рис. 3. Фотография стенда для моделирования процессов, протекающих в системе вентиляции и аспирации:

- а* — общая компоновка: 1 — улитка вентилятора; 2 — ваттметр РХ 120; 3 — цилиндрическая заслонка; 4 — дифференциальный строенный микроманометр; 5 — трубопроводы;
- б* — дифференциальный строенный микроманометр ТТ 1 ПС;
- в* — модуль для моделирования экстремальных условий в зоне механической обработки;
- 9 — пескоструйная камера объемом 1,5 м³; 6 — улитка промышленного пылесоса;
- 7 — трубопроводы; 8 — мешок фильтра тонкой очистки

Подобные аппаратные измерительные средства позволяют:

– выполнить стендовые аэродинамические испытания отдельных элементов конструкции системы вентиляции, элементов трубопроводов, систем задвижки, работы фильтров, циклона, а также оценить вольтамперные характеристики, мощность двигателя вентилятора с помощью ваттметра PX 120, а также измерить составляющие давления (полного, статического и динамического как всасывающем, так и в нагнетательном режимах.) внешним строенным дифференциальным микроманометром марки ТТ I ПС. Компоновка и отдельные элементы испытательного стенда представлены на рис. 3;

– осуществить инструментальную оценку, визуальным способом частиц пыли, элементов стружки, состояние фильтрующего элемента и прочих вредностей, а также способом сканирования алмазной иглой оценить эксплуатационные показатели качества (микрогеометрии и шероховатости), состояния поверхностей трубопроводов и элементов системы аспирации и транспортирования. Данные по измерительно-вычислительным комплексам визуального мониторинга на базе микроскопа МБС-10 и комплекса оценки микрогеометрии поверхности на базе «Калибр-201» представлены в работах [8].

Обсуждение результатов

В рамках проводимых исследований были испытаны на стенде различные образцы пыли конструкционных материалов [9], [10]: углепластик марки УГЭТ, стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74, текстолит ПТК ГОСТ 5-78. Была проведена оценка мощности привода вентилятора улитки и фильтрующая способность предоставленных заказчиком образцы фильтрующей ткани различного класса фильтрующей способности G1, G3, F5. Фильтр устанавливался после заслонки, и методика испытаний осуществлялась согласно стандартам ЕН 1822-1:1998, ИСО 2854: 1976, ИСО 12103-1:1997.

Пример результирующего протокола по оценке мощности привода улитки вентилятора представлен на рис. 4. Значение мощности в реальном масштабе времени измерялось с помощью ваттметра PX – 120 и передавалось на компьютер, который регистрировал данные и строил зависимость мощности от времени в виде графика в автоматическом режиме с помощью программного продукта Watt Com. Затем все данные экспортировались в Microsoft Exel и с помощью специально написанного скрипта обсчитывались, что значительно облегчало работу с большими массивами данных.

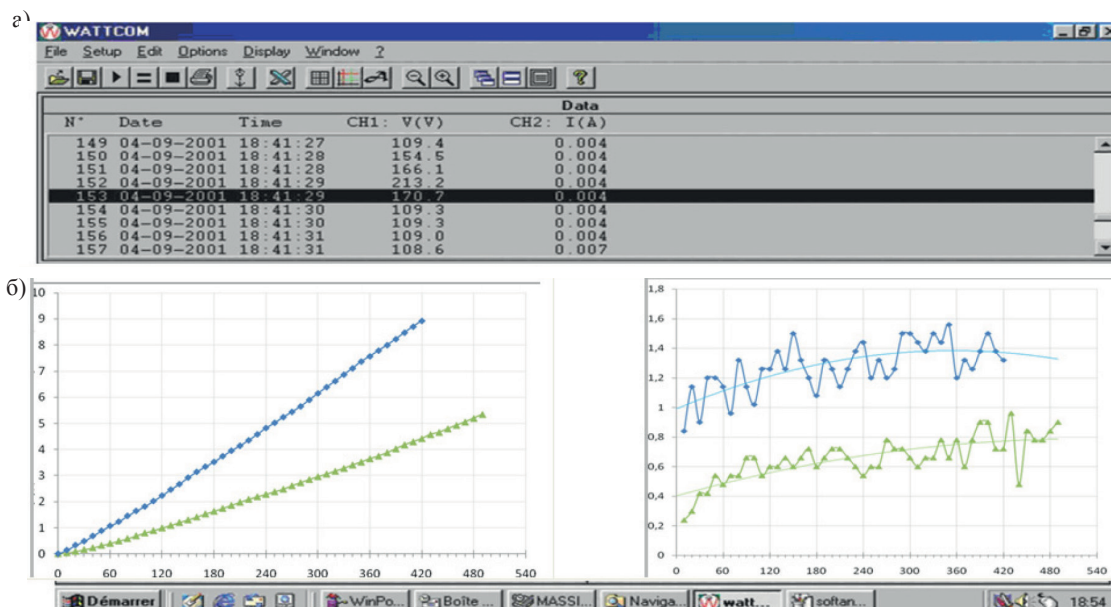
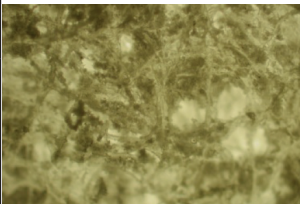
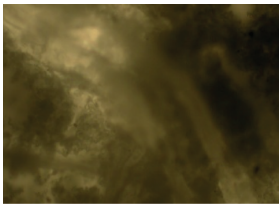
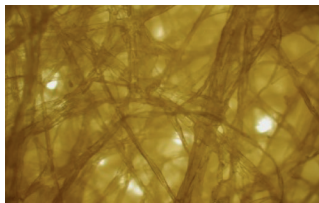
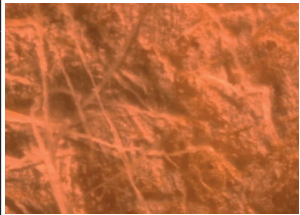
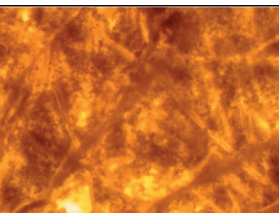
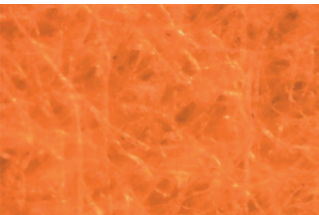
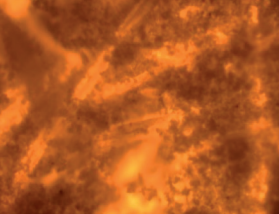
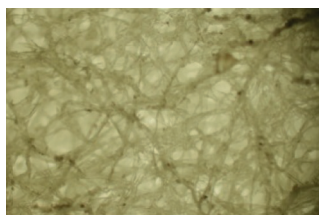


Рис. 4. Пример протокола с использованием программы Watt Com: а — изменение скорости вращения вала электродвигателя жестко связанного с улиткой вентилятора в зависимости от размеров частиц пыли композиционного материала в трубопроводе; б — верхний график — транспортировка пыли углепластика марки УГЭТ, нижний график — транспортировка пыли стеклотекстолита марки СТЭФ ГОСТ 12652-74 — стеклотекстолит электротехнический листовой

Отдельные результаты визуального мониторинга с использованием измерительно-вычислительного комплекса на базе МБС-10 приведены в таблице.

Фрагменты стружки и промышленной пыли после механической обработки резанием разных марок полимерных композиционных материалов, осаженных на образцах фильтрующих элементов, в зависимости от используемой ткани в образцах фильтров

№ п/п.	Марка и наименование композитного полимерного материала	Микрофотографии образцов тканевого фильтра после пропитки их мелкодисперсными фрагментами пыли различных композиционных материалов (фракции 0,1 – 10 мкм), увеличение x100		Микрофотографии образцов фильтра тканевого материала, увеличение x100
		Класс F5	Класс G1	
1	Углепластик марки УГЭТ			Класс G1 $50 \leq A_m < 65^*$
				
2	Текстолит ПТК ГОСТ 5-78			Класс G3 $80 \leq A_m < 90^*$
				
3	Стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74			Класс F5 $40 \leq E_m < 60^{**}$
				

Примечания: * — средняя пылезадерживающая способность A_m по синтетической пыли (указана в процентах); ** — средняя эффективность E_m для частиц с размерами 0,4 мкм (указана в процентах).

Анализ экспериментальных данных осуществляется на основании оценки результатов параллельных испытаний, которые являются случайными величинами. Значения колеблются вокруг истинного значения измеряемого параметра, поэтому для оценки результатов испытаний использовались методы обработки данных. В первую очередь, все максимальные и минимальные результаты были оценены на выбросы (грубые ошибки) с помощью критерия Романовского. Далее проводился стандартный расчет. Точность и надёжность оценки результатов экспериментов определялась величиной доверительной вероятности b или уровнем значимости $\alpha = 1 - b$. При данных испытаниях использовались $b = 0,95$ или $\alpha = 0,05$.

Проведенные собственные эксперименты на данном стенде (см. рис. 3) показали работоспособность предложенного алгоритма, в частности возможность оценки как функциональных по-

казателей, отвечающих за эффективность процесса вентиляции и аспирации частиц пыли, так и показателей качества изготовления отдельно выполненных деталей и узлов в целом.

Модульный принцип построения стенда показал его универсальность с точки зрения решаемых задач, ограниченных не только потребностями отдельно расположенных единиц технологического оборудования (например, токарных или фрезерных станков с числовым программным управлением), но и возможностями моделирования отдельных ситуаций на рабочих местах с открытой рабочей зоной, где используется ручной и автоматизированный механический инструмент: пневматический и электрический.

Предложенные методики оценки рабочей эффективности стенда могут в дальнейшем быть использованы для расчета экономической эффективности принимаемых тех или иных технических решений, конкретных конструкторских реализаций и апробации новых конструкционных материалов и материалов, используемых в фильтрующих элементах и пневмотранспортных системах.

Выводы

1. Полимерные композиционные материалы, используемые в судостроительной отрасли, могут получить широкое применение, если полностью будут решены вопросы, связанные с экологической безопасностью и охраной окружающей среды, а также безопасностью на рабочих местах при механической обработке.

2. Разработанный комплексный подход и отдельные алгоритмы по методикам испытаний системы вентиляции и аспирации, изложенные в данной статье, позволяют с необходимой полнотой и достаточной достоверностью обеспечить необходимую техническую и экологическую безопасность и исключить вредные выбросы в цеховую зону.

3. Предложенный модульный принцип построения стенда и достаточная оснащенность испытаний аппаратными и инструментальными средствами позволят получить наилучший результат при наименьших материальных затратах, связанных, в первую очередь, с количеством необходимых реализаций и опытов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисимов А. В.* Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы: справ. / А. В. Анисимов, В. Е. Бахарева, И. В. Блышко [и др.]; под общ. ред. И. В. Горынина, А. С. Орыщенко. — СПб.: НПО «Профессионал», 2012. — 916 с.

2. *Fornander M.* A New Method for using Prestressed Fiber-Reinforced Polymer Laminates for Strengthening and Repair of Structural Members: Master's Thesis / M. Fornander, P. Nihlmark. — Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2013. — 159 p.

3. *Васильев К. А.* Общие подходы при моделировании сложных процессов происходящих в системах промышленной вентиляции и пневмотранспортных системах / К. А. Васильев, Т. А. Дацюк, В. М. Петров // Морское образование: традиции, реалии и перспективы: материалы науч.-практ. конф. — 2015. — С. 25–30.

4. *Васильев К. А.* Моделирование системы кондиционирования воздуха на участках механической обработки композиционных материалов судостроительного производства / К. А. Васильев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 129–139. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-129-139.

5. *Гримитлин А. М.* Воздухообмен в цехах судостроительных заводов / А. М. Гримитлин, Г. М. Позин // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2014. — № 1 (145). — С. 106–108.

6. Пат. 2569245 Российская Федерация, МПК F24F 5/00. Рециркуляционный агрегат для производственных помещений / В. Е. Воскресенский, А. М. Гримитлин, Д. А. Захаров (заяв. и патентообл.). — № 2014149538/12; заявл. 08.12.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.

7. *Гримитлин А. М.* Вентиляция и отопление судостроительных производств / А. М. Гримитлин, Г. М. Позин // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — 6 (41). — С. 7–11.

8. *Петров В. М.* Исследование влияния лазерной упрочняющей технологии поверхности образцов из титанового сплава на работоспособность пары трения скольжения углепластик - титан / В. М. Петров,

А. А. Буцанец, С. Н. Безпальчук // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 120–129. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-120-129.

9. Васильев К. А. Повышение эффективности работы системы местной вентиляции при механической обработке композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении / К. А. Васильев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 64–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-5-64-74.

10. Vasiliev V. V. Anisogrid composite lattice structures – Development and aerospace applications / V. V. Vasiliev, V. A. Barynin, A. F. Razin // Composite Structures. — 2012. — Vol. 94. — Is. 3. — Pp. 1117–1127. DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.10.023.

REFERENCES

1. Anisimov, A. V., V. E. Bahareva, I. V. Blyshko, et al. *Sovremennye mashinostroitelnye materialy. Nemetallicheskie materialy: sprav.* Edited by I. V. Gorynin, A. S. Oryshhenko. SPb.: NPO «Professinal», 2012.

2. Fornander, M., and P. Nihlmark. A New Method for using Prestressed Fiber-Reinforced Polymer Laminates for Strengthening and Repair of Structural Members: Master's Thesis. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2013.

3. Vasil'ev, K. A., T. A. Datsyuk, and V. M. Petrov. "Obshchie podkhody pri modelirovanii slozhnykh protsessov proiskhodyashchikh v sistemakh promyshlennoi ventilyatsii i pnevмотransпортных системах." *Morskoe obrazovanie: traditsii, realii i perspektivy: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii.* 2015: 25–30.

4. Vasilev, Kirill Aleksandrovich. "Simulation of air conditioning system in areas of machining of composite materials shipbuilding production." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 129–139. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-129-139.

5. Grititlin, A. M., and G. M. Pozin. "Vozdukhoozmen v tsekhakh sudostroitel'nykh zavodov." *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* 1(145) (2014): 106–108.

6. Voskresenskii, V. E., A. M. Grititlin, and D. A. Zakharov. RU 2 569 245 C1, IPC F 24 F 5/00. Retsirkulyatsionnyi agregat dlya proizvodstvennykh pomeshchenii. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Nov. 2015.

7. Grititlin, A. M., and G. M. Pozin. "Air exchange management in shipyard shops." *Magazine of Civil Engineering* 6(41) (2013): 7–11.

8. Petrov, Vladimir Markovich, Artem Aleksandrovich Butsanets, and Sergej Nikolaevich Bezpal'chuk. "Influence of laser hardening technology of surface of samples of titanium alloy on the performance of friction pairs carbon fiber - titanium." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 120–129. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-120-129.

9. Vasilev, K. A. "Improve the effectiveness of the system of local ventilation during mechanical processing of polymer materials used in modern shipbuilding." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(27) (2014): 64–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-5-64-74.

10. Vasiliev, Valery V., Vyacheslav A. Barynin, and Alexander F. Razin. "Anisogrid composite lattice structures—Development and aerospace applications." *Composite structures* 94.3 (2012): 1117–1127.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Васильев Кирилл Александрович — аспирант
Научный руководитель:
Дацюк Тамара Александровна —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»
190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
e-mail: kirrrrrill@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vasilev, Kirill A. — Postgraduate
Supervisor:
Datsjuk Tamara Aleksandrovna —
Dr. of Technical Sciences, professor
Saint-Petersburg State University of Architecture and
Civil Engineering
4 2nd Krasnoarmeyskaya Str., St. Petersburg, 190005,
Russian Federation
e-mail: kirrrrrill@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2017 г.
Received: November 15, 2017.