

При традиционных методах ремонта остаточные напряжения не учитываются. Это может привести к тому, что на корпус начнут действовать чрезмерные нагрузки, при которых ребра жесткости могут потерять устойчивость.

Список литературы

1. Барышников С. О. Расчет редуцированных коэффициентов элементов корпуса судна по Правилам Российского речного регистра / С. О. Барышников // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2010. — Вып. 3 (7).
2. Барышников С. О. Общие остаточные деформации корпусов судов / С. О. Барышников, Т. О. Карклина // Речной транспорт. — 2010. — № 6.
3. Павлов А. В. Влияние износа на относительную гибкость продольных ребер жесткости / А. В. Павлов // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России: материалы V Межвуз. науч.-практ. конф. асп., студ. и курсантов, 14 мая 2014 г. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014.
4. Чистов В. Б. Технология ремонта корпусов судов. Конспект лекций / В. Б. Чистов. — Л.: ЛИВТ, 1978. — 66 с.
5. Российский речной регистр. Правила: в 4 т. — 2008. — Т. 2.

УДК 629.12, 697.9

К. А. Васильев,

аспирант,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОВРЕМЕННОМ СУДОСТРОЕНИИ

IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF LOCAL VENTILATION DURING MECHANICAL PROCESSING OF POLYMER MATERIALS USED IN MODERN SHIPBUILDING

В статье освещены проблемы, возникающие при вентилировании рабочих мест механической обработки композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении. Выделены основные негативные факторы образования отходов в виде крупных фрагментов — стружки и пыли разной фракции. Приведены методики контроля и экспресс-испытаний элементов вентиляции. Намечены технические пути решения частных проблем.

The article highlights the problems that occur when the ventilation of workplaces machining of composite polymer materials used in modern shipbuilding. Main negative factors of waste large pieces of shavings and dust with different factions. The above methods of control and rapid testing of the ventilation. Planned technical solutions to particular problems.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, реактопласт, матрица, наномодификатор, конструкция воздуховода, механическая обработка, виды стружки, пыль, система аспирации, пневмотранспорт.

Key words: polymer composite material with a thermosetting matrix, the nano modifiers, duct design, machining, types of chips, dust extraction system, pneumatic transport.

В СОВРЕМЕННОМ судостроении находят широкое применение композиционные полимерные материалы. Так, согласно прогнозам развития отрасли и данным крупнейших судостроительных компаний и научно-исследовательских организаций, таких как ЦНИИ КМ «Прометей», ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», ОАО «Концерн НПО «Аврора», ОАО ЦМКБ «Алмаз», ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и т. п. до 2020 г. подобные композиционные полимерные материалы могут полностью заменить металлы и их сплавы в конструкциях до 35–40 % от общей материалоемкости, а в деталях движительного комплекса и судовых энергетических установок до 15–20 %. Наглядным является пример использования подобных материалов в авиации. По аналитическим данным крупнейших ведущих мировых авиастроительных концернов «Airbus» и «Boeing» уже к 2015 г. металлоемкость конструкций планеров самолетов уменьшится в 1,5–2 раза, а композиционные материалы и гибридные конструкции благодаря своим уникальным физико-механическим характеристикам (см. рис. 1) будут занимать уже до 50 и более процентов от общей материалоемкости летательных аппаратов.

Ведущими научными судостроительными институтами и проектными организациями Российской Федерации изготовлены и прошли эксплуатационные испытания конструкции, полностью выполненные из полимерных композиционных материалов, а также гибридные конструкции судовых надстроек и рамных конструкций под главный двигатель [1, с. 7–8]. Композиционные полимерные материалы наномодифицированные и армированные металлическими конструктивными элементами, а также стекловолокном, широко применяются при изготовлении судовых валопроводов, валов, подшипников скольжения и виброизолирующих соединительных муфт и т. п. Наглядный рост применения модифицированных композиционных углепластиков триботехнического назначения (по данным ЦНИИ КМ «Прометей») в разных отраслях представлен на диаграмме (см. рис. 2).

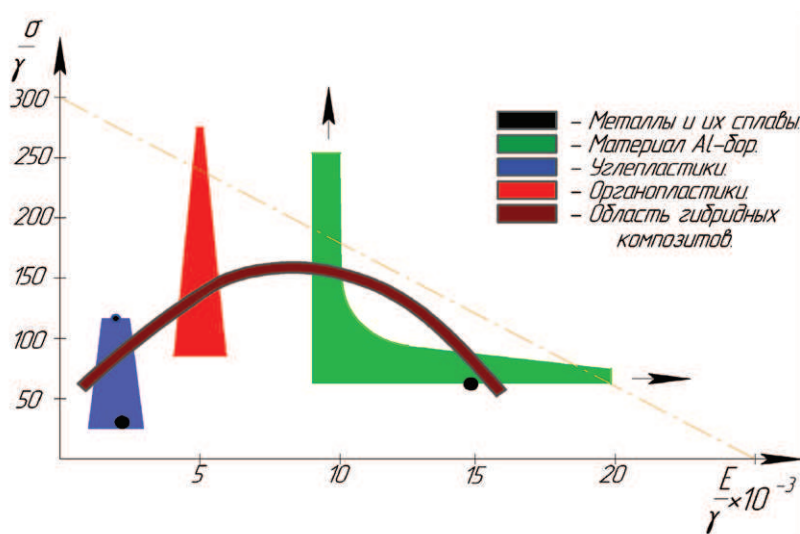


Рис. 1. Диаграмма, характеризующая уникальные физико-механические характеристики конструкционных материалов, применяемых в машиностроении (удельная прочность δ/γ и удельный модуль упругости E/γ в условных единицах конструкционных материалов)

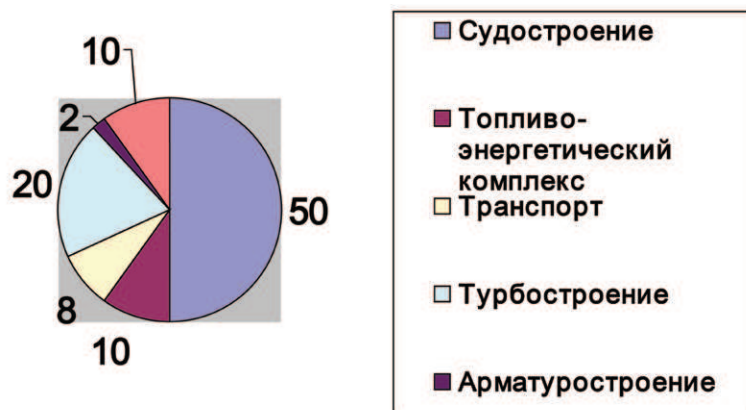


Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая перспективы использования композиционных углепластиков триботехнического назначения в разных отраслях промышленности и наземного транспорта (в процентном соотношении материалоемкости конструкции изделия в целом по отношению к металлам и их сплавам)

Кроме больших перспектив применения композиционных полимерных материалов в судостроении, имеются существенные недостатки, которые не позволяют достаточно широко применить изделия из этих материалов в данной отрасли машиностроения. Среди основных негативных сдерживающих факторов можно отметить:

— нет единой технологической базы в механической обработке, законов, принципов, технологических приемов и устоявшихся правил. В первую очередь это связано с отсутствием научных школ и опытных кадров в подготовке специалистов;

— нет единого подхода по использованию средств технического и технологического оснащения производства (СТО). Отсутствуют базы применения оборудования, инструмента и рекомендаций по обработке, рекомендации по выбору средств вентиляции и транспортировки отходов производства и пылевидной стружки;

— качество обработки композитных материалов (точность от 7-го качества и ниже, шероховатость от 1,6 до 0,8; 0,32 мкм по параметру микрогеометрии Ra) предъявляет высокие требования к оборудованию и инструменту (класс оборудования повышенной, особой точности, станки пылезащищенной конструкции), что многократно удорожает сами средства технического и технологического оснащения рабочих мест (в среднем от 5 до 10 раз);

— нет единых выработанных подходов к безопасности условий труда, охраны окружающей среды, не решены вопросы утилизации как самих изделий после исчерпания их ресурса, так и отходов производства (стружки и пыли).

Из вышеперечисленных задач решение вопросов экологии и безопасности рабочих мест и окружающей среды на производственных предприятиях являются самыми важными.

В целом, проанализировав ситуацию товарного рынка изделий из композиционных полимерных материалов, можно обозначить наиболее актуальную задачу, связанную с системой местной вентиляции, аспирации, транспортировки и утилизации отходов в виде стружки и пыли реактопластов, образующейся на рабочих местах механической обработки композиционных полимерных материалов.

1. Факторы, определяющие требования к системе вентиляции и утилизации отходов на рабочих местах при механической обработке композиционных полимерных материалов

Среди основных факторов, определяющих основные функциональные характеристики системы локальной вентиляции на рабочих местах обработки композиционных полимерных материалов, можно выделить:

- 1) особенности строения и физико-механические свойства полимерных композиционных материалов (матрица, армирующий материал, модификатор, гибридный каркас);
- 2) тип оборудования, вид процесса формообразования и характер действий оператора на рабочем месте;
- 3) тип исходной заготовки и коэффициент использования материала при изготовлении делали.

В судостроении используется достаточно большое количество разных полимерных композиционных материалов: текстолиты, стеклопластики, углепластики, гибридные конструкции и т. п. В применяемый в судостроении классификатор могут быть включены два класса композиционных материалов — полимерные композиционные материалы, состоящие из неметаллического наполнителя и полимерного связующего, и композиционные металлополимерные материалы, состоящие из наполнителя, полимерного связующего и металлической составляющей.

Для практической механической обработки важны четыре основные составляющие любых полимерных композитов (матрица, армирующий материал, модификатор, гибридный каркас изделия), которые в конечном счете определяют процесс обработки, характер и структуру отходов (стружки и пыли), образующейся при механической обработке подобных материалов.

Например, матрица углепластика обеспечивает монолитность материала, фиксирует форму изделия и взаимное расположение армирующих волокон, распределяет действующие внешние напряжения по объему композита, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и ее перераспределение при разрушении части армирующих волокон. В качестве матрицы выступают, например, эпоксидные, полиэфирные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды, кремнийорганические полимеры (полимерные композиционные углепластики — КУ), синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу коксованные (КУ) и так называемый пиролитический углерод (пироуглеродные КУ). В табл. 1 приведены свойства термореактивной матрицы (фенолоформальдегидной и эпоксидной смолы) композиционного углепластика.

Таблица 1

Физико-механические свойства материала матрицы КУ

Полимер	Условная плотность, кг/м ³	Максимальная рабочая температура, °С	Прочность*, МН/м ²	
			при растяжении	при сжатии
Эпоксидная смола	90–220	110	—	1,0–2,5
Фенолоформальдегидная смола К-40	190–230	120–130	2,0	0,8
Кремнийорганическая смола	200–400	250–300	0,6	0,8–14,0

Вторым фактором, определяющим характер разрушения при резании композита и образования стружки и пыли, является армирующий материал. Для триботехнических задач в судостроении используется угольное волокно. Данные по свойствам представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства армирующего материала КУ

Свойства	Высокомодульное волокно	Низкомодульное волокно
Модуль упругости, ГПа	300–700	200–250
Прочность при растяжении, ГПа	2,0–2,5	2,5–3,2
Плотность, г/см ³	1,3–2,0	1,3–2,0
Диаметр, мкм	5–50	5–50

Часто для обеспечения особых эксплуатационных свойств, например триботехнических или прочностных, производят модификацию или наномодификацию порошками металлов (Ni, Cu, баббита) или термопластов (тетрафторэтилен — фторопласт 4, полиэтилен высокого и низкого давления дисперсностью 0,1–0,4 мкм). Сами модификаторы расположены в микрообъемах хаотично в композите, создавая локальные зоны с анизотропной структурой. В углепластик порошки металлов попадают в виде глобул — скоплений частиц. Форма частиц осколочная. Размеры глобул для меди составляет 10–15 мкм, никеля — 10–20 мкм. Микрофотографии и фотографии поверхностей трения подобных композитов представлены на рис. 3 (по данным [2; 3, с. 788–793]).



Рис. 3. Микрофотографии поверхностей трения модифицированных углепластиков ФУТ:
а — нанопорошками Cu; б — Ni; в — баббитом Б83 [3]

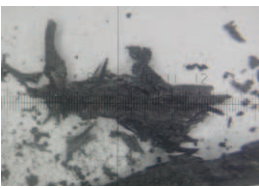
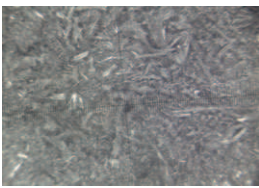
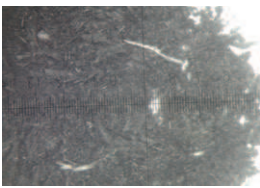
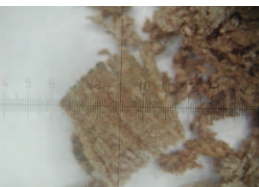
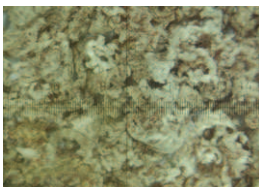
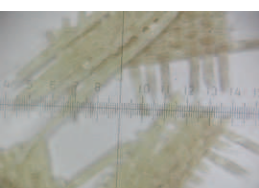
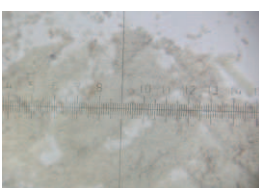
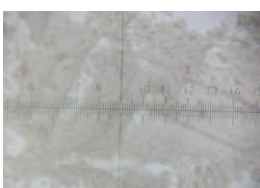
Конструкторы для решения частных задач используют гибридные конструкции. Так, для снижения коэффициента трения скольжения используют укладку с чередующимся шагом. В этом случае реактопласт чередуется с полимерным термопластичным материалом уже в виде макрообъемов. В других конструкциях, например палубных надстроек [1], композиционный материал может чередоваться со стеклопластиком или с металлическим каркасом, выполненным из алюминиевого или титанового сплава.

В случае модификации (наномодификации) после разрушения резанием композита получаем стружку и пыль, равномерно насыщенную продуктами модификатора в виде металлов и сплавов, более тяжелых и обладающих большей плотностью, чем полимерный композит. При обработке гибридных конструкций кроме мелкой пыли и микрочастиц металлического каркаса, возможен весь типоразмер стружки и пыли от разрушения резанием всей конструкции. Отдельные фрагменты стружки и пыли после обработки резанием заготовок деталей из композитов на современном обрабатывающем центре с числовым программным управлением представлены в табл. 3 (микрофотографии получены на измерительно-вычислительном комплексе МБС 10 с телевизионной приставкой — цифровая USB-видеокамера Altami USB 3150R6 1/2CMOS, увеличение X 16,3).

Для формообразования и получения окончательных размеров и требуемой шероховатости готовых деталей из композиционных полимерных материалов и сборочных единиц применяются практически все существующие виды механической обработки. При этом обработка может производиться, как на универсальных металлорежущих станках (станках с числовым программным управлением с закрытой зоной обработки), так и на специализированном стационарном оборудовании (роботы-манипуляторы и станки портального типа), что характерно для уникальных и крупногабаритных заготовок сложной формы (например, дейдвудные подшипники больших судов, корпусных надстроек и т. п.). Слесарные операции выполняются с применением ручных высокопроизводительных средств механизации (электрических, пневматических или гидравлических машин), оснащаемых специальным режущим инструментом. При механической обработке композиционных полимерных материалов применяются следующие виды лезвийной механической обработки: точение, фрезерование, сверление, гидроабразивная резка, нарезание резьбы, а также абразивной обработки в виде плоского шлифования, круглого шлифования операций финишной обработки алмазным инструментом.

Таблица 3

Фрагменты стружки и промышленной пыли после механической обработки резанием разных марок полимерных композиционных материалов, применяемых в судостроении

№ п/п	Марка и наименование композиционного полимерного материала	Образец стружки композиционного полимерного материала		Образец промышленной пыли (до 10 мкм)
		Крупные фрагменты (более 10 мм)	Мелкие фрагменты (от 0,1 до 1,5 мм)	
1	Углепластик УГЭТ			
2	Текстолит ПТК ГОСТ 5-78			
3	Стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74			

В настоящее время обработка заготовок из композитов производится на станках типа «обрабатывающий центр», где имеется концентрация операций. Поскольку обработка на одном станке ведется разным инструментом, то количество и качество стружки и пыли, продуктов деструкции композитов может быть разным, это также предъявляет особые требования к системе местной вентиляции.

В судостроении широко используются методы получения исходных заготовок: намотка, прессование, литье, экструзия и пр., позволяющие получать заготовки из полимерных композиционных материалов относительно высокой до 7,8 квалитетов точности с низкой шероховатостью поверхности, а в местах разреза пресформы до 6,3 мкм по параметру Ra. Однако условия их установки в конструкцию, сборка, стыковка и крепление во всех случаях требуют существенного объема механической обработки, связанной с удалением слоя материала. Особенно механическая обработка актуальна для обрабатываемых заготовок, имеющих сопрягаемые поверхности сложной конфигурации, а также поверхности триботехнического назначения, получение требуемого качества которых (точности и шероховатости) невозможно на заготовительных операциях. Как правило, предварительные заготовки из композиционных материалов для деталей триботехнического назначения имеют очень большие припуски снимаемого материала. В отдельных случаях количество материала композита, которое уходит в стружку, может достигать до 80 % от общего объема заготовки. Повышенные объемы стружки и пыли требуют более мощной системы местной вентиляции и вытяжки, чем при работе с ручным инструментом на операциях слесарной обработки.

2. Система местной вентиляции и трубопроводный транспорт утилизации отходов продуктов механической обработки полимерных композиционных материалов

Систему местной вентиляции, аспирации и трубопроводный транспорт (далее — СМВ) можно отнести к числу сложных [4]. Понятие «сложная система» является всеобъемлющим, оно используется при описании различных систем (технических, энергетических, биологических, социальных и пр.), основные положения сформулированы в работе Н. П. Бусленко [4]. Однако дать общее определение сложной системы не представляется возможным. В работе Дж. Касти [5] дано определение понятия «сложность», которое характеризуется: математической структурой неприводимых компонент (подсистем) и способом, которым эти компоненты связаны между собой. Согласно данной теории различают статическую и динамическую сложность, связанные с поведением системы во времени. Беря за основу данный подход, СМВ, используемая при обработке композиционных материалов, является статически (многокомпонентной, многосвязной, с большим числом переменных фиксированных промежуточных состояний и пр.) и динамически сложной, так как ее поведение зависит от изменения ряда параметров процесса резания во времени. В дальнейшем при рассмотрении СМВ термин «сложная система» будет термином «система».

Одной из важнейших характеристик любой сложной системы, в том числе СМВ, является ее структура. Так, под структурой системы СМВ понимается совокупность элементов и связей между ними, которые определяют ее состояние, исходя из распределения функций и целей, поставленных перед системой.

Рассмотрим структурные особенности СМВ в целом. Главной особенностью является то, что она не автономна и не замкнута. Действительно, система СМВ взаимодействует через технологическую систему процесса формообразования изделий из композиционного материала, самой системы вентиляции, аспирации и элементов системы трубопроводов, где замыкание системы происходит через продукты отходов производства (стружку, пыль и сопутствующие продукты деструкции композита). Через транспортируемую среду происходит замыкание системы и, как следствие, обеспечение наибольшей эффективной ее работоспособности в целом.

Автономность СМВ в целом является условной, так как в некоторых случаях приходится учитывать воздействие внешних источников (условно внешней среды) через элементы системы или отдельные узлы, в зависимости от компоновки.

При разработке моделей СМВ в целом изначально может использоваться метод, который называется интуитивно-топологическим. Суть его заключается в достаточно произвольном (то есть допускающем многовариантность решений) расчленении системы на отдельные инерционные блоки, соответствующие простым моделям, математическое описание которых известно. Задача ставится так, чтобы на основе характеристик, полученных при исследовании подсистем меньшей размерности, построить динамические характеристики сложной системы. Такая задача составляет предмет исследования науки *диакоптики*, развитой Г. Кроном [6]. Можно отметить, что декомпозиция в задачах большой размерности идейно сформировалась за последние 30 лет как раздел *теории больших систем* [4; 6].

Отметим, что адекватность модели исследуемой системы окончательно может быть установлена только на основе тщательно подготовленного на высоком техническом уровне инженерного эксперимента [7]. При решении частных задач и апробирования выбранных моделей нескольких уровней для отдельных подсистем весьма полезным оказывается математическое (машинное) моделирование, включая имитационное моделирование и методы программной модификации [9].

Таким образом, для адекватного описания сложной СМВ необходимо осуществить следующие этапы:

- 1) создание модели процесса — математическое описание;
- 2) анализ неопределенностей и формализация понятия цели (формирование целевой функции, критерия и т. п.);
- 3) решение возникших оптимизационных и сопутствующих математических задач.

Существуют два основных способа управления сложными процессами, в том числе процессами, протекающими в СМВ при механической обработке композиционных материалов: активное управление и пассивное. Активное управление основано на изменении потока энергии и может быть двух видов: управление процессами за счет *внесения дополнительной энергии* от источника извне и за счет систем *введения обратных связей*, которые изменяют энергетические потоки внутри системы. Все остальные виды управления классифицировать сложно и можно условно отнести к *пассивным* видам управления. К пассивным способам управления можно отнести *структурно-параметрический синтез*. Структура СМВ фиксирована для каждого рабочего места, а изменяться могут только параметры системы (например, режимы обработки композиционного материала, процесс формообразования, инструмент и пр.).

На всех этапах от проектирования и эксплуатации СМВ возникают противоречивые требования:

- необходимость осуществления за *минимальное время* наибольшей производительности при наименьших энергозатратах;

- необходимость *максимальной износостойкости* элементов трубопроводной системы вентиляции в режиме нормальной эксплуатации, определяющей главный экономический показатель (например, период наработки на отказ);

- *безопасность системы* в случае аварийной ситуации: при резком увеличении удаляемого материала с заготовки и одновременно максимальных нагрузках в переходных зонах.

Для успешного выполнения данных требований требуется *постановка задачи оптимизации*. Такая задача может быть как *однокритериальной* с различного вида ограничениями, причем глобальным критерием является экономический (например, эффективность удаления продуктов разрушения материала из зоны резания, энергопотребление), так и *многокритериальная*, что усложняет решение. В общем виде постановка задачи оптимизации установившегося процесса перемещения стружки и пыли по трубопроводам может быть представлена как задача оптимального синтеза с векторным критерием оптимальности на основе локальных критериев [7].

При моделировании процессов вентиляции и перемещения отходов по пневмотранспортным системам может возникнуть ряд неопределенностей:

- неопределенность целевой функции (неопределенность цели оптимизационного исследования);

- неопределенность знаний о преобладающих процессах в зоне обработки и выборе в связи с этим достоверных моделей, описывающих процесс;

- неопределенность и непредсказуемость поведения выбранного сочетания материалов «режущий инструмент–заготовка», режимов обработки и т. п.

Задачу пассивного управления СМВ можно решать, используя динамические модели процесса вентиляции и транспортирования по трубопроводу пыли и стружки, как математическую задачу оптимального управления [8]. Однако для рассматриваемых систем решение такой задачи является достаточно сложным и не всегда оправданным. В таких случаях необходимо рассматривать *квазиоптимальные модели*, а для некоторых условий работы рассматривать так называемые *рациональные системы*.

Одним из перспективных подходов решения указанных задач управления сложными системами является метод *программной модификации*, разработанный Д. В. Васильковым [9]. Этот метод реализован применительно к решению задач обеспечения производительности и эффективности работы технологических систем механической обработки заготовок. В дальнейшем данный метод был применен В. М. Петровым к решению задач управления параметрами сложных трибологических систем [10]. В случае рассмотрения СМВ метод программной модификации заключается в следующем: при определенных допущениях (например, максимальной эффективности работы СМВ) рассматривается совокупность критериев (параметров или показателей), определяющих состояние сложной системы вентиляции и удаления стружки, и на их основе производится

количественная оценка основных статических и динамических свойств системы с учетом возможной локальной модификации отдельных характеристик.

Применительно к решению задач СМВ при механической обработке композиционных полимерных материалов метод программной модификации можно представить в виде многоуровневого алгоритма.

На *первом уровне* задаются параметры на основе анализа проектируемой или исследуемой СМВ $F_{1к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. При этом можно выделить *неизменяемые* показатели (требования к функциональным характеристикам процесса вентиляции, пневмотранспорта и аспирации, определяющие основные скоростные $V(t)$, давление $P(t)$, расход $Q(t)$ тому подобные особенности окружающей среды (наличие агрессивных сред, излучений и т. п.) и *изменяемые* параметры (физико-химические свойства инструментального и обрабатываемого материалов, физико-химические свойства конструкционных материалов, используемых при изготовлении системы вентиляции, покрытия и т. п.). При этом изменяемые параметры делятся на *фиксируемые* (в данном процессе) и *варьируемые* в процессе оптимизации.

На *втором уровне* необходимо классифицировать вид композиционного материала и характер разрушения при выбранном способе механической обработки. Самое главное — это определить габаритные размеры и фракционный состав части. Все это можно осуществить:

— рассмотрев состав композиционного материала $F_{21к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, а именно: матрица, армирующий материал, наличие модификатора и каркаса гибридной конструкции, о чем говорилось выше;

— проанализировав способ формообразования изделия $F_{22к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, вид обработки (механическая лезвийная, механическая абразивная, лазерный или гидроабразивный раскрой и т. п.);

— проанализировав характер химического и физического взаимодействия частиц деструкции композиционного материала с элементами технологической системы (станок–инструмент–заготовка–технологическая оснастка), трубопроводного транспорта и системы аспирации $F_{23к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

На *третьем уровне* необходимо определить вид аспирационной системы, характерный для исследуемого процесса механической обработки и применяемого технологического оборудования $F_{3к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ (см. рис. 4).

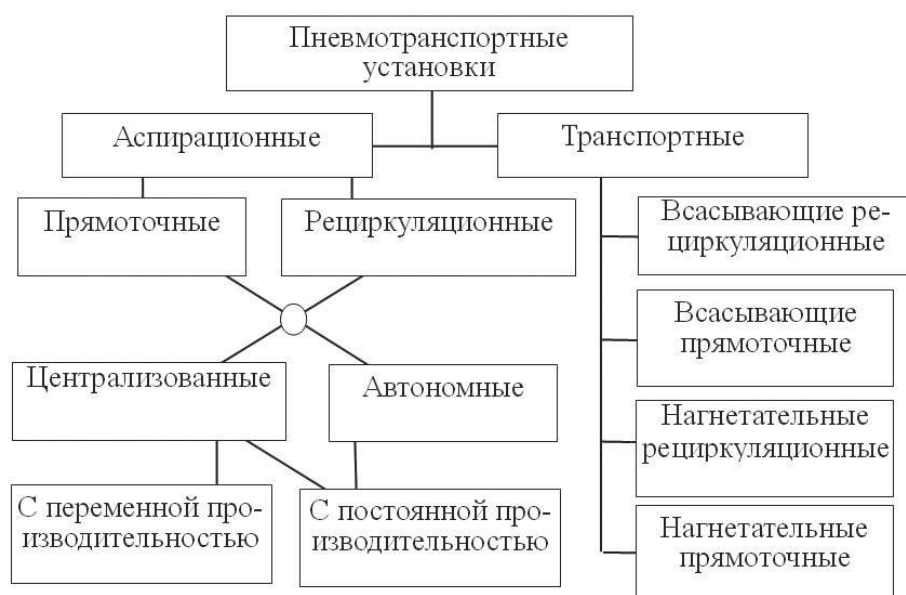


Рис. 4. Схема классификации аспирационных систем, применяемых для рабочих мест механической обработки композиционных полимерных материалов

На данном этапе также необходимо выбрать принципиальную схему аспирационных систем: прямоточную централизованную; рециркуляционно-централизованную; прямоточную автономную. Наиболее приемлемым является вариант прямоточно-автономной, поскольку позволяет эффективно удалять отходы с различных рабочих мест, на которых осуществляется обработка разных полимерных материалов, отличных по своим физико-химическим свойствам и составу.

На *четвертом уровне* необходимо выбрать $F_{4к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ схему пневмотранспортной системы для конкретного рабочего места в зависимости от аэродинамических условий работы узла загрузки и характера циркуляции воздуха. Так, в промышленности используют транспортные системы: всасывающие рециркуляционные, всасывающие прямоточные, нагнетательные рециркуляционные и нагнетательные прямоточные. Выбор той или иной системы зависит от характера частиц, их физической и химической активности, загазованности продуктами деструкции композиционного материала при разрушении резанием и наличие паров жидкой фазы.

На *пятом уровне* необходимо рассматривать физико-химические, реологические и теплофизические свойства продуктов деструкции композиционных материалов (крупных фрагментов — стружки и фракционного состава пыли) $F_{5к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ и характер взаимодействия с элементами трубопроводов системы вентиляции.

На *шестом уровне* необходимо выбрать инженерные решения, произвести компоновку и подобрать конструкционные материалы и протекторные покрытия $F_{6к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ элементов трубопроводов СМВ.

На *седьмом уровне* необходимо выбрать по кинематическому признаку схему испытания аспирационной системы и элементов пневмотранспорта $F_{7к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$: стенды для натурных испытаний, а также измерительные, аппаратные и инструментальные средства контроля; средства оценки характеристик эффективности и работоспособности системы вентиляции, аспирации и пневмотранспорта.

На *восьмом уровне* для эффективной работы спроектированной СМВ выработать дополнительные условия эффективного управления отдельными элементами системы вентиляции за счет использования физико-химических характеристик новых конструкционных материалов и наномодифицированных протекторных покрытий элементов трубопроводов аспирации и вентиляции и т. п. $F_{8к}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Заключение

В качестве вывода можно отметить, что на этапах проектирования технологических процессов механической обработки заготовок деталей из композиционных материалов важно заранее оценивать и предвидеть все возможные факторы (технические, технологические, эргономические, экологические), связанные с негативным влиянием избыточного образования отходов производства (стружки и пыли) на рабочих местах. То есть на этапе проектирования требуется комплексный подход к разрабатываемой системе местной вентиляции, аспирации и перемещения отходов по трубопроводной системе.

Решение задач вентиляции также позволит существенно повысить производительность и эффективность работы оборудования, поскольку сократятся простои, связанные с неплановой остановкой оборудования и очисткой рабочей зоны и рабочего места оператора от канцерогенной стружки и пыли. Кроме того, промышленные участки и цеха, на которых производится обработка полимерных композиционных материалов, приблизятся по своим условиям к обычным механообрабатывающим производствам и появится возможность использования на операциях механической обработки стандартного оборудования, используемого при обработке заготовок из металлов и их сплавов.

Список литературы

1. Булкин В. А. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении / В. А. Булкин, Н. Н. Федоню, А. В. Шляхтенко // Морской вестник. — № 1 (45). — 2013.
2. Пат. 2188834 РФ от 10.09.2002 г. Антифрикционная композиция / Рыбин В. В., Пономарев А. Н., Петров В. М., Абозин Ю. В., Бахарева В. Е., Малинок М. В., Никитин В. А.
3. Морфология контактной поверхности и трибологические характеристик углепластиков / И. И. Курбаткин [и др.] // Изв. Самарского научного центра РАН. — 2011. — Т. 13, № 4 (3).
4. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко. — М.: Сов. радио, 1973. — 440 с.
5. Касты Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы: пер. с англ. / Дж. Касты. — М.: Мир, 1982. — 216 с.
6. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика): пер. с англ. / Г. Крон. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
7. Вейц В. Л. Вопросы динамики машин: дис. д-ра техн. наук / В. Л. Вейц; ЛПИ. — Л., 1966. — 330 с.
8. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления: пер. с англ. / А. Брайсон, Ю-Ши Хо. — М.: Мир, 1972. — 544 с.
9. Васильков Д. В. Теория и практика оптимизационного проектирования механической обработки маложестких заготовок: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Д. В. Васильков; ГТУ. — СПб., 1997. — 426 с.
10. Петров В. М. Управление процессами контактного взаимодействия элементов трибосопряжения машин и технологических систем путем применения активных сред: дис. д-ра техн. наук: 05.02.04 / В. М. Петров; ПИМАШ. — СПб., 2004. — 335 с.