

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБА СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДИЗЕЛЯ

Статья посвящена экспериментальному исследованию возможности улучшения эксплуатационных показателей форсированных дизелей путем применения впрыска воды за турбиной.

Ключевые слова: поршневой двигатель, способы регулирования, воздуходобывание, турбокомпрессор, наддув, дизель.

Введение. Несмотря на широкое распространение дизелей с газотурбинным наддувом (ГТН) им присущ ряд существенных недостатков. Основные из них являются следствием того, что турбокомпрессор (ТКР), применяемый для наддува, может работать с максимальными значениями коэффициента полезного действия (КПД) и наилучшими показателями силовой установки (СУ) лишь на определенном режиме работы, называемом расчетным, в качестве которого для большинства двигателей принимается режим номинальной мощности. Поэтому при работе таких двигателей на нерасчетных режимах эффективность применения ТКР заметно снижается.

Несогласованность расходных характеристик двигателя и компрессора, а также снижение КПД последнего на нерасчетных режимах приводит к тому, что работа двигателя с ГТН на пониженных нагрузочных режимах сопровождается повышением удельного расхода топлива по отношению к значениям, которые характерны для безнаддувного дизеля [1].

Отрицательной особенностью двигателей с ГТН является пологое протекание характеристики крутящего момента при невысоком коэффициенте приспособляемости и сравнительно небольшим рабочим диапазоном изменения частот вращения, которой численно равен интервалу от частоты вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту, до номинальной частоты вращения КВ двигателя.

При работе дизеля с ГТН на переменных режимах невозможно эффективно использовать избыточную энергию выпускных газов и, как следствие, своевременно создать необходимое давление наддува. Поэтому динамические качества машин, оснащенных дизелями с ГТН, могут ухудшаться по сравнению с безнаддувными двигателями. Несмотря на снижение размеров, момент инерции роторов ТКР таков, что не позволяет получить такую же приемистость, как у двигателей без наддува или с приводными нагнетателями.

Для устранения данных недостатков необходимо применение систем регулирования воздуходобывания, в частности, систем, способных значительно уменьшить время переходного режима.

Результаты исследования. Улучшение динамических характеристик, в частности, переходного процесса на режимах разгона дизеля с ГТН воз-

можно за счет применения различных схем регулирования воздуходобывания и увеличения количества подаваемого топлива.

Увеличение количества подаваемого топлива дает повышение мощности и крутящего момента двигателя, но при этом существенно уменьшается коэффициент избытка воздуха, нарушается процесс сгорания и значительно увеличивается тепловая и механическая напряженность деталей цилиндрической группы (ЦПГ), повышается температура отработавших газов (ОГ) и противодавление на выпуске, что существенно снижает показатели надежности дизеля и повышает токсичность отработавших газов.

Регулирование воздуходобывания улучшает процессы рабочего цикла дизеля за счет увеличения количества воздуха, подаваемого в цилиндры, но при этом необходимо снижение противодавления на выпуске, особенно в период переходного процесса, когда системы воздухо- и топливоподачи находятся в неравновесном состоянии.

Так при решении задачи по сокращению времени переходного процесса дизеля на режиме разгона возникают противоречия. С увеличением цикловой подачи топлива повышается температура отработавших газов и противодавление на выпуске, что ведет к снижению эксплуатационных показателей, с одной стороны. С другой — при снижении температуры отработавших газов позволяет снизить противодавление на выпускном коллекторе и, как следствие, увеличить мощность дизеля на режиме разгона.

Устранение данного противоречия возможно путем охлаждения отработавших газов за счет впрыска воды в выпускной трубопровод за турбиной, что позволит увеличить цикловую подачу топлива на режиме разгона.

Такое регулирование воздуходобывания будет оказывать влияние на параметры рабочего процесса двигателя.

В связи с этим необходимо исследовать изменение давления и температуры отработавших газов при впрыске порций воды в выпускной коллектор и получение таких параметров рабочего процесса, которые обеспечили бы требуемые мощностные и динамические показатели двигателя. Для этого необходимо провести экспериментальные исследования и провести оценку эксплуатационных характеристик

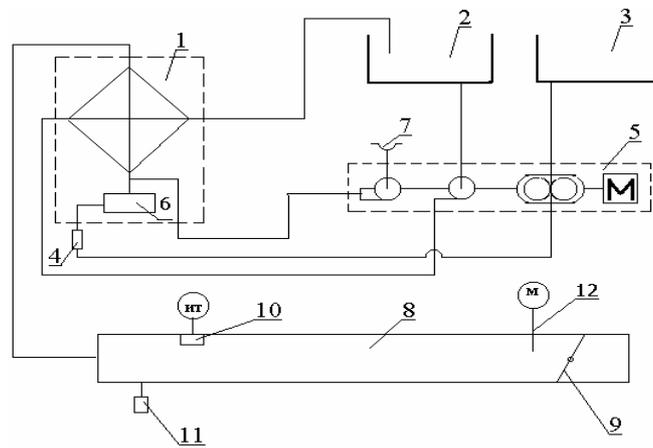


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

- 1 — котел предпускового подогревателя; 2 — водяной бак; 3 — топливный бак;
 4 — электромагнитный топливный клапан;
 5 — насосный агрегат (электродвигатель, воздушный, топливный и водяной насосы);
 6 — форсунка; 7 — заборник воздуха; 8 — выхлопная труба подогревателя;
 9 — заслонка; 10 — термопара; 11 — устройство для впрыскивания воды;
 12 — штуцер для подключения жидкостного пьезометра

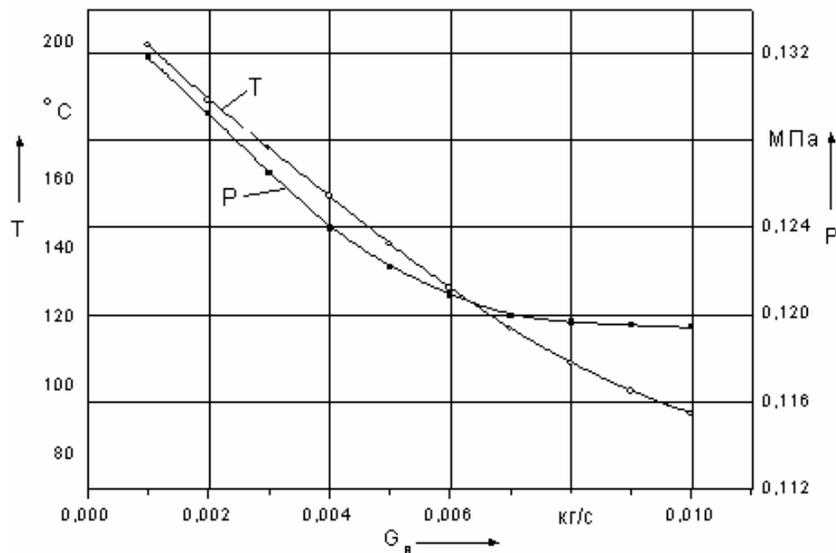


Рис. 2. Изменение температуры и давления в зависимости от количества впрыснутой воды

двигателя без регулирования и с регулированием воздухопоснабжения дизеля со свободным турбокомпрессором.

Для проверки решения задачи по сокращению времени переходного процесса, уменьшения стоимости и затрат на проведение моторных испытаний, связанных с исследованием влияния впрыскивания воды в выпускной трубопровод за турбину, создана установка на базе комплекта предпускового подогревателя ПЖД-30 [2]. Она включает в себя штатив, устройство для пуска предпускового подогревателя ПЖД-30 и приборов, контролирующих его работу (рис. 1).

Данная установка позволяет проследить изменение давления и температуры отработавших газов (ОГ) при изменении количества впрыснутой воды.

Перед выполнением испытаний проведена регулировка системы подачи топлива, установки в соответствии с техническими условиями (ТУ).

В качестве основных измеряемых и контролируемых показателей при проведении испытаний: температура ОГ, давление в выпускном коллекторе до

и после впрыскивания воды; температура впрыскиваемой воды.

Для измерения температуры внутри коллектора установлена хромель-алюмелевая термопара, подключённая к электрическому автоматическому потенциометру (мод. ЭПП-09М3). Создаваемое избыточное давление измерено жидкостным пьезометром (мод. КЛП).

Для моделирования режима работы дизеля запустили предпусковой подогреватель и вывели его на рабочий режим.

Температуру ОГ зафиксировали в пределе от 200 до 350 °С, установили перепад давления в выпускном коллекторе с помощью заслонки 100 мм вод. ст., тем самым имитировали сопротивление выпускной системы и осуществляли последовательно подачу воды от 1 до 10 г. Время впрыскивания 1–2 с. После каждого впрыскивания замерили температуру и давление ОГ.

Обработка полученных результатов проводилась в соответствии с ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.

Результаты исследования подтвердили, что при впрыскивании воды происходит снижение температуры и давления отработавших газов (рис. 2).

Анализ результатов показал, что оптимальным, с точки зрения расхода воды и понижения давления, может быть расход от 5 до 7 граммов в секунду. При этом давление в системе снизится примерно на 0,018–0,021 МПа, а температура примерно в два раза.

Вывод. Таким образом, данный эффект можно использовать для увеличения срабатывания теплоперепада на турбине в момент разгона, когда происходит разбалансировка в процессах воздухо-топливоподдачи. Увеличение положительной работы будет достаточно для подкрутки турбины и сокращения времени выхода на частоту, соответствующую установившемуся режиму, кроме того, можно ожидать

улучшение очистки цилиндра от ОГ из-за снижения противодействия на выпуске.

Библиографический список

1. Прокопенко, Н. И. Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н. И. Прокопенко. — СПб., М., Краснодар : Лань, 2010. — 707 с.
2. Осыко, В. В. Устройство и эксплуатация автомобиля КамАЗ-4310 [Текст] / В. В. Осыко, И. Я. Петриченко, Ю. А. Алленов. — М. : Патриот, 1991. — 351 с.

КОЛЬБ Валерий Викторович, преподаватель кафедры двигателей.

Адрес для переписки: irinakolb_@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.03.2015 г.

© В. В. Кольб

УДК 621.7:519.711.3

В. Г. МАРТЫНОВ

Омский государственный
технический университет

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПОМОЩИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Управление современным механосборочным производством — непростая задача. Ввиду важности принимаемых решений весьма актуальным представляется применение методов математического и компьютерного моделирования. Цель исследования — создание усовершенствованной математической модели сборочного участка для оперативного управления рабочим временем при поточной сборке изделий. Научная новизна заключается в обеспечении моделирования сборки нескольких узлов одновременно или поточной сборки.

Ключевые слова: сборка деталей, технологический процесс, производственный участок.

Организация современного механосборочного производства — весьма трудоемкий процесс. Широкое разнообразие номенклатуры изделий, производящихся на современном предприятии (зачастую производственный план дискретный, разорванный — задание на производство изделий размещают сразу же после получения технического задания от заказчика). Поэтому разноплановость и разнородность приводят к увеличению затрат на изделие в целом — доля именно механосборочных работ может достигать 30 % от стоимости изделия в целом [1]. Поэтому весьма важной задачей для технолога и начальника сборочного участка современного машиностроительного предприятия является не только составление оптимального технологического процесса, но и наиболее рациональное размещение выполнения технологических процессов всех изделий с учетом специфики условий — срочности заказа, загрузки оборудования и многих других.

Разработке маршрутного технологического процесса сборки предшествует изучение конструкции изделия, которое завершается составлением технологических схем общей и узловой сборки. Технологическая схема сборки содержит информацию о струк-

туре и порядке присоединения элементов изделия, комплектности сборочных единиц и соединений. При разработке маршрутного технологического процесса сборки на основе схемы сборки устанавливается содержание сборочных операций с таким расчетом, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная по своему характеру и технологически законченная работа. В дальнейшем построенная схема сборки служит для выявления и подробной разработки операций, определения видов работ, средств сборки и других параметров, образующих описание сборочных операций.

Поскольку творческий процесс анализа конструкции сборочной единицы, разработки схемы сборки и маршрутного технологического процесса сборки является трудоемким, многовариантным и трудноформализуемым и при этом влияет на последующую эффективность функционирования технологического процесса сборки, то для его выполнения желательно использовать математическое и компьютерное моделирование для обоснования рациональности и оптимальности принятого варианта [2].

Для создания математической модели функционирования производственного участка необходимо

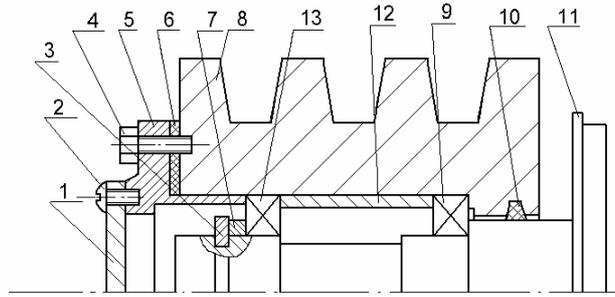


Рис. 1. Эскиз сборочной единицы «Ступица»:

1 — крышка; 2 — винт (2 шт.); 3 — кольцо стопорное; 4 — болт (4 шт.);
5 — фланец; 6 — прокладка; 7 — кольцо компенсационное; 8 — шкив;
9, 13 — подшипник; 10 — кольцо уплотнительное; 11 — ступица; 12 — втулка

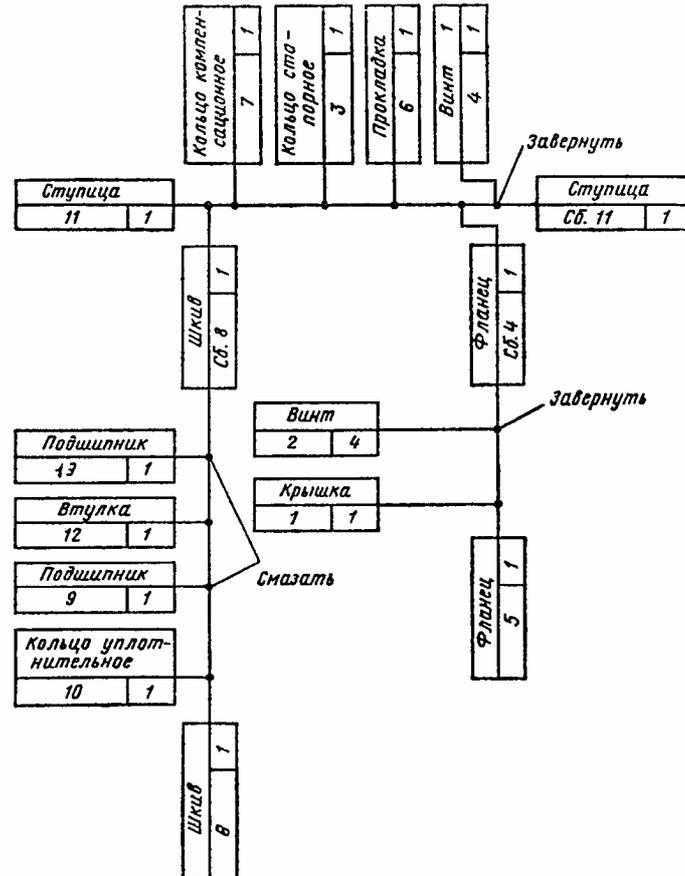


Рис. 2. Схема сборки узла «Ступица»

выделить и учесть следующие наиболее важные факторы:

- перемещение изделий и материалов по производственному участку;
- изменение их состояния (постепенная сборка изделия из отдельных деталей, изменение заготовки в процессе изготовления отдельной детали);
- изменяющееся количество задействованного в технологических процессах оборудования (внезапная поломка станка, приспособления);
- изменение фонда рабочего времени, связанное с персоналом, выполняющим работу (изменение количества работающих в данный момент или уровня их квалификации и др.);
- случайные временные факторы (незапланированные простои в работе);
- взаиморасположение на планах участка или цеха оборудования (станков, верстаков, шкафов с

инструментом, сборочных приспособлений, промежуточных складов и др. и его взаимосвязь [3].

При этом применяемая модель особого рода: структурно-функциональная, одновременно отражающая структуру и функционирование моделируемого объекта. Одним из оптимальных вариантов создания математической модели в данном случае является применение графов, и в частности, сетей Петри — эффективного инструмента моделирования дискретных процессов. Их основные особенности — возможность отображать параллелизм, асинхронность, иерархичность моделируемых объектов более простыми средствами, чем при использовании других средств моделирования [4].

Элементами сети Петри являются: маркер, место, переход и связь. Для создания данной математической модели применим цветную сеть Петри. В таком случае можно назначить не вещественную, а нату-

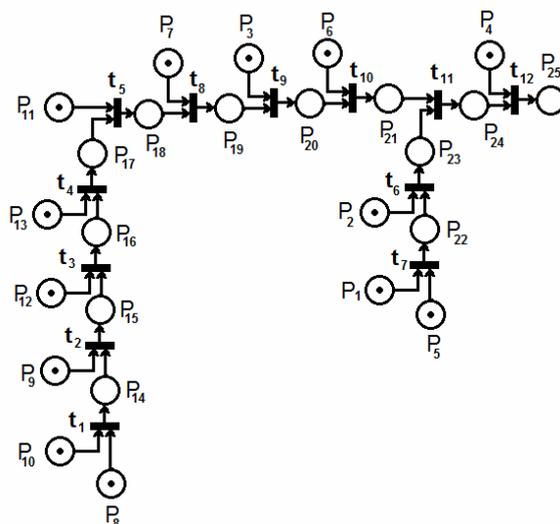


Рис. 3. Математическая модель сборочного процесса изделия «Ступица»

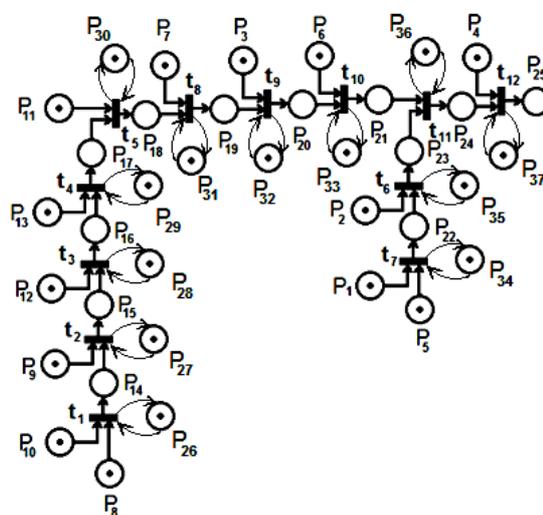


Рис. 4. Модернизированная математическая модель сборочного процесса

ральную кратность объектов и маркеров (что позволяет более гибко представлять процессы движения и изменения объектов) [5].

Рассмотрим процесс моделирования технологического процесса сборки на примере узла «Ступица» (рис. 1). Схема сборки данного узла приведена на рис. 2. Расположение в цехе сборочного участка при этом является типовым [6]. Производство серийное; потерь времени, связанных с работой персонала и оборудования, нет.

На основе схемы сборки путем последовательных преобразований может быть получена математическая модель схемы сборки в виде сети Петри (рис. 3) [7].

Однако при экспериментах с данной моделью был обнаружен существенный недостаток: она подходит для имитации процесса сборки лишь одного изделия. Это связано с особенностью аппарата сети Петри

Сеть, представленная на рис. 3, пригодна для моделирования сборки только одного узла и не может быть использована для моделирования сборки нескольких узлов или поточной сборки. Это связано с тем, что переходы, моделирующие процесс сборки, после начала сборки очередной пары деталей сразу же становятся доступными для следующей пары

деталей, хотя процесс сборки предыдущей пары деталей еще не завершился. Для того, чтобы исключить подобную ситуацию, в сеть вводятся дополнительные позиции ($P_{26} - P_{37}$), время задержки в которых равно времени сборки пары деталей, чем обеспечивается невозможность срабатывания переходов до завершения сборки предыдущей пары деталей. Дополненная математическая модель, пригодная для моделирования поточной сборки изделий, приведена на рис. 4.

Библиографический список

1. Челищев, Б. Е. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении [Текст] / Б. Е. Челищев, И. В. Боброва, А. Гонсалес-Сабатер. — М. : Машиностроение, 1987. — 264 с.
2. Мартынов, В. Г. Применение характеристической сети Петри при моделировании параллельно протекающих технологических процессов механосборочного производства / В. Г. Мартынов // Естественные и технические науки. — 2014. — № 6 (74). — С. 114–117.
3. Масыгин, В. Б. Моделирование конструкции сборочной единицы и технологической схемы сборки при помощи графов [Текст] / В. Б. Масыгин // Прикладные задачи механики :

сб. науч. тр. ; под ред. В. В. Евстифеева. — Омск : ОмГТУ, 1999. — С. 130—134.

4. Робототехника и гибкие автоматизированные производства [Текст]. В 9 кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств : учеб. пособие для вузов / С. В. Пантюшин [и др.] ; под ред. И. М. Макарова. — М. : Высш. шк., 1986. — 175 с.

5. Масыгин, В. Б. Матричные алгоритмы моделирования конструкции сборочной единицы и технологической схемы сборки [Текст] / В. Б. Масыгин // Механика процессов и машин : сб. науч. тр. ; под ред. В. В. Евстифеева. — Омск : ОмГТУ, 2000. — С. 189—192.

6. Чарнко, Д. В. Основы проектирования механосборочных цехов / Д. В. Чарнко, Н. Н. Хабаров / М. : Машиностроение, 1975. — 237 с.

7. Мартынов, В. Г. Применение сетей Петри при моделировании управления технологическими процессами сборочного производства / В. Г. Мартынов, В. Б. Масыгин // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2014. — № 1 (127). — С. 134—137.

МАРТЫНОВ Виктор Геннадьевич, аспирант кафедры технологии машиностроения.

Адрес для переписки: corsairsr@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.04.2015 г.

© В. Г. Мартынов

УДК 621.924

**П. В. НАЗАРОВ
Е. В. ВАСИЛЬЕВ
А. Ю. ПОПОВ**

Омский государственный
технический университет

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФАСОННОЙ ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

В статье проводится анализ существующих инструментов для правки фасонных поверхностей, анализируются существующие схемы фасонной правки абразивного круга и разрабатывается специальное приспособление для выбранного метода правки.

Ключевые слова: правка шлифовального круга, приспособления для правки круга, профильное шлифование, абразивный инструмент, формообразование, точность.

Статья выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках договора 02.G25.31.0099 в рамках постановления Правительства Российской Федерации 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» от 9 апреля 2010 года.

На машиностроительных предприятиях обрабатываются изделия различных профилей (треугольные, трапециевидальные, эвольвентные и т. д.), например, резьбовые калибры, накатные ролики, протяжки и т. д. Наиболее трудоёмкой операцией является профильное шлифование, при котором возникает проблема правки рабочей поверхности шлифовального круга, а именно в получении требуемой точности профиля при высокой производительности.

Существуют различные правящие инструменты, предназначенные для правки рабочей поверхности абразивных инструментов. Проведённый анализ имеющихся правящих инструментов (табл. 1) показал, что наиболее оптимальным правящим инструментом для фасонной правки является алмазная игла, т.к. она обеспечивает высокую точность профиля рабочей поверхности круга и быструю правку при шлифовании [1].

На машиностроительных предприятиях при профильном шлифовании, например зубьев эвольвент-

ного профиля, используются станки-автоматы, в которых для осуществления правки круга используются специальные автономные правящие устройства сложной конструкции. Схема работы данных устройств заключается в перемещении правящего инструмента по траектории заменяющей профиль эвольвенты радиусом окружности. Для фасонной правки рабочей поверхности шлифовального круга необходимо семь движений формообразования, а именно главное движение — вращение абразивного круга (n , об./мин) и движение подачи — поперечной подачи ($S_{\text{поп}}$, мм/мин), продольной подачи ($S_{\text{пр}}$, мм/мин) и перемещение алмазной иглы по радиусу ($S_{\text{иг}}$, мм/мин), при этом подача осуществляется каждой иглой по отдельности, что в значительной мере влияет на точность получаемого профиля (рис. 1).

При данной схеме шлифования с увеличением модуля изделия будет увеличиваться погрешность эвольвентного профиля. Схема образования погрешности профиля абразивного круга, получаемого данным методом, заключается в том, что при замене

Анализ существующих правящих инструментов

Алмазный карандаш ГОСТ 607-80	
Достоинства: 1. Невысокая стоимость 2. Простота конструкции	Недостатки: 1. Высокая погрешность получаемого фасонного профиля 2. Высокая трудоёмкость наладки 3. Требуется дополнительная оснастка
Алмазный ролик на металлической связке	
Достоинства: 1. Высокая производительность	Недостатки: 1. Высокая стоимость 2. Требуется дополнительное устройство для вращения алмазного ролика
Абразивный круг	
Достоинства: 1. Невысокая стоимость	Недостатки: 1. Требуется дополнительное устройство для вращения правящего круга. 2. Высокая погрешность получаемого профиля 3. Низкая производительность
Алмазная игла	
Достоинства: 1. Высокая точность получаемого фасонного профиля 2. Минимальное время правки	Недостатки: 1. Требуется дополнительная оснастка
Накатник	
1. Высокая производительность	1. Высокая стоимость 2. Требуется специальная оснастка 3. Невысокая точность получаемого фасонного профиля

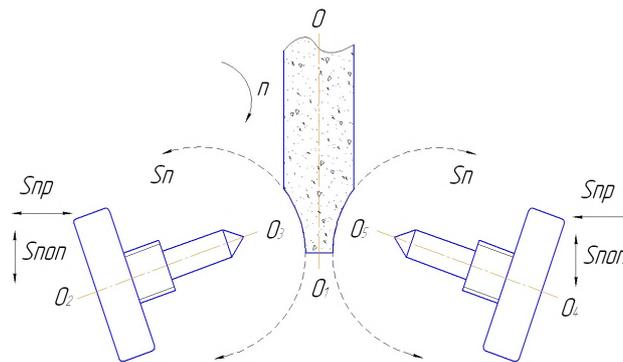


Рис. 1. Применяемая схема правки рабочей части шлифовального круга

эвольвенты окружностью на теоретическом профиле лежат всего три точки заменяющей окружности и увеличить количество точек, совпадающих с теоретическим профилем эвольвенты окружностью, не представляется возможным [2]. Поэтому повышение точности при фасонной правке рабочей поверхности шлифовального круга является первоочередной задачей при изготовлении деталей эвольвентного профиля.

В настоящее время ведется техническое перевооружение имеющегося станочного парка шлифовальных станков на шлифовально-заточные станки с ЧПУ, в которых нет необходимости применения автономных правящих устройств, так как правку рабочей поверхности абразивного круга возможно осуществлять по управляющей программе станка.

Для обеспечения требуемой точности фасонной правки рабочей поверхности шлифовального круга необходимо выбрать схему правки и разработать специальное приспособление, которое позволит осуществлять фасонную правку с наименьшей погрешностью профиля. Выбранная схема заключается в том, что алмазные правящие иглы необходимо жестко установить под углом α к оси симметрии абразивного круга, но при этом величину Δ необходимо свести к возможному минимуму, поскольку

она влияет на погрешность полученного профиля (рис. 2).

Данный способ может быть реализован на шлифовально-заточных станках с ЧПУ путём перемещения шлифовального круга по эвольвенте в зависимости от необходимого модуля зуба. Для правки шлифовального круга необходимо три движения формообразования, а именно главное движение — вращение абразивного круга (n , об./мин) и движение подачи — поперечной подачи ($S_{\text{поп}}$, мм/мин) и продольной подачи ($S_{\text{пр}}$, мм/мин), при этом подача должна осуществляться по программе в зависимости от необходимого профиля и модуля абразивного круга (рис. 3).

Приспособление для правки шлифовального круга содержит два встречно установленных правящих инструмента, два упругих элемента, выполненных в виде пружин и двух клиновидных элементов и имеющее в своем составе плиту, на которой жестко установлена призматическая стойка, состоящая из опоры и размещенных в верхней её части клиновидных прямоугольных элементов, расположенных под углом 90° относительно друг друга. На клиновидных элементах зафиксировано по подпружиненному подвижному блоку. В верхней части каждого подвижного блока установлены встречно направленные

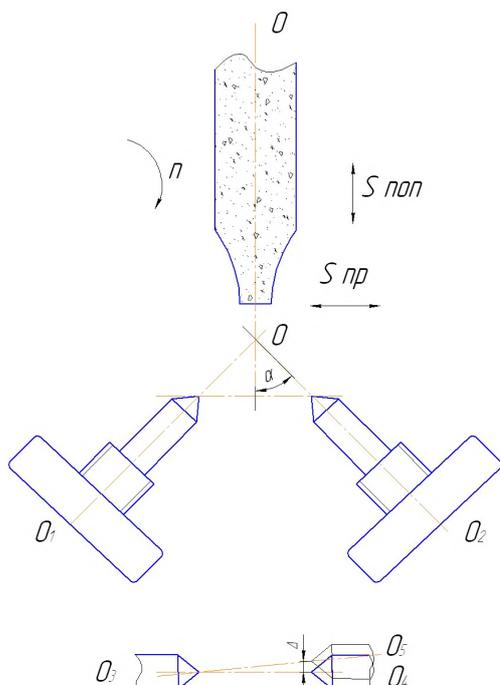


Рис. 2. Выбранная схема правки рабочей части шлифовального круга

правлящие инструменты в виде алмазной иглы, зафиксированной гайкой. Расстояние b между алмазными головками зависит от ширины шлифовального круга и будет зависеть от высоты центров H и высоты текущего положения h_1 и рассчитывается по формуле:

$$b = b_1 \times 2 + 5,$$

где b_1 — расстояние между осевой линией OO и осью алмазной иглы OO_1 или OO_2 , тогда величина угла α будет определяться по формуле:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{b_1}{H - h_1},$$

где H — максимальная высота центра;
 h_1 — текущее положение вершины алмазной иглы.

Тогда расстояние b между алмазными иглами определяем по формуле:

$$b = 2 \times (H - h_1) \times \operatorname{tg} \alpha.$$

Ширина шлифовального круга выбирается из диапазона от 5–50 мм.

Рассмотрим конструкцию предложенного приспособления для правки круга.

Приспособление для правки шлифовального круга для наружного шлифования содержит два встречно установленных правящих инструмента 1, два упругих элемента 2, выполненных в виде пружин, и два клиновидных элемента 3 и имеет в своем составе плиту 4, на которой жестко установлена призматическая стойка 5, состоящая из опоры 6 и размещенных в верхней её части клиновидных прямоугольных элементов 3, расположенных под углом 90° относительно друг друга. Опора 6 в нашем конкретном случае выполнена квадратной, стойка 5 жестко закреплена к плите 4, например, сваркой ГОСТ 5264-80-ТЗ и может быть выполнена, например, из стали ГОСТ 1050-88. На клиновидных элементах 3 зафиксировано по подвижному блоку 7. Каждый подвижный блок 7 подпружинен упругим элементом 2 и зафиксирован

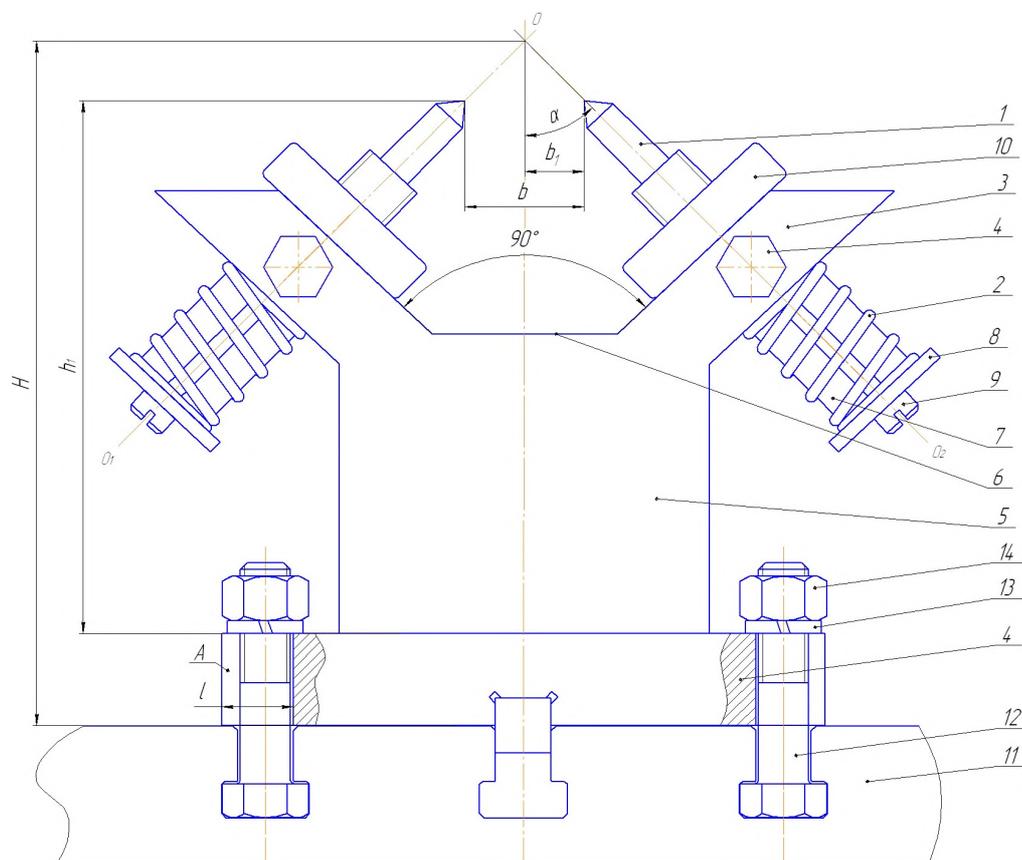


Рис. 3. Общий вид приспособления для правки шлифовального круга

шайбой 8 и винтом 9. В верхней части подвижного блока 7 установлены встречно направленные правящие инструменты 1 в виде алмазной иглы 10, зафиксированной гайкой 11.

Для крепления приспособления для правки шлифовального круга к плите 11 в плите предусмотрены пазы А глубиной l, в которые устанавливаются болты 12, например, ГОСТ 7798-70 и фиксируются гайкой 14 и шайбой 13.

Сборка приспособления осуществляется следующим образом.

На плиту 4 фиксируют стойку 5, например, сваркой ГОСТ 5264-80-ТЗ, на которую устанавливают подвижный блок 7, предназначенный для подвода алмазной иглы, и фиксируют винтом. На каждый подвижный блок устанавливают правящие инструменты в виде алмазной иглы 1 (например, ГОСТ 6507-90) и фиксируют гайкой 10. Шлифовальный круг устанавливают на шпиндель станка, например, ВЗ-700Ф4 и осуществляют профильное шлифование протяжки. Значение величины h_1 рассчитывают следующим образом.

Берем круг, например, шириной $b = 20$ мм, максимальная высота центра $H = 180$ мм, тогда высота текущего положения вершины алмазной иглы h_1 будет определяться следующим образом:

$$h_1 = H - \frac{b}{2 \times \operatorname{tg} \alpha},$$

где α — угол между центральной осью OO и OO_1 или OO_2 ;

h_1 — текущее положение вершины алмазной иглы;

H — максимальная высота центра;

b — расстояние между алмазными иглами.

$$h_1 = 180 - \frac{20}{2 \times \operatorname{tg} 45} = 170 \text{ мм.}$$

Таким образом, разработанная конструкция позволит осуществлять двустороннюю фасонную правку различных профилей изделий и обеспечить точность профиля в пределах 3 мкм (допуск 3 мкм максимально допустимый допуск на ответственные детали авиационной промышленности).

Библиографический список

1. Романов, В. Ф. Технология алмазной правки шлифовальных кругов / В. Ф. Романов, В. В. Авакян. — М. : Машиностроение, 1980. — 120 с.
2. Васильев, Е. В. Анализ схем формообразования эвольвентного профиля поверхности зуборезных долбяков / Е. В. Васильев, Ю. Р. Нуртдинов, А. Ю. Попов // Вестник УГАТУ. — 2013. — № 8 (61). — С. 29–37.

НАЗАРОВ Павел Владиславович, ассистент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

ПОПОВ Андрей Юрьевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты».

Адрес для переписки: nazaroffpavel@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.02.2015 г.

© П. В. Назаров, Е. В. Васильев, А. Ю. Попов

Книжная полка

Хомченко, В. Г. Мехатронные и робототехнические системы [Электронный ресурс] : учеб. электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / В. Г. Хомченко, В. Ю. Соломин. — Электрон. текстовые дан. (3,03 Мб). — Омск : ОмГТУ, 2014. — 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Изложены основы построения мехатронных и робототехнических систем применительно к автоматизированным технологическим процессам машиностроительного производства. Указаны области применения мехатронных и робототехнических устройств, принципы их создания. Уделено внимание классификации промышленных роботов и их манипуляционных систем, а также классификации робототехнических комплексов. Изложены основные положения кинематики и динамики манипуляционных систем промышленных роботов, проектирования траекторий схвата для различных производственных ситуаций. Предназначено для студентов специальностей «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Мехатроника». Также будет полезно для бакалавров и магистров по направлению подготовки «Автоматизация и управление».

Шестель, Л. А. История и развитие сварочного производства [Электронный ресурс] : учеб. электрон. изд. локального распространения : конспект лекций / Л. А. Шестель. — Электрон. текстовые дан. (1,10 Мб). — Омск : ОмГТУ, 2014. — 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В конспекте лекций представлен анализ литературного материала по различным способам сварки от их зарождения до самых современных видов. Дана характеристика физических процессов, происходящих при многообразных видах сварки; приведены схемы этих процессов и дается сравнительный анализ по преимуществу и недостаткам каждого вида сварки. Представленный материал полезен как для бакалавров по направлению «Технологические машины и оборудование», так и для инженеров по специальности «Оборудование и технология сварочного производства».

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В работе рассматривается адаптивная система интеллектуального управления параметрами технологических процессов, разработанная с применением аппарата нечеткой логики. Рассмотрена постановка задачи исследования, метод ее решения и результаты производственных исследований системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, технологический процесс, объект управления, нечеткий регулятор, база правил.

Эффективность технологических процессов производства пищевой продукции существенно зависит от технологических режимов процесса, условий окружающей среды и опыта специалистов-технологов, управляющих ходом процесса. Большое значение придается ресурсо- и энергосберегающим технологиям, что, как правило, приводит к необходимости учета внешних условий при выборе технологических режимов процесса [1].

При автоматизации управления технологическими процессами в современных условиях недостаточно управлять отдельными технологическими параметрами процесса с использованием традиционных регуляторов, что является наиболее распространенным подходом в практике создания автоматизированных систем управления технологическими процессами [2].

Современная автоматизированная система управления должна обеспечивать адаптацию процесса при изменении условий функционирования (внешних условий) и основываться на базе знаний экспертов-технологов, используя их накопленный практический и научный опыт. Задача создания таких систем в настоящее время актуальна и требует поисков решений.

Рассмотрим построение адаптивной системы управления объектом пищевого производства с использованием сформулированных выше принципов. Объект управления характеризуется управляемыми выходами $Y(y_1, y_2 \dots y_n)$ и входами управления $U(u_1, u_2 \dots u_m)$. Заданное состояние объекта определяется уставками.

Зависимость динамических параметров объекта управления от внешних параметров окружающей среды $G(g_1, g_2 \dots g_r)$ обуславливает необходимость смены уставок параметров процесса при изменении параметров внешней среды в целях оптимизации управляемого процесса. Детерминированное описание названных связей, как правило, отсутствует, од-

нако имеется практический опыт управления объектов у специалистов-технологов представляющий из себя рекомендации по режимам параметров технологического процесса Y от внешних условий его осуществления G . Этот опыт составляет базу экспертных знаний. Сформулируем базу экспертных знаний в виде следующих правил:

*ЕСЛИ параметры окружающей среды G ,
ТО режим технологического процесса Y*

Стратегия управления определяется набором подобных правил, при составлении которых учитывается эффективность функционирования объекта управления по комплексу показателей. Однако при формулировании системы нечеткого управления на основе представленных стратегий необходимо получать значение об обратной связи в виде текущих значений параметров технологического процесса, но уже в представлении, как входных параметров системы U , и в заключении формулировать управляющие воздействия на исполнительные механизмы Y для достижения и поддержания необходимых режимов технологического процесса. Тогда базу экспертных знаний можно представить следующими правилами:

*ЕСЛИ параметры окружающей среды G
И параметры технологического режима U ,
ТО управляющие воздействия на исполнительные механизмы Y*

База нечеткого регулятора определенная полным набором правил представляет ситуационное описание поведения системы, в виде заданных технологом управляющих воздействий, на технологические параметры процесса в условиях изменяющихся внешних условий осуществления.

При построении системы интеллектуального управления на основе описанных принципов необхо-

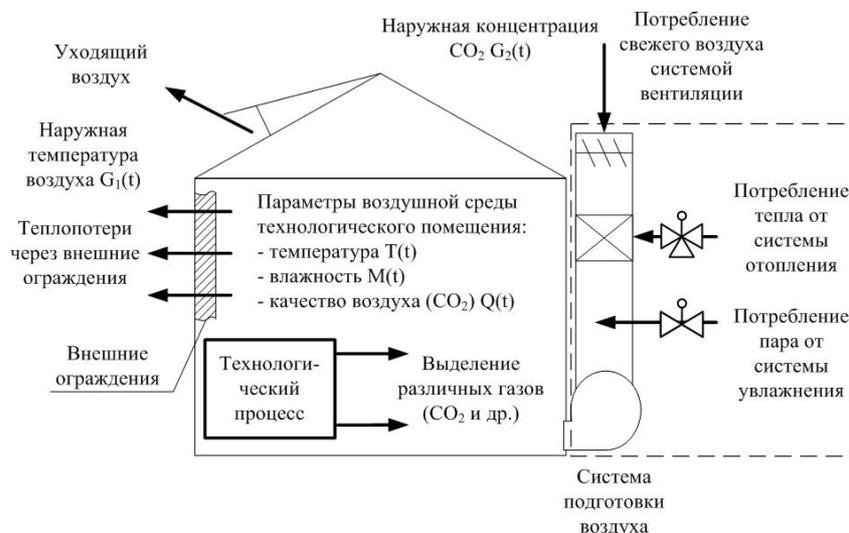


Рис. 1. Объект управления

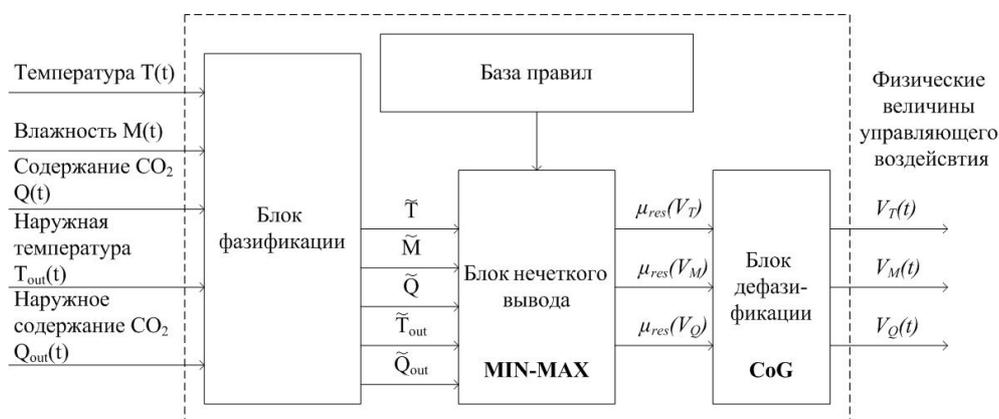


Рис. 2. Структура нечеткого регулятора

димому решить задачу фазификации описаний параметров технологического процесса, внешних условий и управляющих воздействий; сформулировать базу правил на основе систематизации экспертных знаний; выполнить нечеткий вывод и осуществить дефазификацию для выходов системы управления.

Результатом работы алгоритмов управления с использованием такой системы является автоматическая адаптация выходов объекта управления при изменении параметров внешней среды, что обеспечивает эффективность функционирования объекта управления в конкретных условиях.

Для процесса поддержания параметров микроклимата технологического процесса характерны множественные связи между выходными величинами процесса и внешними влияющими факторами. Эти связи можно учесть, рассматривая систему автоматического регулирования. Общая схема автоматизации параметров микроклимата технологических помещений представлена на рис. 1.

Технологический процесс протекает в закрытом помещении и характеризуется температурой воздуха $T(t)$ в помещении, влажностью воздуха $M(t)$ и качеством воздуха (на примере концентрации CO_2) $Q(t)$. Сочетание перечисленных параметров в основном определяет объем и качество продукции, а также энергетические затраты на осуществление процесса.

Накопленный опыт показывает, что при изменении внешних условий (внешняя температура $T_{out}(t)$ и содержание углекислого газа в атмосфере) для получения оптимального результата по комплексу показателей — «выход продукции, ее качество и суммарные энергозатраты на процесс» необходимо изменять режимы T , M , Q . Причем аналитическое описание этой связи не представляется возможным. Но при этом на основании накопленного опыта можно сформулировать правила управления по описанному выше шаблону.

Для реализации правил управления в системе используется нечеткий регулятор (рис. 2), осуществляющий выбор управляющих значений на исполнительные механизмы каждого из регулируемых параметров (T , M , Q) при изменении внешних возмущений ($G_1(t)$ и $G_2(t)$) от окружающей среды и параметров процесса.

На вход нечеткого регулятора поступает информация о состоянии внешней среды: значение температуры воздуха внешней среды T_{out} (возмущение $G_1(t)$), значение концентрации углекислого газа внешней атмосферы Q_{out} (возмущение $G_2(t)$) и текущие значения параметров технологического процесса — температура воздуха $T(t)$, влажность воздуха $M(t)$ и концентрация CO_2 $Q(t)$. Сигналы информации формируются соответствующими датчиками. Значения перечисленных физических величин подверга-

База правил нечеткого регулятора

$T/M/Q$	bn	n	sn	z	sp	p	bp	bbp
$T_{out}=n$ И $Q_{out}=z$								
Упр. T		Op	Op	St	Cl	Cl	Cl	
Упр. M		Op	Op	St	Cl			
Упр. Q	Cl	Cl	Cl	St	Op	Op	Op	Op
$T_{out}=bn$ И $Q_{out}=z$								
Упр. T		Op	St	Cl	Cl	Cl	Cl	
Упр. M		Op	Op	St	Cl			
Упр. Q	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	St	Op	Op
$T_{out}=z$ И $Q_{out}=z$								
Упр. T		Op	Op	Op	St	Cl	Cl	
Упр. M		Op	St	Cl	Cl			
Упр. Q	Cl	St	Op	Op	Op	Op	Op	Op
$T_{out}=n$ И $Q_{out}=p$								
Упр. T		Op	Op	St	Cl	Cl	Cl	
Упр. M		Op	Op	St	Cl			
Упр. Q	Cl	Cl	Cl	Cl	St	Op	Op	Op
$T_{out}=bn$ И $Q_{out}=p$								
Упр. T		Op	St	Cl	Cl	Cl	Cl	
Упр. M		Op	Op	St	Cl			
Упр. Q	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	St	Op
$T_{out}=z$ И $Q_{out}=p$								
Упр. T		Op	Op	Op	St	Cl	Cl	
Упр. M		Op	St	Cl	Cl			
Упр. Q	Cl	Cl	St	Op	Op	Op	Op	Op

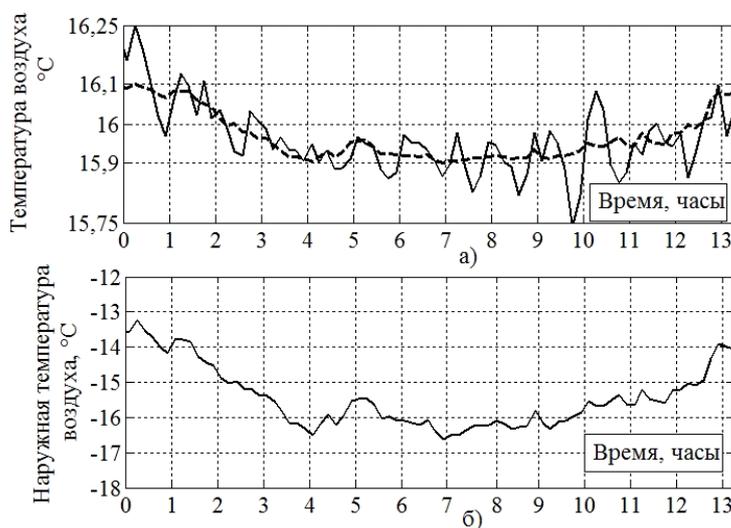


Рис. 3. Графики температуры воздуха:
 а — сплошная линия — в технологическом помещении;
 пунктирная — определенная правилами системы интеллектуального управления;
 б — график наружной температуры воздуха

ются фазификации в соответствии с принятыми лингвистическими переменными:

— «Наружная температура» (bn — температура заниженная; n — температура пониженная; z — температура номинальная);

— «Наружное содержание углекислого газа» (z — содержание CO_2 номинальное; p — содержание CO_2 повышенное).

— «Температура воздуха в технологическом помещении» (n — пониженная; sn — немного пониженная; z — номинальная; sp — немного повышенная; p — повышенная; bp — завышенная);

— «Влажность воздуха в технологическом помещении» (n — пониженная; sn — немного пониженная; z — номинальная; sp — немного повышенная);

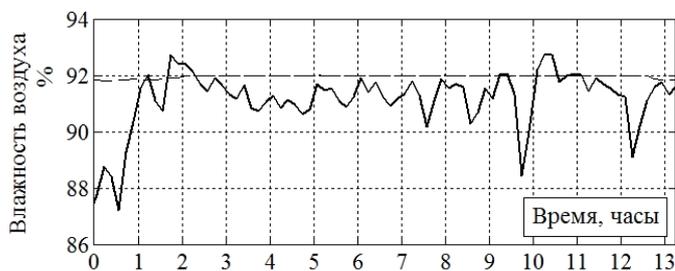


Рис. 4. График изменения влажности воздуха в технологическом помещении — сплошная, определенная правилами системы интеллектуального управления — пунктирная

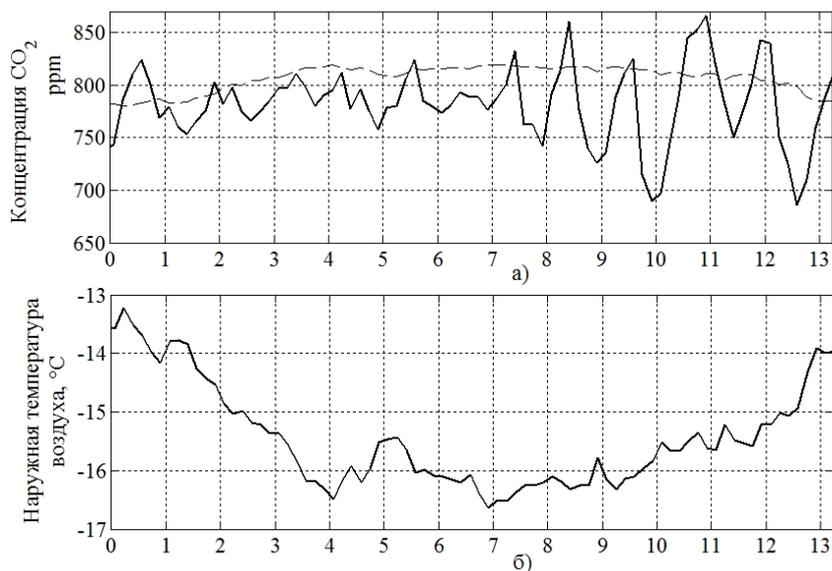


Рис. 5. Графики изменения концентрации CO_2 в технологическом помещении:
а — сплошная линия — текущая концентрация CO_2 ;
пунктирная — определенная правилами системы интеллектуального управления;
б — график наружной температуры воздуха

— «Концентрация CO_2 в технологическом помещении» (*bn* — заниженное; *n* — пониженное; *sn* — немного пониженное; *z* — оптимальное; *sp* — немного повышенное; *p* — повышенное; *bp* — завышенное; *bbp* — значительно завышенное);

Для описания связи между лингвистическими и физическими величинами разработаны функции принадлежности [3] на основе косвенного метода построения с использованием знаний технолога процесса.

Выходами модели нечеткого регулятора являются лингвистические переменные:

— «Упр. *T*» (*cl* — закрывать; *st* — стоп; *op* — открывать);

— «Упр. *M*» (*cl* — закрывать; *st* — стоп; *op* — открывать);

— «Упр. *Q*» (*cl* — закрывать; *st* — стоп; *op* — открывать).

Нечеткий вывод осуществляется с использованием разработанной базы правил нечеткого регулятора, представленной в табл. 1 и макси-минного метода (*min-max*).

После выполнения дефазификации нечетких значений нечеткий регулятор формирует управляющие воздействия по трем каналам: температуры (*T*), влажности (*M*) и концентрации CO_2 (*Q*), определяющие режимы технологического процесса с использованием метода центра тяжести (*CoG*).

В производственных условиях были проведены исследования адаптивной системы интеллектуального

управления параметрами микроклимата технологического процесса. На рис. 3–5 представлены графики изменения параметров микроклимата процесса в течение 8-часовой рабочей смены. Так, можно наблюдать, как при изменении наружной температуры воздуха система непрерывно адаптирует параметры к новым условиям функционирования процесса, обеспечивая его эффективность по заданным базой правил критериям технолога. Эти свойства системы подтвердили и другие результаты исследований.

Таким образом, описанная система интеллектуального управления является адаптивной и позволяет повысить уровень автоматизации управления за счет автоматизации интеллектуальных функций технолога, ведущего процесс в условиях внешних возмущений окружающей среды. Включая в базу правил нечеткого регулятора только тщательно отобранные и проверенные опытом правила, интеллектуальная система реализует уровень управления, соответствующий, по меньшей мере, среднему квалификационному уровню технолога.

Библиографический список

1. Муратов, В. Г. Автоматизированное управление микроклиматом в технологических процессах пищевых производств : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Муратов Виктор Георгиевич. — Одесса, 1984. — 200 с.

2. Благовещенская, М. М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами / М. М. Благовещенская, Л. А. Злобин. — М. : Высш. шк., 2005. — 768 с.

3. Пешко, М. С. Задача фазификации параметров процесса вегетации при построении нечеткого регулятора / М. С. Пешко, А. В. Федотов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2013. — № 2(120). — С. 290–293.

ПЕШКО Михаил Сергеевич, ассистент кафедры автоматизации и робототехники Омского государ-

ственного технического университета.

Адрес для переписки: necheat@mail.ru

ШКАПОВ Павел Михайлович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой теоретической механики Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Адрес для переписки: spm2@bk.ru

Статья поступила в редакцию 13.04.2015 г.

© М. С. Пешко, П. М. Шкапов

УДК 625.768.1

И. А. ТЕТЕРИНА

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия,
г. Омск

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ ДОРОЖНОЙ УБОРОЧНО-ПОДМЕТАЛЬНОЙ МАШИНЫ НА БАЗЕ ТРАКТОРА МТЗ-80

В статье отражены результаты экспериментальных исследований дорожной уборочно-подметальной машины на базе трактора МТЗ-80 в различных режимах работы. Представлены значения и дан сравнительный анализ среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на корпусе ДВС, полу кабины и сиденья оператора дорожной уборочно-подметальной машины при уборке территории от снега с использованием подметального оборудования.

Ключевые слова: вибрация, виброускорение, виброзащита, дорожные уборочно-подметальные машины.

Вибрация, возникающая в ходе работы дорожной уборочно-подметальной машины, негативно воздействует не только на саму машину, ускоряя износ деталей и снижая тем самым сроки эксплуатации, но и на оператора, оказывая вредное воздействие на организм, заключающееся в ухудшении функционального и физиологического состояния человека [1, 2].

Наряду с грузовым автомобилем, самоходным шасси, одним из видов машин, на которых базируется спецоборудование, является трактор. В Российской Федерации и странах ближнего зарубежья в качестве базовой машины часто используется трактор МТЗ-80.

Машины этой модели широко применяют в коммунальном хозяйстве городов как для патрульной скоростной снегоочистки в составе транспортной колонны, так и для одиночной уборки дорог, площадей и тротуаров от мусора и свежеснежавшего снега.

Комплектование базовой машины возможно следующим спецоборудованием:

- плужно-щеточным;
- щеткой с приводом;
- плужным отвалом;
- навесным оборудованием погрузчика;

- роторным;
- водяным резервуаром на прицепном шасси;
- разбрасывающим оборудованием;
- водяной и гидравлической системами.

На рис. 1 представлен объект экспериментальных исследований — дорожная уборочно-подметальная машина на базе трактора МТЗ-80.

Базовая машина оборудована цилиндрической щеткой с приводом и навесным оборудованием погрузчика. В зимний период времени дорожная уборочно-подметальная машина (ДУПМ) снимает отвалом верхний снежный слой, затем с помощью щетки сгребают остатки снежных осадков. В летний период плужным отвалом сгребаются мусор, оставшийся на дорожном покрытии грунт, а также формируются кучи. Универсальность использования позволяет ДУПМ считать ее всепогодной [3].

Цель проведенных испытаний: определить уровень вибрации на рабочем месте оператора в рабочем режиме ДУПМ.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Определить параметры, которые будут взяты для изучения уровня вибрации на рабочем месте человека-оператора ДУПМ.



Рис. 1. Дорожная уборочно-подметальная машина на базе трактора МТЗ-80



а



б



в

Рис. 2. Места установки датчиков: а — ДВС; б — пол; в — сиденье

2. Определить уровень виброускорения на рабочем месте человека-оператора ДУПМ (полу кабины и сиденьи) при разных режимах работы.

3. Определить уровень виброускорения на корпусе ДВС ДУПМ, т.е. в источнике, при разных режимах работы.

Исследования проводились на базе БПОУ «Омский АТК» в светлое время суток, на поверхности с твердым покрытием со свежесвалившимся снегом, толщиной осадков не более 50 мм. Температура окружающего воздуха находилась в пределах 15–18 °С.

При проведении экспериментальных исследований использовался комплект портативной многофункциональной аппаратуры «Экофизика-110А» (HF) с датчиками VIBRATION TRANSDUCER AP 98-100-01 для измерения параметров вибрации [4]. Для измерения числа вращений рабочего органа (щеткой) использовался цифровой тахометр DIGITAL TACHOMETER DT-2234A.

В качестве регистрируемых параметров определены значения среднеквадратического скорректированного виброускорения в октавных полосах частот [5].

На рис. 2 показаны места установки датчиков для измерения уровня виброускорения на рабочем кресле оператора, полу кабины и корпусе ДВС, как одного из параметров, с помощью которого возможно определить уровень вибрации.

Варьируемыми параметрами при проведении эксперимента были выбраны:

— режимы работы машины (рабочий режим, режим холостого хода с включенным и выключенным рабочим органом);

— число вращений рабочего органа (на малых, средних и высоких оборотах ДВС);

— обороты ДВС (малые, средние, высокие).

Эксперимент проводился в несколько этапов:

— на первом этапе проводилось измерение значения среднеквадратического скорректированного виброускорения в октавных полосах частот (м/с²) в местах установки датчиков, в режиме холостого хода без включения рабочего органа (щеткой);

— на втором этапе проводилось измерение значения среднеквадратического скорректированного виброускорения в октавных полосах частот (м/с²) в местах установки датчиков, в режиме холостого хода с включенным рабочим органом (щеткой), а также с помощью цифрового тахометра, измерение числа вращений рабочего органа (щеткой) при малых, средних и высоких оборотах работы двигателя;

— на третьем этапе проводилось измерение значения среднеквадратического скорректированного виброускорения в октавных полосах частот (м/с²) в местах установки датчиков, в рабочем режиме ДУПМ, на скорости 10 км/ч [6].

Анализ результатов эксперимента показал, что самым вибронегруженным является рабочий режим, так как в этом режиме были зафиксированы наиболее высокие среднеквадратические значения скорректированного виброускорения.

В качестве примера на рис. 3 отражены результаты одного из серии замеров уровня виброускорения на рабочем месте оператора (полу кабины и сиденьи) и в источнике (на корпусе ДВС).

Кроме этого, анализ данных, полученных при измерении среднеквадратических значений коррек-

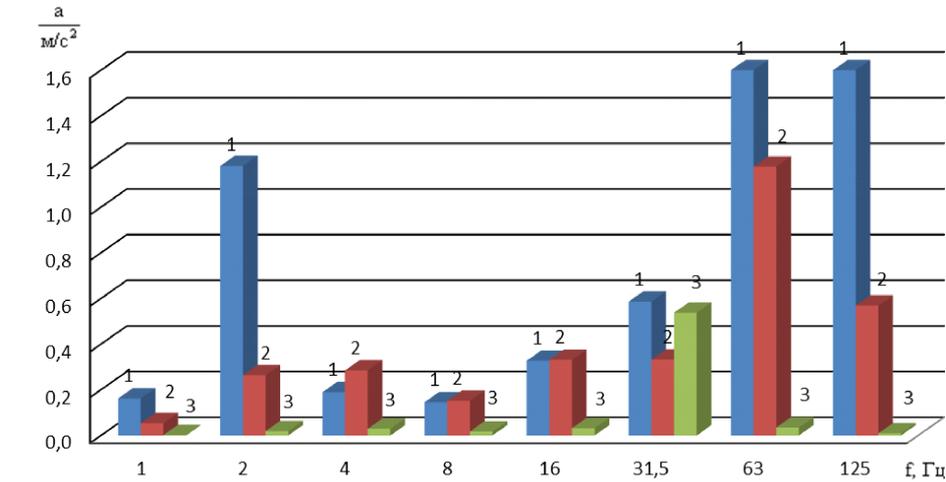


Рис. 3. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в октавных полосах частот при 1680 оборотах работы двигателя на скорости 10 км/ч: 1 — на корпусе ДВС; 2 — на полу кабины; 3 — на сиденьи оператора

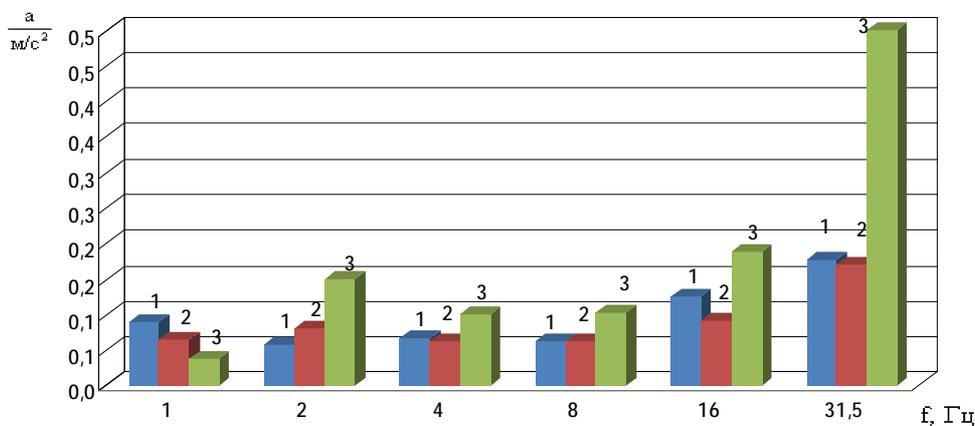


Рис. 4. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в октавных полосах частот на корпусе ДВС при 1680 оборотах вращения коленчатого вала в режимах: 1 — холостой ход без включения рабочего органа; 2 — холостой ход с включенным рабочим органом; 3 — рабочий режим при скорости 10 км/ч

тированного виброускорения в рабочем режиме, позволил сделать следующие выводы: уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на рабочем месте оператора (полу кабины) в диапазоне частот от 4 до 16 Гц превышает уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на корпусе ДВС, т.е. в источнике; уровень среднеквадратического значения скорректированного виброускорения на рабочем месте оператора (сиденьи) на частоте 31,5 Гц практически равен уровню среднеквадратического значения скорректированного виброускорения на корпусе ДВС, т.е. в источнике и возрастает в 17 раз по отношению к уровню среднеквадратического значения скорректированного виброускорения на рабочем месте оператора (сиденьи) на частоте 16 Гц; уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на рабочем месте оператора (полу кабины) и корпусе ДВС резко возрастает в диапазоне частот от 31,5 до 125 Гц.

Сравнительный анализ среднеквадратических значений скорректированного виброускорения в октавных полосах частот на корпусе ДВС при 1600 об./мин вращения коленчатого вала в различных режимах работы ДУПМ позволил оценить вклад каждого из источников в общий уровень вибрации (рис. 4).

В результате сравнительного анализа были сделаны следующие выводы. На частоте 2 Гц :

— уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от рабочего органа (щетки) составил $0,0235 \text{ м/с}^2$, следовательно, вклад этого источника вибрации составил 29 %;

— уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от микрорельефа составил $0,0686 \text{ м/с}^2$, что равно 46 %;

— уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от взаимодействия рабочего органа и микрорельефа составил $0,0921 \text{ м/с}^2$ (61 %).

На частоте 4 Гц уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от взаимодействия рабочего органа и микрорельефа равен $0,033 \text{ м/с}^2$, что составляет 33 % от общего уровня виброускорения. На частоте 8 Гц уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от взаимодействия рабочего органа и микрорельефа равен $0,0399 \text{ м/с}^2$, что составляет 39 % от общего уровня виброускорения. На частоте 16 Гц уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения от взаимодействия рабочего органа и микрорельефа составил $0,0627 \text{ м/с}^2$ (33 %). На частоте 31,5 Гц уровень среднеквадратических значений скорректированного виброуско-

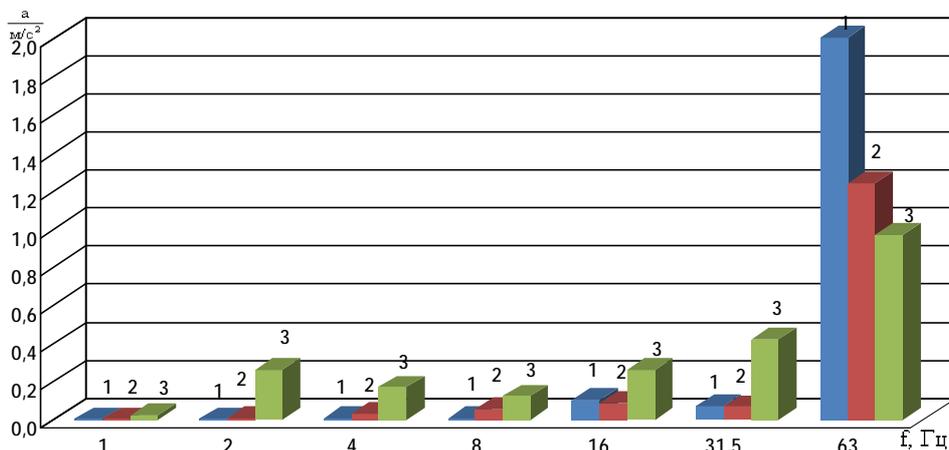


Рис. 5. Уровень среднеквадратических значений скорректированного виброускорения в октавных полосах частот на рабочем месте (полу кабины) оператора в режимах: 1 — холостой ход без включения рабочего органа; 2 — холостой ход с включенным рабочим органом; 3 — рабочий режим при скорости 10 км/ч

рения от взаимодействия рабочего органа и микрорельефа составил $0,4946 \text{ м/с}^2$ (74 %).

Сравнительный анализ уровня среднеквадратических значений скорректированного виброускорения в октавных полосах частот на рабочем месте оператора (полу кабины) при 1600 об./мин вращения колчатого вала в различных режимах работы ДУПМ позволил оценить уровень эффективности работы системы виброзащиты оператора (рис. 5).

Сравнительный анализ полученных в результате данных позволил сделать ряд выводов. В рабочем режиме отмечены самые высокие уровни среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на рабочем месте (полу кабины) оператора.

В рабочем режиме уровни среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на полу кабины резко возрастают при частоте 2 Гц. В диапазоне частот от 2 до 8 Гц наблюдается снижение уровня среднеквадратических значений скорректированного виброускорения, на полу кабины. На частоте 8 Гц наблюдается дальнейшее возрастание уровня среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на полу кабины.

В режимах холостого хода с включенным и выключенным рабочим органом наиболее высокие уровни среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на полу кабины отмечены на частоте 16 Гц. Превышение уровня среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на полу кабины в рабочем режиме над уровнем среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на полу кабины в режиме холостого хода с включенным рабочим органом на всем диапазоне частот, в среднем составляет 65,1 %.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод неэффективности существующей системы

виброзащиты для всех режимов работы ДУПМ и необходимости разработки виброзащитной системы, которая обеспечивала бы максимально низкий уровень вибрации на рабочем месте оператора ДУПМ в диапазоне частот 4–31,5 Гц.

Библиографический список

1. Челомей, В. Н. Вибрации в технике : защита от вибрации и ударов : справочник / В. Н. Челомей. — М. : Машиностроение, 1981. — В 6 т. Т. 6. — 456 с.
2. Щербаков, В. С. Снижение динамических воздействий на одноковшовый экскаватор : моногр. / В. С. Щербаков, П. А. Корчагин. — Омск : СибАДИ, 2000. — 147 с.
3. Дорожные машины : в 2-х ч. Ч. II : Машины для устройства дорожных покрытий : учеб. для вузов по специальности «Строительные и дорожные машины и оборудование» / К. А. Артемьев [и др.]. — М. : Машиностроение, 1982. — 396 с.
4. Шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика-110А». Руководство по эксплуатации ПКДУ. 411000.001.02РЭ / Приборостроительное объединение Октава-ЭлектронДизайн. — М., 2011. — 92 с.
5. ГОСТ 31191.1–2004. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Общие требования. — Введ. 2008–07–01 — М. : Стандартинформ, 2008. — 43 с.
6. Корчагин, П. А. Результаты экспериментальных исследований вибрационного воздействия на оператора дорожной уборочно-подметальной машины / П. А. Корчагин, И. А. Тетерина // Вестник СибАДИ. — 2015. — № 2 — С. 52–57.

ТЕТЕРИНА Ирина Алексеевна, аспирантка кафедры механики.

Адрес для переписки: Teterina_ia@sibadi.org

Статья поступила в редакцию 23.04.2015 г.

© И. А. Тетерина