

вода главного движения станка. Дальнейшее повышение скорости резания от 170 до 200 м/мин увеличивает $\cos\phi$ от 0,91 до 0,94 и сопровождается перегрузкой электродвигателя привода главного движения станка. Таким образом, экспериментально установлено, что практическая величина $\cos\phi$ 0,91 соответствует оптимальной скорости резания. Она равна 151 м/мин, а мощность привода главного движения используется наиболее оптимально, что подтверждается известными стойкостными испытаниями и результатами исследований, где оптимальная скорость резания находится в пределах 125-137 м/мин.

Отсюда следует, что оптимальная скорость резания установленная предлагаемым способом, несколько превышает скорость резания, определенную известными методами, и показывает об имеющемся резерве оборудования и его более эффективного использования.

Выводы

- результаты проведенных экспериментов и их анализ подтверждает возможности использования энергетических показателей электродвигателя привода главного движения при определении оптимальной скорости резания;
- экспериментально подтверждена взаимосвязь рабочих характеристик электродвигателя привода главного движения и оптимальной скорости резания;
- предложенный способ можно рекомендовать для практического использования при проектировании и внедрении энергосберегающих технологий.

УДК 621.87:658.512.011.56

Лесковец И.В.

СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

Введение. В настоящее время проведение расчетов любой сложной динамической системы невозможно без использования ЭВМ. Программное обеспечение различных производителей предоставляет конструкторам целый ряд возможностей для проведения статических и динамических расчетов с целью получения оптимальных характеристик машин на стадии проектирования. Наиболее широкое распространение в этой области нашли программные продукты, основанные на использовании метода конечных элементов (МКЭ). За последние 10 лет этот метод успешно совершенствовался и нашел широчайшее применение в ряде областей науки и техники. Однако наряду с широкими возможностями МКЭ имеет ряд недостатков, из-за которых его использование при решении задач, где присутствует большое количество подвижных элементов невозможно, либо требует затрат такого количества ресурсов и времени, что его применение крайне не эффективно. К таким задачам относятся задачи проектирования гусеничных машин, систем управления с большим количеством подвижных элементов и другие. В ряде случаев конструкторы и ученые успешно применяют системы реализации математических моделей, основанные на современных математических методах моделирования. Такие системы также имеют ряд недостатков, к которым можно отнести необходимость разработки уникальных математических моделей в каждом конкретном случае, высокую квалификацию работников, невозможность визуализации поведения проектируемой системы, большое время, требуемое для расчета из-за работы таких систем в режиме "интерпретатора".

На наш взгляд, в области проектирования и расчета характеристик гусеничных машин с целью оптимизации основ-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – М., 1975. – 440 с.
2. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. – М., 1979.
3. Макаров А.Д. Анализ характеристик обрабатываемости и параметров оптимизации процесса резания. Тез. докл. Всесоюз. научн. техн. конф. Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования и автоматизации технологических процессов в машиностроении. – М., 1980. – С. 146-149.
4. Адаменко В.М. Теоретические предпосылки оптимизации процесса резания по энергопотребляющим показателям технологического оборудования. Машиностроение. Сб. научн. трудов. Выпуск 17. Под ред. И.П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 398 с.
5. Жолобов А.А. Технология автоматизированного производства. Учебник для ВУЗов. – Мн.: Дизайн, 2000. – 624 с.
6. Токочакова Н.В., Мороз Д.Р. Расчетно-статические модели режимов потребления электроэнергии как основа нормирования и оценки энергетической эффективности. Журнал. Энергоэффективность. – 2006. - № 1,2. С. 14-15, С.23-24.

Статья поступила в редакцию 19.02.2007

ных параметров необходима разработка имитационной модели гусеничной машины в виде программного обеспечения, составленного на основе математической модели [1], которая отражает основные свойства и позволяет получить основные характеристики движителя, необходимые для дальнейшей оптимизации его основных параметров. Для разработки программного обеспечения наиболее предпочтительным, на наш взгляд, является метод функциональных элементов (МФЭ), с дальнейшим применением структуры классов, доступной, практически в любом из известных языков программирования высокого уровня.

Структура гусеничной машины. Использование МФЭ предполагает разработку параметров, либо характеристик, обеспечивающих обмен данными между элементами. Учитывая, что каждый элемент связан как минимум с одним соседним элементом, необходимо предусмотреть, что потоки данных двигаются как в прямом, так и в обратном направлении. Количество потоков, с одной стороны, должно быть минимальным, для обеспечения минимального времени расчета, а с другой стороны, наиболее полным для обеспечения качества получаемых результатов. Функциональные элементы машины могут иметь "жесткие" либо "переменные" связи, в соответствии с этим в некоторых случаях необходима разработка специальных алгоритмов, методов классификации и кодировки взаимного расположения элементов.

Анализируя структуру гусеничной машины, вполне естественно предположить, что каждый из его элементов является отдельным классом, который в свою очередь входит в другой элемент. Применение такой технологии позволит пользователю

Лесковец Игорь Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой "Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование" Государственного учреждения высшего профессионального образования "Белорусско-Российский университет". Беларусь, "Белорусско-Российский университет", 212005, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

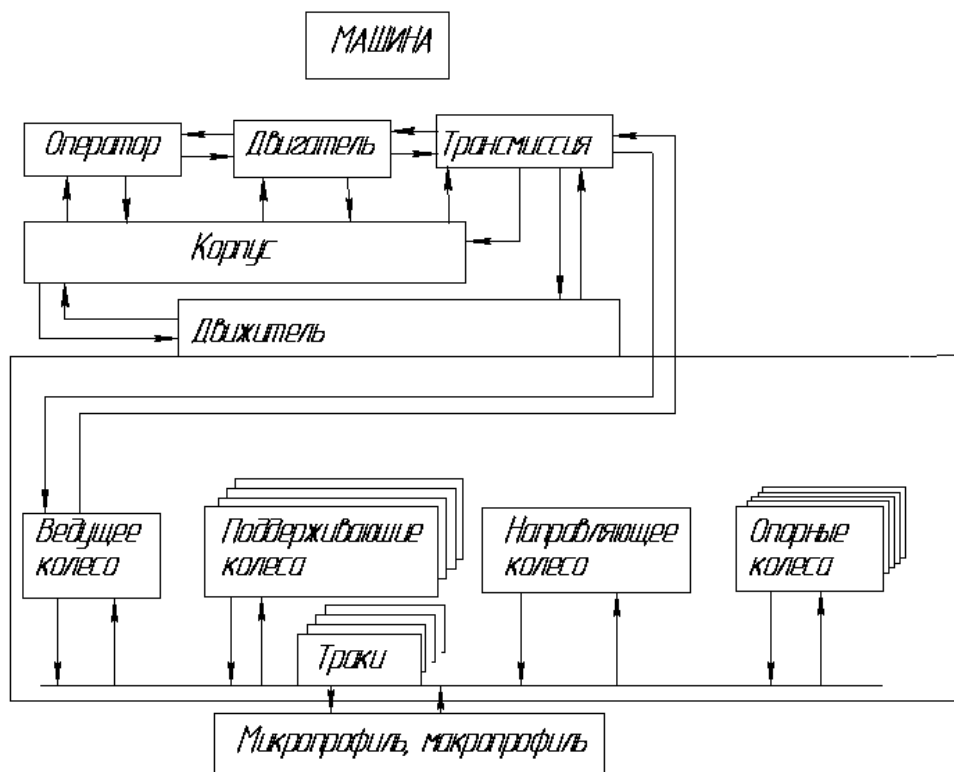


Рис. 1. Структура гусеничной машины

создать библиотеку отдельных элементов, представляющую собой записи в файлах, созданные на основании структуры классов. В дальнейшем, при проведении расчетов, возможно быстрое изменение элементов, входящих в исследуемый элемент, с целью проведения оптимизации параметров машины в целом, отдельных ее составляющих, определения взаимного влияния изменяемых параметров элемента на соседние элементы и на характеристики машины в целом. В общем, предлагаемая структура машины изображена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, гусеничная машина представляет собой сложную динамическую систему с прямыми и обратными связями, которую в общем случае можно определить как ВНЕШНЯЯ СРЕДА – ДВИЖИТЕЛЬ – КОРПУС – ТРАНСМИССИЯ – ДВИГАТЕЛЬ – ОПЕРАТОР. Каждый из названных элементов является функциональным элементом в терминологии динамического и математического моделирования и классом в терминологии языков программирования. Некоторые из элементов являются сложными, т.е. состоят из других, более мелких элементов, которые в свою очередь также являются функциональными элементами либо классами. Для двигателя это – топливный насос высокого давления для дизельных двигателей либо система подачи топлива для бензиновых двигателей; турбокомпрессор либо впускной коллектор и непосредственно двигатель. Для трансмиссии это – гидротрансформатор либо гидромуфта, либо сцепление; коробка передач, главная передача. Корпус предлагается моделировать, как абсолютно жесткую недеформируемую конструкцию. Движитель состоит из ведущего колеса, направляющего колеса, подвесок опорных колес, подвесок поддерживающих колес, траков. Подвески поддерживающих и опорных колес состоят из механизмов подвески и непосредственно колес. Внешнюю среду представляет микропрофиль и макропрофиль дороги. Наиболее сложной структурой является гусеничный движитель, который оказывает комплексное воздействие на корпус машины и на трансмиссию. Сам по себе движитель невозможно определить как "жесткую" систему, т.к. траки в различные моменты времени контактируют с разными подвесками и находятся на разных ветвях движителя.

Структура имитационной модели машины. Создание модели поведения оператора – задача практически невозможная, т.к. его поведение зависит от множества факторов, например состояния микропрофиля и макропрофиля дороги, вида производимых работ, операций с рабочим оборудованием, состояния самого оператора, его квалификации и других субъективных факторов. В связи с этим предположим, что имитационная модель должна позволять пользователю самому моделировать поведение оператора. Структурная модель двигателя может состоять из нескольких элементов, в зависимости от типа двигателя. В любом случае выходными параметрами является крутящий момент на коленчатом валу и угловая скорость коленчатого вала двигателя. В случае, когда применяется дизельный двигатель с турбонаддувом, предлагается определять зависимость момента двигателя как функцию цикловой подачи топлива и давления наддува турбокомпрессора: $M_d = f(p_K, q_C)$, где p_K - давление наддува турбокомпрессора, q_C - цикловая подача топлива. Цикловая подача в этом случае описывается, как: $q_C = f(\omega_d, \gamma_H)$, где ω_d - угловая скорость коленчатого вала, γ_H - положение педали акселератора. Давление наддува турбокомпрессора представляет собой функцию цикловой подачи и угловой скорости коленчатого вала: $p_K = f(\omega_d, q_C)$. В данном случае задающим воздействием является положение педали акселератора и момент сопротивления на коленчатом валу двигателя. Разумеется, подобный подход не позволяет исследовать множество процессов, происходящих в двигателе во время работы, например процесс наполнения камеры сгорания свежим зарядом, процесс воспламенения, процесс теплопередачи от стенок камеры сгорания во внешнюю среду и многие другие процессы. Все эти процессы являются темами отдельных работ и их рассмотрение в модели машины на данном этапе не представляется целесообразным и в связи с высокой сложностью и не разрешимы в общей модели машины. Поэтому в данной модели предлагается использование

регрессионных моделей, которые, как показывает практика, дают хорошие результаты при проведении исследований.

Следующим структурным элементом является трансмиссия. В элементы трансмиссии могут входить гидротрансформатор, сцепление, коробка передач, главная передача. В случае применения плоской модели рассмотрение дифференциала не представляется возможным. Для механической трансмиссии с гидротрансформатором (ГДТ), в модели ГДТ моменты на насосном и турбинном колесах ГДТ определяются по известным выражениям:

$$M_H = D_a^5 \cdot \rho \cdot \lambda_H \cdot \Phi_H^2,$$

$$M_T = K \cdot M_H,$$

где D_a - активный диаметр гидротрансформатора;

ρ - плотность жидкости;

λ_H - коэффициент момента насосного колеса ГДТ;

K - коэффициент трансформации.

Коэффициент момента насосного колеса и коэффициент трансформации определяются с помощью регрессионных зависимостей, полученных на основе опытных данных после испытаний ГДТ. Входным воздействием в данном случае является крутящий момент на входном валу ГДТ, а выходным – крутящий момент на выходном валу. Для коробки передач и главной передачи входными воздействиями являются крутящий момент на первичном валу коробки передач, момент сопротивления на валу ведущего колеса, номер включенной передачи. Определение выходного крутящего момента производится с использованием передаточного числа трансмиссии. Нагрузки, возникающие в трансмиссии, передаются на корпус машины, однако, считая корпус недеформируемым, определим эти нагрузки как внутренние, не оказывающие воздействия на выходные параметры машины, и в данной модели не учитываем.

Наиболее сложной системой в данной модели является движитель. Создать однозначную модель его невозможно, т.к. в каждый момент времени на каждый элемент движителя воздействуют разные элементы, это относится к тракам и колесам. Возможна разработка однозначной модели по отношению к подвескам и корпусу машины. Линейные и угловые перемещения корпуса машины являются функцией перемещения опорных колес машины. В данном случае входным воздействием на опорное колесо является перемещение трака, находящегося под этим колесом и перемещение корпуса машины. Трак является наиболее простым элементом, с точки зрения представления, однако это самый сложный элемент, с точки зрения описания входных воздействий. В качестве постоянных входных воздействий можно определить воздействия от перемещения соседних траков по осям абсцисс, ординат и их поворот в плоскости ХОУ, при рассмотрении плоской модели машины. В качестве переменных воздействий, т.е. изменяющихся во времени, примем перемещения опорных колес, поддерживающих колес, ведущего и направляющего колес, изменение микро- и макропрофиля дороги. Кроме того, для траков, находящихся на ведущем колесе, необходимо задание дополнительных ограничений, т.к. оно создает дополнительные усилия, обеспечивающие возникновение силы тяги.

Внешняя среда в данном случае может быть представлена в виде моделей макропрофилей дороги, которые предполагается использовать в данной системе, и в настоящее время достаточно широко используются в различных исследованиях, фактически это корреляционные функции, позволяющие определить ординаты макропрофиля в заданной точке в зависимости от представляемого типа дороги. Модели макропрофилей менее изучены в связи с тем, что в их формировании принимают участие сами машины, их скорости движения, нагрузки на опорные колеса, собственные частоты колебаний. Наиболее перспективным нам представляется задание модели

макропрофиля в виде полинома либо в виде синусоидальной зависимости с представлением пользователю возможности самостоятельно сформировать требуемую модель.

Для определения характеристик машины на основании приведенной структуры машины необходимо разработать математические модели, представляющие собой систему уравнений. В связи с высокой сложностью данная система уравнений имеет переменную структуру, ее решение возможно только с применением ЭВМ. Общая модель машины включает в себя ряд моделей, описывающих поведение различных систем машины [1, 2]. С целью проведения расчетов характеристик машины с разными параметрами моделируемых систем, на наш взгляд, необходима разработка специализированного программного обеспечения, позволяющего пользователю оперативно изменять различные параметры исследуемых подсистем. Данное программное обеспечение должно предусматривать создание справочников характеристик различных агрегатов и систем машины, с возможностью внесения изменений и дополнений. Таким образом, и программное обеспечение должно достаточно сложную структуру, предусматривающую моделирование элементов машины, включающих в себя собственные элементы. Такую структуру наиболее целесообразно реализовывать на основании использования классов, которые сами по себе представляют гибкую динамическую структуру, предполагающую использование наследования, инкапсуляции и полиморфизма. Использование языков программирования высокого уровня позволяет также реализовать имитацию движения машины на экране компьютера, что позволит более оперативно выявлять преимущества и недостатки исследуемого варианта машины.

Заключение

После создания программного продукта, обеспечивающего реализацию поставленной задачи, возможно его использование в системе автоматизированного проектирования гусеничных машин. После подтверждения адекватности решений, полученных с использованием пакета программ, возможно проведение оптимизации основных параметров гусеничной машины с использованием теории планирования эксперимента.

Объединение полученной модели с моделями двигателя, гидротрансформатора (сцепления), трансмиссии, макропрофиля и макропрофиля опорной поверхности, рабочего оборудования делает возможным проведение выбора основных параметров машины с использованием критериев скоростей, ускорений, плавности хода и т.д.

Изложенная выше методика является универсальной и пригодной для проведения конструкторских и оптимизационных работ для машин различного назначения, что необходимо предусматривать в связи с тем, что современные требования к гусеничным машинам предполагают достаточно узкую специализацию: промышленные тракторы, строительные и дорожные машины, сельскохозяйственные машины, машины для лесного хозяйства и специальная техника. В связи с этим, к элементам этих машин предъявляются разные требования. Для промышленных тракторов – это тяговое усилие и несущая способность, для сельскохозяйственных машин – минимальное удельное давление на грунт, для машин лесного хозяйства – щадящее воздействие на почву, для машин специального назначения – требования к показателям быстроходности.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лесковец, И.В. Математическая модель гусеничного движителя СДМ /И.В. Лесковец // Вестник Могилевского государственного технического университета № 2.- Могилев, 2003. – С. 83-87.
2. Кузнецов Е.В. Обоснование и выбор параметров двигателя и трансмиссии пахотного гусеничного трактора тягового класса 30 кН: автореф. дисс. ...канд. техн. наук. – Могилев, 1994. – 25с.

Статья поступила в редакцию 11.10.2007