



УДК 630*377.044:629.017

Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Анисимов Георгий Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН. Имеет около 150 работ по повышению технического уровня, теории и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.

Тел.: 8-921-924-60-62



Кочнев Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, член-корреспондент РАЕН, академик МАН ВШ, почетный машиностроитель. Имеет более 110 печатных работ в области исследования технического уровня и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.

E-mail: kama_npk@mail.ru



О СРЕДСТВАХ НАУЧНОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ЛЕСНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Сформулированы основные направления повышения средств научного проникновения в исследовании лесных машин и оборудования, включающие современные методы моделирования сложных динамических систем, обоснование достоверности результатов, адекватности математической модели объекту исследования, теорию эксперимента.

Ключевые слова: исследования, системный подход, средства научного проникновения.

Новым методологическим направлением современного научного познания является системный подход к научным исследованиям, базирующимся на средствах научного проникновения (теория, математический аппарат, технические средства измерения и наблюдения, логические системы анализа и управления и т. д.) и методах исследования. Применительно к лесосечным машинам особенности системного подхода и средств научного проникновения приведены в работах [2–4]. Существующие средства необходимо совершенствовать, наполняя новыми элементами и положениями, значимыми для конкретных разделов науки.

Опубликованные статьи нередко имеют сумбурную структуру, содержание не отвечает требованиям, предъявляемым к НИР, исследования выполнены на низком научном уровне. Допускаются вольности и даже безграмотность в терминах и определениях. Часто в названиях работ и формулировке их цели используются термины «эффективность», «качество», «нагруженность», «прочность» и т. д.

Анализ исследований в различных отраслях науки показал, что для оценки технического уровня машин и оборудования, эффективности их работы, кроме термина «экономическая эффективность», применяются «эксплуатационная», «энергетическая», «экологическая», «техническая» и др. [1, 4, 13, 18]. Каждый вид эффективности имеет свои показатели оценки, которые исследователь должен обосновать.

Качество – совокупность свойств и их оценка на соответствие какому-либо требованию, а свойство – конкретное проявление объекта в условиях взаимодействия с другим объектом, внешними факторами.

Исследователю необходимо учитывать, что в машиностроении создано и развивается современное научное направление «Качество исследований и разработок в машиностроении», включающих научно-исследовательские, проектно-конструкторские и технологические разработки. Сформулирована система нескольких десятков показателей качества исследований, даны их четкие определения и значения [20].

В классическом учебнике Н.М. Беляева приведены основные понятия нагруженности и прочности: если действительная величина систематически колеблющегося напряжения превышает предел усталости или предел выносливости, то в материале образуется трещина усталости [8, с. 729]. Предел выносливости при несимметричном цикле нагружения определяется с учетом характеристики цикла – коэффициента асимметрии. Для получения расчетных данных об усталостной прочности, составления стендовых программ испытаний необходимо знать число всех «перегрузочных» циклов и их асимметрию.

Акад. АН УССР С.В. Серенсен и его ученики [19, 21] разработали методологию получения информации о нагруженности конструкции и систему обработки экспериментальных данных, в основу которой положен корреляционный счет. Иного понятия о нагруженности элементов конструкции не существует.

В последние годы наблюдается девальвация экспериментальных исследований, которым известные российские ученые придавали огромное значение. Лауреат Нобелевской премии акад. П.Л. Капица считает [12, с. 195], что доброкачественный эксперимент является необходимым условием как для построения передовой теории, так и для получения практических результатов. В подтверждение своего мнения он приводит высказывания гениального английского физика Кельвина (Томсон Ульям), который сравнивал теорию с жерновами, а опытные данные с зерном, засыпаемым в эти жернова, гнилое зерно не может дать питательную муку. Эксперимент является необходимым условием для построения передовой теории. Один хороший эксперимент стоит больше изобретательного ньютоновского ума [12, с. 26]. При этом повышается значимость технических средств измерения и наблюдения. Основатель первой в России Палаты мер и весов Д.М. Менделеев говорил: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять». Научные исследования в основном базируются на моделировании, ГОСТ 16504–81 [9] относит математическую модель к объекту исследования.

Реальные машины, механизмы, агрегаты представляют собой сложные динамические системы. Проводить их анализ непросто и часто нецелесообразно. В смежных отраслях науки для исследования динамических систем составляются приведенные упрощенные расчетные схемы, эквивалентные реальным системам. Это довольно трудоемкий процесс, характеризующий искусство и квалификацию исследователя. Кроме того, все реальные объекты имеют нелинейные связи и элементы. Важно доказать линейность системы или провести ее линеаризацию, только тогда можно применить принцип суперпозиции [6]. Например, лесную машину, с динамической точки зрения, можно представить как систему, состоящую из нескольких десятков дискретных масс, связанных гибкими безынерционными связями, а система с распределенными массами имеет бесконечное число степеней свободы. Степень упрощения расчетной схемы определяется динамическими свойствами объекта, режимами работы и задачей исследования. Обычно многомассовую схему объекта упрощают до 2–6-массовой; при этом важно, чтобы не исказились изучаемые собственные частоты и формы колебания. Разработаны рекомендации по содержанию операций, выполняемых при построении математической модели объекта [6].

Математическая модель должна базироваться на разработках предшественников, законах механики, ГОСТах и содержать научную новизну, которая должна быть четко и кратко сформулирована в каждой НИР. С нашей точки зрения, в одном – двух предложениях необходимо отразить объект моделирования, новизну и отличие математической модели от опубликованных теоретических исследований предшественников, ее «управляемость», конечную цель моделирования [7].

Динамические процессы, возникающие в механизмах, системах и узлах лесных машин, зависят не только от параметров и технических решений, применяемых в самой машине, но и от внешних возмущающих или возбуждающих воздействий. Для мобильных лесных машин силовое возбуждение определяется неровностями и жесткостью опорной поверхности (волок, дорога, лесосека), скоростью движения, свойствами предмета труда и т. д. Эти факторы влияют на динамическую нагруженность деталей, тяговую динамику, плавность хода машины, уплотнение лесного почвогрунта движителем. В современном представлении мобильные системы различного назначения находятся под воздействием случайных возмущений.

С 1960-х гг. при исследовании динамических систем расширяется применение статистической динамики – одной из областей теории вероятностей, что позволяет выполнить расчеты при случайном характере возмущающих воздействий. Большая система опорная поверхность – машина – ходовая система – механизмы машины – водитель распадается на две подсистемы: опорная поверхность и механизмы машины с оператором. Экспериментальные исследования и математическое моделирование неровностей или микронеровностей опорной поверхности и динамические процессы, возникающие в механизмах и системах мобильных машин под воздействием случайных возбуждений, достигли высокого уровня научного проникновения [4, 5, 22].

Микронеровности опорной поверхности рассматривают как случайный процесс или случайную функцию, в последнем случае аргументом является длина трассы.

Вторая подсистема состоит из объектов, включая механизмы, агрегаты, системы машин и оператора. Искусство исследователя заключается в квалифицированном упрощении и приведении реальной динамической системы (подсистемы) к эквивалентной расчетной схеме. Общих принципов такого преобразования не существует. Доказано, что оно должно базироваться на «трех китах» [2, 4] (поставленная задача, режимы работы, особенности конструкции) и сопровождаться анализом собственных частот и формы колебаний. При упрощении важно исключить искажение значений собственных частот системы, влияющих на решение задач исследований [2, 4]. Лесосечную машину, например трелевочный трактор, можно представить как большую систему [4], которая в зависимости от цели исследования «расчленяется» на отдельные динамические системы. Выделение отдельных звеньев машины необходимо обосновать.

Доказана возможность исследования динамических процессов, например в трансмиссии трактора, без учета колебательных процессов в двигателе и ходовой части, если их первые собственные частоты отличаются на порядок. При этом должны учитываться «реактивные контуры», что значительно повышает точность [4].

Одна из сложных задач плавности хода мобильных машин – воздействие колебательных процессов на оператора. В фундаментальной монографии под редакцией проф. А.А. Хачатурова обобщены результаты многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых по определению биодинамических моделей тела человека и его отдельных органов. Наиболее полной моделью человека является система грудь – таз, состоящая из двух масс: таза, в том числе части нижних конечностей, и груди с учетом головы, плеч и части верхних конечностей. Применяется трехмассовая биодинамическая модель системы таз – грудь – голова. Определены передаточные функции биодинамической модели человека с различным числом масс, используемые в качестве оператора преобразования [11, с. 137].

Для решения некоторых задач при моделировании качения шины низкого давления по деформированному почвогрунту лесосеки, тем более скольжение кроны дерева по опорной поверхности с микронеровностями, следует рассматривать как неголономную механическую систему, в которой кроме геометрических налагаются еще кинематические связи, не сводящиеся к геометрическим и называемые неголономными. Движение неголономных систем изучается с помощью уравнений Чаплыгина или уравнений, получаемых на основании вариационных принципов механики. Впервые взаимодействие трелевочной системы с почвогрунтом лесосеки рассмотрено как неголономная система в работе [17], это весьма перспективный метод моделирования процессов, протекающих в лесосечных машинах и системах.

Еще в 1980-х гг. М.В. Кондаков опубликовал ряд программных статей, в которых изложены современные методы моделирования и расчета

динамической нагруженности конструкций манипуляторов для лесозаготовительной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности [14–16]. По утверждению М.В. Кондакова, в практике расчета упругих конструкций используются три основных типа расчетных схем: дискретные, дискретно-континуальные и континуальные. Они перечислены в порядке возрастания полноты описания конструкции, но вместе с тем и сложности математического моделирования. Дискретная схема представляет конструкцию в виде сосредоточенных масс, связанных упругими безынерционными связями. Такие схемы являются предельно простыми и представляют самый первый шаг при изучении динамики системы. Математические модели динамики 3–4-массовых схем динамических систем и их исследования приведены в справочниках по динамике машин и в настоящее время относятся к студенческому уровню. Дискретные схемы, наряду с простой математической моделью, обладают тем существенным недостатком, что, например, параметры манипулятора нельзя достоверно определить априори на этапе проектирования, без проведения эксперимента, выполненного в производственных условиях с применением современных измерительных средств. Точность расчетной схемы значительно возрастает с увеличением числа ее элементов, что в конечном итоге приводит к дискретно-континуальным схемам, из которых наиболее распространены схемы методов исследования конечных, супер- и граничных элементов. Наиболее полно динамическое нагружение манипулятора и любой несущей конструкции лесной машины, с учетом деформации элементов конструкции, описывается континуальной расчетной схемой, так как манипулятор представляет собой систему с распределенными параметрами. Конструкция манипулятора и древесина схематизируются М.В. Кондаковым блочной моделью с переменными по длине массово-жесткостными характеристиками и сосредоточенными включениями. В основу расчетной схемы манипулятора положена балочная модель с переменными по длине массово-жесткостными характеристиками и дискретными инерционными и жесткостными элементами, каталог которых приводится в работе [14]. Для балочных элементов учитываются упругие продольные и изгибные деформации, а на основе гипотез С.П. Тимошенко также деформации сдвига и инерции поворота поперечных сечений. Математическое моделирование динамического поведения упругого манипулятора базируется на уравнениях математической физики.

Рассмотренные методы следует принимать за основу при изучении динамической нагруженности не только манипуляторов, но и конструкции различных несущих систем лесосечных и лесохозяйственных машин. Теоретическое исследование с применением математического моделирования требует экспериментального подтверждения адекватности математической модели объекту по принятым критериям с доказательством обоснованности и достоверности исследования.

Доказательство последних двух положений базируется на теории эксперимента, включающей [7]:

методику, программу и план экспериментальных исследований с определением числа опытов и длительности эксперимента для получения информации с заданной точностью (относительной погрешности) и доверительной вероятности;

планирование многофакторного эксперимента;

обоснование параметров реализации;

обоснование масштаба записи процессов с учетом свойств регистратора.

Достоверность экспериментальных исследований обуславливается используемой измерительной системой. Датчики-преобразователи, регистраторы и другие приборы должны выбираться с учетом частотных свойств измеряемых и регистрируемых процессов.

В зависимости от задач экспериментального исследования и характера изучаемого процесса выбирается его схематизация (способ первичной обработки). Применяется более десяти схематизаций процессов [7].

Точность измерения, регистрации и первичной обработки процессов по существу определяет достоверность применяемых по результатам исследований решений [7]. В результате математической обработки данных экспериментальных исследований решается ряд задач: проверка принадлежности выборок (реализаций) генеральной совокупности; вычисление статистик с обязательной оценкой достоверности на основе понятия о доверительных интервалах; сравнение дисперсий и коэффициентов вариаций по соответствующим критериям; проверка гипотезы об адекватности описания эмпирического распределения с теоретическим.

По ГОСТ 23603–79 [10], адекватность модели есть ее соответствие экспериментальным данным по заданному критерию с заданной точностью. Для решения оптимальных задач в процессе планирования эксперимента математическая модель должна правильно отражать свойства функции отклика в окрестности точки, для которой поверхность отклика построена. Следовательно, вычисленные с помощью модели значения функции отклика не должны отличаться от экспериментальных. Модель, удовлетворяющая этим требованиям, называется адекватной [7].

Экспериментальные исследования служат для подтверждения адекватности математического моделирования и получения новых экспериментальных данных, в том числе необходимых для теоретических исследований. В производственных условиях они базируются на использовании современных измерительных средств, а имитации, аналогии не пригодны для прогнозирования воздействия производственных условий, окружающей среды на функционирование машины. Например, многие элементы технологического процесса лесозаготовок и лесного хозяйства, особенно переместительные операции на лесосеке, включая производительность, скорость движения машин, затраты времени на выполнение фаз технологического процесса, связаны с коэффициентами сопротивления качению машины и скольжению древесины, но не существует математических моделей прогнозирования значения этих коэффициентов. Даже для прямолинейного движения определение коэффициента сопротивления качению шины и тем более

гусеницы по деформированному почвогрунту, имеющему переменные физико-механические свойства, считается сложной теоретической задачей, которая значительно усложняется в режиме поворота машины и превращается в теоретически не решаемую проблему для реальной лесосеки или трелевочного волока. Это одна из тех эмпирических задач, о которых писал П.Л. Капица [12, с. 411]. Только экспериментально, с применением сложной электроизмерительной аппаратуры можно определить и прогнозировать значения этих коэффициентов, тем более, если учесть их большой диапазон изменения, например по длине даже одного волока [4].

Научная этика исследователя обязывает анализировать работы предшественников, применяемые ими средства научного проникновения и только на основании полученных выводов формулировать задачи как декомпозицию цели исследования.

За уровень научного проникновения исследований, выполняемых молодыми учеными или членами научного коллектива, в определенной мере несут ответственность научные руководители, доктора технических наук, публикации которых должны выполнять воспитательную функцию. Потенциал ученого, его квалификация оцениваются публикациями программных статей и монографий, особенно без соавторства, в центральных научных изданиях и издательствах. К сожалению, в них за последние десятилетия не вышла ни одна монография по лесосечным машинам, механизации лесозаготовок и лесного хозяйства.

Изложенные основные направления повышения уровня средств научного проникновения будут способствовать углубленному исследованию лесных машин и оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алябьев В.И.* Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 231 с.
2. *Анисимов Г.М.* Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного трактора. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 168 с.
3. *Анисимов Г.М.* Основы научных исследований. – Л.: Изд-во ЛТА, 1982. – 76 с.
4. *Анисимов Г.М.* Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 208 с.
5. *Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И.* Экологическая эффективность трелевочных тракторов. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. – 252 с.
6. *Анисимов Г.М., Кочнев А.М.* Основы научных исследований. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. – 490 с.
7. *Анисимов Г.М., Кочнев А.М.* Испытания лесосечных машин. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2008. – 486 с.
8. *Беляев Н.М.* Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 855 с.
9. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 28 с.
10. ГОСТ 23603–79. Статистическая оценка нагруженности машин и механизмов. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 26 с.

11. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 536 с.
12. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. – М.: Наука, 1981. – 496 с.
13. Капитан Р.В., Франкитин М.Я. Оценка технической эффективности мероприятий по повышению надежности изделий // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 10. – С. 39–41.
14. Кондаков М.В. Расчетная схема манипулятора // Лесн. журн. – 1988. – № 6. – С. 36–41. – (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Кондаков М.В. К расчету динамического нагружения конструкций манипулятора при переходных процессах // Лесн. журн. – 1989. – № 2. – С. 38–43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
16. Кондаков М.В. К оценке точности динамической модели упругого манипулятора // Лесн. журн. – 1989. – № 4. – С. 48–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Кочнев А.М. Теория движения колесных трелевочных систем. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. – 612 с.
18. Мякишев В.А. Лес и экология-92: Проблемы и перспективы // Лесн. хоз-во. – 1992. – № 6. – С. 30–32.
19. Прочность при нестационарных нагрузках / С.В. Серенсен [и др.]. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 294 с.
20. Райзберг Б.А., Кузнецов А.С., Зельман П.М. Качество исследований и разработки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
21. Серенсен С.В., Кочаев В.Н. Несущая способность и расчет деталей на прочность. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – 451 с.
22. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 372 с.

Поступила 15.12.09

G.M. Anisimov, A.M. Kochnev
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

On Ways of Scientific Penetration in Study of Forest Machines and Equipment

The main ways of increasing the scientific penetration in forestry machinery and equipment study are formulated, including modern methods of complex dynamic systems simulation, support of results reliability, adequacy of mathematical model to the study object and theory of experiment.

Keywords: study, system approach, ways of scientific penetration.
