

ЛИТЕРАТУРА

1. Построение динамической модели гидравлического тракта / Д. А. Гринюк [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 86-й научно-техн. конф. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 354-356.
2. Variable Speed Pumping : A Guide to Successful Applications // Elsevier Science, Elsevier Ltd., Oxford, UK, 2004 – 172 p.
3. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с
4. Use of Fixed and Variable Speed Pumps in Water Distribution Networks with Different Control Strategies. Water / Briceño-León, С.Х. [at al] // 2021, 13, 479. <https://doi.org/10.3390/w13040479>.

УДК 630*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.; Е.А. Леонов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Арико, доц., канд. техн. наук;
В.И. Гиль, ст. преп., канд. техн. наук; А.И. Лагун, студ. (БГТУ, г. Минск)
Д.В. Клоков, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
С.С. Карпович, зав. каф., канд. техн. наук (ИПК и ПК БНТУ, г. Минск);

ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «КАБИНА – СИДЕНЬЕ – ОПЕРАТОР» КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

При имитационном моделировании для проектирования лесозаготовительной техники, в частности колесных трелевочных машин, большое значение имеет выбор рациональной модели системы «Кабина – сиденье – водитель». В зависимости от компоновочного решения колесной трелевочной машины модель будет иметь существенные особенности, что связано с определением динамического взаимодействия основных систем подобных машин, таких как базовая колесная машина, технологическое трелевочное оборудование и пачка древесного сырья. При этом существенное значение имеет так же выбор типа трелевочного оборудования.

Постановка задачи. Определение рациональной математической модели системы «Кабина – сиденье – оператор» с учетом особенностей колесных трелевочных машин при имитационном моделировании.

Основная часть. Для решения поставленной задачи применялись основные принципы имитационного моделирования. Рассматривались два основных варианта взаимодействия основных систем колесных трелевочных машин. В первом варианте рассматривалось влияние динамических процессов, происходящих с пачкой древесного сырья через технологическое оборудование и колесный трелевочный

трактор на оператора. Для второго варианта была определена обратная задача, а именно влияние динамических процессов, происходящих с оператором во время движения на общую динамику базовой машины.

При рассмотрении обоих вариантов взаимодействия в математических моделях оператор был представлен в виде как одномассовой, так и трехмассовой математической модели обратных маятников.

Построения предлагаемых моделей аналогичны ранее разработанным математическим моделям, где за основу принималась кабина трактора с жесткой рамой МТЗ-82.1. Такой подход предполагает нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс колесной трелевочной машины при рассмотрении переходных и установившихся режимов движения, что позволяет наряду с задачами общей динамики решать круг специфических вопросов связанных с рассматриваемой проблематикой.

В проведенных теоретических исследованиях рассматривалось различное по компоновочным решениям технологическое оборудование, как в навесном, так и в прицепном варианте исполнения.

Разработка расчетных схем и соответствующих им уравнений движения колесной трелевочной машины являлась одним из основных этапов теоретических исследований ее динамики. Они отражают сложное взаимодействие подсистем самой машины (двигатель, трансмиссия, ходовая часть), технологического оборудования и предмета труда (пачки древесного сырья), а также учитывают реальные возмущающие воздействия внешнего и внутреннего характера (неровности микропрофиля дорожного полотна, крутящий момент двигателя и т. д.).

Для рассмотренных моделей характерна раздельно-агрегатная компоновка машины. Распределенные массы машины, технологического оборудования и пачка древесного сырья при этом заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упругодемпфирующими связями, т. е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы, а все упругие звенья системы в направлении своей податливости обладают демпфирующим сопротивлением [1].

При составлении математических моделей были приняты следующие допущения: машина рассматривается как плоская симметричная система относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести; машина движется по поверхности трелевочного волокна прямолинейно без спусков и подъемов; колебания масс системы малы; упругие характеристики шин, колес и других упругих элементов, линейные или кусочно-линейные, а силы сопротивления пропорциональны скорости деформации; высоты микронеровностей дорожного

полотна под шинами колес правой и левой колеи усредняются; высокочастотные колебания элементов трансмиссии машины, технологического оборудования и кабины, как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; беговая дорожка шины колес рассматривается в виде безинерционного обруча с радиусом, равным радиусу качения; контакт шины колес с поверхностью дорожного полотна имеют постоянный без пробуксовки и бокового проскальзывания; жесткость шин колес, подвески переднего и заднего мостов, трансмиссии, кабины, сидения оператора, технологического оборудования и пачки древесного сырья является постоянной величиной; колебания в поперечной плоскости считались не связанными с продольными угловыми, так как колесная трелевочная машина симметрична относительно продольной вертикальной плоскости, проходящей через ее центр тяжести.

Основными возмущающими воздействиями внешнего и внутреннего характера, влияющими на динамику колесной трелевочной машины, рассматривались неровности дорожного полотна и крутящий момент двигателя. Возмущающие воздействия неровностей дорожного полотна представлялись в виде дискретных массивов микропрофилей, которые выражались как функция времени, с учетом запаздывания задних колес машины по отношению к передним. Крутящий момент двигателя был представлен функцией от частоты вращения коленчатого вала, а выбор его значений производился по регуляторной характеристике.

Критериями оценки воздействия возмущающих факторов на колесную трелевочную машину, которые рассматриваются в виде случайного процесса, служат соответствующие вероятностные показатели. Оценочными показателями при исследовании переходных процессов являются максимальные значения угловых, линейных отклонений дискретных масс динамической системы и их продолжительность [2].

Для первого варианта рассматриваемой задачи оператор был представлен в виде трехмассовой математической модели обратных маятников, которая включает в себя тригонометрические функции обобщенных угловых координат, которые были преобразованы в бесконечную сумму степенных функций и при аппроксимации заменены многочленами. При линеаризации полученных уравнений с разложением в ряды Тейлора с последующим отсечением всех членов многочлена выше третьего порядка. Подобные преобразования имеют смысл, когда колебания обобщенных угловых координат математической модели оператора находятся в небольших пределах [3, 4].

Рассматривался вариант упрощения трехмассовой математической модели оператора, в которой угловые колебания обобщенных координат и крутильные жесткости системы были заменены на приве-

денные горизонтальные, а вертикальные составляющие не учитывались из-за малозначительности.

Для второго варианта поставленной задачи наиболее рациональной являлась одномассовая модель оператора, аналогичная работам [5...9].

Посредством математического аппарата и на основе системы высокоуровневого программирования MATLAB R2024b были получены матрицы численных значений отклонений степеней свободы моделей, первые и вторые производные этих отклонений, соответствующие им моменты времени протекания процесса, с последующей обработкой методами математической статистики.

Результаты теоретических исследований позволили определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности системы «Кабина – сиденье – оператор» для колесной трелевочной машины с жесткой рамой, для различных вариантов компоновочных решений технологического оборудования как с одномассовой, так и трехмассовой моделью оператора.

Заключение. Особенностью имитационного моделирования системы «Кабина – сиденье – оператор» колесных трелевочных машин является необходимость правильного выбора математической модели оператора. Рассмотренные математические модели позволяют учитывать особенности динамического взаимодействия основных систем колесных трелевочных машин в конкретных производственных условиях для выбора наиболее рационального варианта, что может быть использовано при проектировании лесозаготовительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
2. Силаев, А. А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А. А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
3. Вдовин А. Ю., Золкина Л. А., Воронцова Н. Л. Справочник по математике для бакалавров: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 80 с.
4. Математическая модель динамики тракторного поезда на базе колесного трактора класса 1.4-2.0 / Я. И. Остриков [и др.] // Труды БТИ им. С. М. Кирова. Сер. I Лесная и деревообраб. пром-сть. 1993. Вып. I. С. 56–60.
5. Исаченков В. С., Симанович В. А. Математическая модель колесной трелевочной машины // Труды БГТУ. 2011. №2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 75–81.
6. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чокерного технологического оборудования // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 39–42.

7. Исаченков В. С., Симанович В. А. Выбор типа прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2015. № 2. Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 79–83.

8. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 23–27.

9. Исаченков В. С., Арико С. Е., В. А. Симанович В. А. К вопросу выбора параметров технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. №2 (246). С. 218–223.

УДК 621.3

Р.Р. Мороз, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Все электроприёмники проектируются и изготавливаются на определенные (номинальные) параметры качества электроэнергии, и любое отклонение этих параметров от своих номинальных значений может приводить к ухудшению технико-экономических показателей функционирования электроприёмников и даже к нарушению их функционирования. Следовательно, взаимоотношения между системой электроснабжения и электрофицированным процессом с позиции качества электрической энергии необходимо регламентировать определённым документом, чтобы иметь юридические основания для разрешения проблем, которые могут возникнуть при указанных обстоятельствах (нарушениях функционирования электроприёмников).

Для унификации процесса производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электрической энергии необходимо указанные свойства зафиксировать на определенных численных значениях, которые выражаются в понятии номинальных параметров качества электрической энергии.

Такой документ сформирован – это ГОСТ 32144-2013, который регламентирует допустимые отклонения показателей качества электрической энергии на суточных интервалах времени в виде интегральных значений.

При управлении режимами работы системы электроснабжения практически невозможно поддерживать параметры качества электроэнергии на уровне номинальных значений. Следует также иметь ввиду, что это поддержание обходится очень дорого.