

9. Gerasimov Y.Y., Sokolov A.P., Karjalainen T. GIS-based Decision-Support Program for Planning and Analyzing Short-Wood Transport in Russia // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2008. Vol. 29, № 2. P. 163-175.
10. Gerasimov Y., Sokolov A., Siounev V. Optimization of industrial and fuel wood supply chain associated with cut-to-length harvesting // *Systems. Methods. Technologies*. 2011. № 3 (11). P. 118-124.
11. Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P., Fjeld D. Improving Cut-to-length Operations Management in Russian Logging Companies Using a New Decision Support System // *Baltic Forestry*. 2013. Vol. 19, № 1 (36). P. 89-105.
12. Sokolov A.P., Syunev V.S. A toolset of decision support systems for wood harvesting and forest bioenergy logistics in Russia // *Renewable energy sources and clean technologies: Proceedings of 14th international multidisciplinary scientific geocon-*
- ference SGEM 2014. Albena: STEF92 Technology, 2014. Vol. 1. P. 3-10.
13. Nurminen, T., Heinonen, J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica*. 2007. № 41 (3). P. 471-487.
14. Audy J.F., Moreira M.P., Westlund K., D'Amours S., Le-Bel L., Roñnqvist M. Alternative logistics' concepts fitting different wood supply situations and markets // *Montreal: CIRRELT*, 2012. 348 p.
15. Prim R.C. Shortest connection networks and some generalizations // *Bell System Technical Journal*, 1957. Vol. 36. P. 1389-1401.
16. Clarke G., Right J.W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points // *Operations Research*, 1963. Vol. 11. P. 568-581

УДК 621.01:631.3.031

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-163-169

Метод анализа технологических машин для лесного хозяйства

В.Н. Коршун^a, А.И. Карнаухов^b, И.В. Кухар^c

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира 82, Красноярск, Россия

^akorshun_viktor@mail.ru, ^bsky_angel_33@mail.ru, ^crahuk.dela@mail.ru

Статья поступила 20.02.2016, принята 23.03.2016

Предложен метод динамического анализа технологической машины с механическим подводом энергии к рабочим органам. Приведено понятие технологической машины как технической системы, взаимодействующей с предметом труда. По принципу функционирования механической энергии составлена структурная схема технической системы, включающей рабочий орган, двигатель, передаточный механизм и движитель. В качестве динамической модели элементов системы взяты их механические характеристики — зависимости движущего момента от угловой скорости, определяющие мощность. Представлен анализ механических характеристик рабочих процессов в лесном хозяйстве — вспашка почвы, прессование хвои, резание материалов. Дан краткий анализ динамических моделей управления технологическими операциями в технологических машинах. Приведен пример синтеза энергосберегающих параметров машинного агрегата, включающего в себя электродвигатель, упруго-диссипативную муфту и рабочий орган.

Ключевые слова: энергосбережение; технологическая машина; механическая энергия; вращающий момент; угловая скорость; динамическая модель; рабочий процесс; лесное хозяйство.

Analysis method for forestry technological machines

V.N. Korshun^a, A.I. Karnaukhov^b, I.V. Kuhar^c

Siberian State Technological University; 82, Mira ave., Krasnoyarsk, Russia

^akorshun_viktor@mail.ru, ^bsky_angel_33@mail.ru, ^crahuk.dela@mail.ru

Received 20.02.2016, accepted 23.03.2016

Dynamic analysis method has been proposed for a technological machine with power-driven rotary actuator. The concept of a technological machine as a technical system that interacts with the processed materials has been presented. According to the principle of mechanical energy functioning, the structural scheme of the technical system has been made, which includes processing actuator, engine, transmission and mover. Mechanical properties of the system elements, such as driving torque and angular velocity, have been taken as a dynamic model of the system elements. Power is a vector multiplication of the driving torque to the angular velocity. Analysis of mechanical properties of working processes in forestry (plowing, pressing conifer needles, cutting of materials) has been presented. A brief analysis has been done for dynamic models of technological operation control in forestry technological machines. An example of the synthesis of energy-saving parameters of a machine unit has been given, including the motor, elastic-dissipative coupling and a working body.

Key words: energy efficiency; technological machine; mechanical energy; driving torque; angular velocity; dynamic model; working process; forestry.

Введение

По данным Росстата, доля потребления энергии на технологические нужды составляет 25 % от общих затрат энергии в стране, из них в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве расходуется около 5 %. На одного работающего в данных отраслях тратится 2,4 т условного топлива, из них 54 % приходится на двигательную силу, т. е. расходуется на эксплуатацию машин и оборудования [1].

В России расходы энергии в технологических машинах на единицу продукции превышают зарубежные показатели от 3 до 5 раз [15–17].

К неэффективному расходованию энергии приводит недогрузка по мощности транспортно-технологических машин, выполненных по тяговой концепции. На современном этапе развития технических средств данные машины достигли пределов своего совершенствования. Особенности применения лесохозяйственных агрегатов, выполненных по тяговой концепции с пассивными рабочими органами, в условиях вырубок не позволяют рационально использовать мощности двигателей тракторов при выполнении большинства технологических операций. Например, лесохозяйственный трактор ТТ4-М при работе с лесными культиваторами или лесопосадочными машинами вследствие низкого коэффициента сцепления движителя с грунтом загружен всего на 20 %, что приводит к существенному перерасходу топлива [2]. Неэффективное расходование энергии связано с ограниченными возможностями по согласованию параметров рабочих процессов силового взаимодействия с почвой и энергетических характеристик двигателей. Одним из перспективных направлений энергосбережения в технологических машинах с передачей энергии посредством вращательного движения является совершенствование их структуры, динамических параметров элементов системы, а также параметров устройств, передающих энергию.

Технологическая машина рассматривается в виде технической системы, выполняющей, как правило, механические движения и служащей для преобразования материалов, энергии и информации с целью повышения их потребительских качеств, замены или облегчения физического или умственного труда [3]. Иначе говоря, технологическая машина механическим способом воздействует на предмет труда, выполняя рабочий процесс. При механическом рабочем процессе воздействия на предмет труда в соответствии со вторым законом Ньютона возникают активные силы и (или) моменты сопротивления, действующие на рабочие органы машины, зависящие от параметров движения (траекторий, скоростей и ускорений) и механических характеристик предмета труда. Данные силы по физическому смыслу являются силами рабочего сопротивления, и их работа — величина отрицательная. Таким образом, основным структурным элементом машины является рабочий орган.

Для оптимизации машины по критерию энергосбережения необходимо знать не только структуру, но и динамические параметры входящих в нее элементов. Метод анализа функционирования механической

энергии в технологических машинах приведен в статьях [4–8].

Структурная схема технологической машины обуславливается типом элементов и выполняемыми ими функциями [3]. Рассмотрим схему транспортно-технологической машины по принципу передачи в ней механической энергии.носителем энергии выступает явление механического поступательного или вращательного движения элементов, обладающих массовыми и инерционными характеристиками [14].

Двигатель (*Д*) преобразует энергию иного типа носителя в механическую вращательную и оказывает основное воздействие на лесную экосистему.

Рабочий орган (*РО*) непосредственно механически взаимодействует с предметом труда, изменяя его механические и потребительские свойства. Выполняет основную функцию машины (рабочий процесс), воспринимает силы рабочего сопротивления, частично создает тяговую силу. Потребитель активной энергии [3].

Движитель (*Дж*) создает тяговую силу, воспринимает кинематическое и динамическое возбуждение от опорной поверхности и среды движения машины. Оказывает механическое воздействие на лесохозяйственную поверхность. Потребитель активной энергии.

Преобразующее устройство (*П*) трансформирует, преобразует и передает энергию, генерируемую двигателем, рабочему органу и (или) движителю с параметрами, необходимыми для выполнения технологического процесса и движения по лесохозяйственной поверхности.

Делитель потока энергии (*Дф*) — симметричный или несимметричный дифференциальный механизм.

Замыкающий механизм (*ЗМ*) — замыкающий передаточный механизм с постоянным или изменяемым передаточным отношением. Служит для замыкания потока энергии в машине.

Каждый из указанных выше элементов машины оценивается динамическими моделями.

Дополнительно в машине имеются элементы, предназначенные только для передачи энергии и обладающие собственными характеристиками.

Энергопровод (*Э*) — безмассовый, безынерционный, абсолютно жесткий элемент, передающий энергию вращательного движения. Установлен в опорах.

Инерционный элемент (*И*), передающий энергию вращательного движения, обладает внутренней механической характеристикой — моментом инерции *J*.

Упругий элемент (*С*), передающий энергию вращательного движения, обладает внутренней механической характеристикой — модулем угловой упругости *c*.

Опоры служат для установки в них на цапфах рабочих органов и других элементов, совершающих вращательное движение. Передают силы на корпус и раму машины, могут вызывать диссипацию механической энергии.

Рама, корпус машины или поверхность движения — скорость этих элементов считается равной нулю.

Все элементы машин, понятия которых приведены выше, имеют входные и выходные факторы, оцениваются своими характеристиками и на определенном уровне исследования могут рассматриваться как тех-

нические подсистемы. Каждый элемент технической системы исследуется на основе динамических моделей.

Простейшей является схема технологической машины, состоящая из двух элементов: двигателя и рабочего органа, жестко соединенных между собой (рис. 1). Пример — вентилятор семяочистительной машины. Система обладает одной степенью свободы.

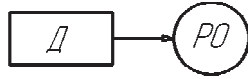


Рис. 1. Простейшая структурная схема технологической машины (однопоточная схема)

Для транспортной машины простейшей будет схема, приведенная на рис. 2. Пример — транспортер для подачи семян.

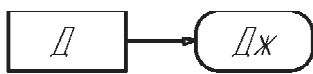


Рис. 2. Простейшая структурная схема транспортной машины

Для самоходных машин структурная схема будет состоять как минимум из трех элементов. Схема для транспортно-технологической машины, рабочий орган которой получает энергию от движителя, представлена на рис. 3. Пример — лесопосадочная машина с подводом энергии от приводного колеса.



Рис. 3. Структурная схема технологической машины с приводом от движителя

Машины с делителями потока энергии и приводом рабочего органа от вала отбора мощности (ВОМ) могут описываться схемой, приведенной на рис. 4. Пример — сеялка с приводом высевающего аппарата от ВОМ, а сошников — от движителя.

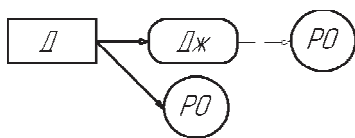


Рис. 4. Структурная схема технологической машины с делителем потока энергии (двухпоточная схема)

Все потоки энергии в машине должны быть замкнуты, поэтому в схему добавляются рама или корпус.

Динамическая модель технологической машины складывается из динамических моделей механизмов, необходимых для передачи и преобразования энергии. В задачи динамического анализа входят исследование и минимизация потерь энергии. Простейшей является модель с жесткими (недеформируемыми) элементами передачи энергии. Наиболее распространена цепная модель с одной степенью свободы (рис. 5). Для такой модели цепочка инерционных элементов двигателя (Δ) J_d , рабочего органа (Δ) J_{po} и кинематического преобразующего элемента (Δ) J_{nm} , не прерываемая упруго-диссипативными элементами, может быть заменена

эквивалентным, приведенным по принципу равенства кинетической энергии моментом инерции. Кинематический элемент выполняет функцию положения, реализующего линейное (ступенчатое) преобразование входной координаты $q(t)$ ($i_1, i_2, i_3 \dots i_k$ — кинематический коэффициент трансформации).

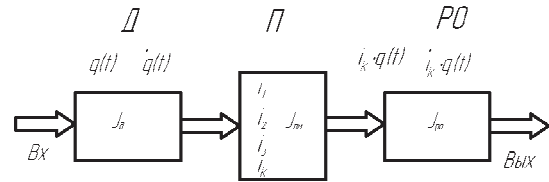


Рис. 5. Схема одномерной динамической цепной модели с одной степенью свободы

На основе модели (рис. 5) можно решать следующие задачи:

- силовой анализ;
- расчет реакций в кинематических парах;
- выбор параметров двигателя.

В разветвленных моделях поток энергии разделяется. Для разделения потоков используется дифференциальный механизм ($\Delta\phi$) [9]. Схема данной модели представлена на рис. 6.

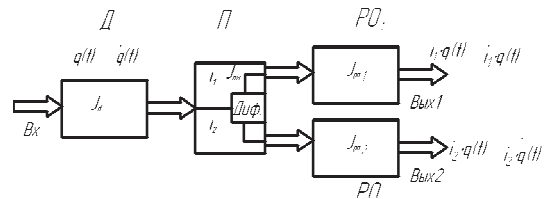


Рис. 6. Схема разветвленной модели с одним входом и двумя выходами

При учете упругих деформаций прежде всего учитывают упругость муфты как самого податливого элемента в системе передачи энергии (рис. 7). Упругие свойства элементов определяются коэффициентом угловой жесткости (c), а диссипативные — коэффициентом диссипации (Ψ).

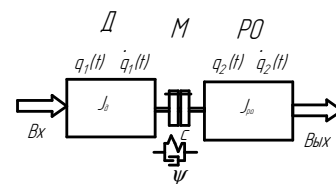


Рис. 7. Схема цепной модели с двумя степенями свободы и упруго-диссипативной муфтой (M)

Расчет потерь энергии в опорах можно проводить на основе модели (рис. 8): 1 — двигатель; 2 — рабочий орган; 3 — упруго-диссипативная муфта; O — опоры; $M_{нд}, M_{нро}$ — моменты трения в опорах [6].

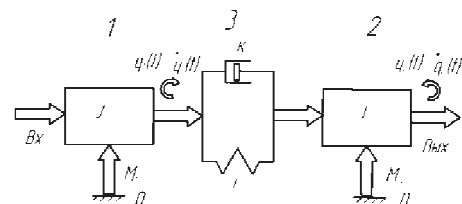


Рис. 8. Схема модели, учитывающей трение в опорах

Динамические модели рабочих процессов. Как правило, силы активного (равно — рабочего) сопротивления зависят от параметров движения [10]. Классическим примером является сила сопротивления лемешного плуга [11]. Для обоснования энергосберегающих параметров машин необходимо знать характеристики рабочих процессов — зависимость силового фактора (Q_c) (момента сопротивления или силы сопротивления) от скорости выполнения процесса (\dot{q}) (q — угловая координата). Эта зависимость носит название механической характеристики рабочего процесса [4]. Механические характеристики могут рассматриваться в качестве динамических моделей. Анализ научной литературы [2; 10; 15–19] показывает, что силы рабочего сопротивления являются постоянными [13] либо зависят от скорости рабочего органа, значительно реже — от координат рабочего органа машины (характерно для неоднородного по прочности предмета труда). Для подавляющего числа рабочих процессов, выполняемых в лесном хозяйстве, с увеличением угловой скорости \dot{q} возрастает момент рабочего сопротивления [5].

Обобщенно характеристики рабочих процессов можно представить в виде [4]:

$$Q_c = f(u, \dot{q}), \tag{1}$$

где f — функциональная зависимость, которую требуется установить; u — технологический параметр управления рабочим процессом (например глубина обработки почвы).

Характер протекания рабочего процесса может быть оценен крутизной механической характеристики k_c :

$$k_c = \frac{dQ_c}{d\dot{q}}. \tag{2}$$

По своему физическому смыслу параметр, определяемый выражением (2), характеризует скорость нарастания момента сопротивления в зависимости от угловой скорости. Крутизна механической характеристики рабочего процесса может быть положительной либо отрицательной. Если зависимость (1) задана аналитически, то k_c может быть определена дифференцированием. Если механическая характеристика рабочего процесса задана графическим или табличным способом, то крутизна k_c может быть определена средствами САД-систем. Геометрически она представляет тангенс угла наклона касательной. Если $k_c = 0$, то силы сопротивления не зависят от скорости рабочего процесса ($Q_c = Q_0 = \text{const}$). Примером может быть момент от сил тяжести. Сопротивления лемешных плугов при обработке почвы характеризуются квадратичной зависимостью от скорости рабочего процесса [2; 3]:

$$Q_c = Q_0 + \varepsilon \cdot (\dot{q})^2, \tag{3}$$

где Q_0 — постоянная часть сопротивления плуга, не зависящая от скорости; ε — коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств почвы.

На рис. 9 представлена графическая интерпретация выражения (3) (α — угол наклона касательной).

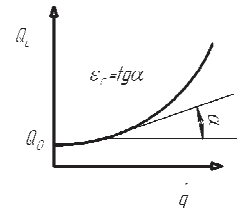


Рис. 9. Характеристика рабочего процесса вспашки почвы

Для целого класса рабочих процессов, в которых взаимодействие с предметом труда осуществляется упругопластическими деформациями, силы активного сопротивления зависят не только от координат, но и от знака скорости. График зависимости $Q_c = Q_0(q, \text{sign } \dot{q})$ приведен на рис. 10.

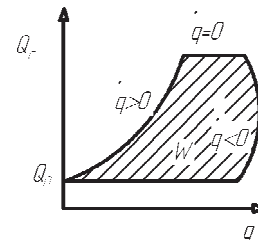


Рис. 10. Характеристика рабочего процесса прессования хвои

Энергия, W , необходимая для выполнения рабочего процесса, определяется интегрированием $W = \int Q_c dq$.

На графике (рис. 10) она численно равна заштрихованной площади.

Диссипативные силы аэродинамического сопротивления пропорциональны скорости и зависят от знака угловой координаты [4]:

$$Q_c = -(a + b/\dot{q} + c\dot{q}^2)\text{sign } \dot{q}, \tag{4}$$

где $a, b, c > 0$ — коэффициенты пропорциональности.

Силы резания в зависимости от выбранной модели резания могут быть пропорциональны координате, скорости или квадрату скорости. Механические характеристики сил резания приведены на рис. 11.

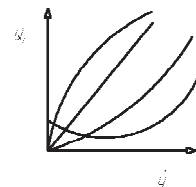


Рис. 11. Механические характеристики процессов резания

Динамические модели управления рабочим процессом. Технологический параметр u в формуле (1) задается за счет программного движения. Анализ конструкций технологических машин показывает, что в них возможны два способа получения программных движений [3; 8; 12; 18]. Первый способ получил рас-

пространение в стационарных машинах, где на вход двигателя подается постоянный управляющий сигнал $u(t) = \text{const}$. После переходного процесса угловая скорость двигателя становится практически постоянной $\omega_{\text{дв}} = f(u_0) = \text{const}$ [6]. Преобразование движения двигателя в программное движение рабочего органа выполняется передаточным механизмом с линейной (ступенчатой) функцией положения $\omega_{\text{ро}} = i_k \cdot \omega_{\text{дв}}$. При использовании такой системы в машине угловая скорость на выходе из системы может быть однозначно определена по угловой скорости двигателя. Рабочий орган движется в установившемся режиме равномерно. При использовании передаточного механизма с нелинейной функцией положения движение рабочего органа будет неравномерным, а закон движения обуславливается типом механизма $\omega_{\text{ро}} = f \cdot \omega_{\text{дв}}$ [12]. Нелинейная функция положения характерна для кривошипно-шатунного механизма либо для гидропривода. В лесохозяйственных технологических машинах наибольшее распространение получила система программного управления с линейной функцией положения (рис. 12) [3].

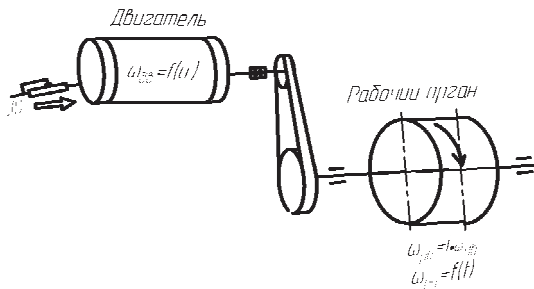


Рис. 12. Схема программного управления технологической машиной с электроприводом

В лесохозяйственных агрегатах формирование программного управления $u(t)$ обеспечивается оператором (например управлением рейкой топливного насоса дизельного двигателя) либо автоматом (автоматический регулятор положения рейки топливного насоса). Системы управления с обратной связью практически не встречаются [3].

Синтез энергосберегающих параметров машинных агрегатов. Задача решается в компьютерных системах. Простейшая схема машинного агрегата включает в себя две динамические подсистемы (двигатель и рабочий орган), соединенные упруго-диссипативной муфтой и установленные в опорах (рис. 8). Анализ системы показывает, что в ней имеются элементы, движущиеся с разными угловыми скоростями. Таким образом, система имеет две степени подвижности, определяемые двумя координатами q_1 и q_2 . Декомпозиция технической системы выполняется слева направо (рис. 8), по направлению движущего момента. Движущий момент электродвигателя с независимым возбуждением (момент на входе в систему) [6]:

$$Q_{\text{дв}} = C_d \cdot i(t), \quad (5)$$

где C_d — конструктивный (моментный) коэффициент электродвигателя, $B \cdot c \cdot \text{рад}^{-1}$; i — ток, A ; t — время, c .

Момент в упругой ветви муфты:

$$M_y = c_y \cdot (q_1 - q_2), \quad (6)$$

где c_y — коэффициент упругости муфты, $H \cdot \text{рад}^{-1}$.

Момент в диссипативной ветви муфты:

$$M_\theta = \kappa_d \cdot [\dot{q}_1 - \dot{q}_2], \quad (7)$$

где κ_d — приведенный коэффициент конструктивного демпфирования, пропорциональный угловой скорости, $H \cdot m \cdot c \cdot \text{рад}^{-1}$.

Модель трения в подшипниковых опорах примем в виде [6; 12]:

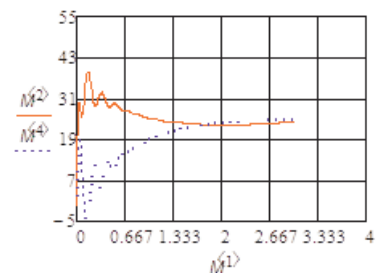
$$M_{\text{но}} = -\frac{4}{\pi} r \cdot f \cdot n \cdot |R| \cdot \text{sign} \dot{q}, \quad (8)$$

где r — радиус цапфы опоры, m ; f — коэффициент трения; R — нормальная реакция в шарнире, H ; n — количество опор.

Модель сил рабочего сопротивления примем в виде (3).

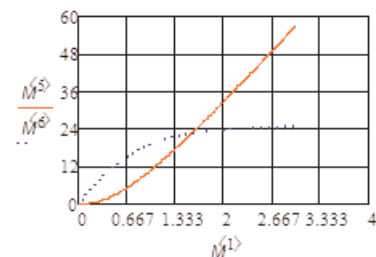
Поскольку модель агрегата цепная, направления векторов моментов совпадают. Суммируя моменты со своими знаками, получаем выражения для движущего момента на выходе из системы. Разрешая уравнения относительно производных, приводим к форме Коши и получаем систему из пяти дифференциальных уравнений первого порядка. Решаем в системе MathCAD численным методом Рунге–Кутты с фиксированным шагом при конкретных значениях характеристик двигателя, муфты и рабочего органа. На рис. 13 приведены результаты моделирования пуска агрегата при приложенной активной силе на рабочем органе и двигателе.

Очевидно, что пуск рассматриваемого машинного агрегата под действием активной силы, приложенной в начальный момент времени, является нерациональным режимом (рис. 13). Присутствуют переходные режимы.



— Сила тока, A
 Угловая скорость, $\text{рад}/c$

а)



— Угол поворота, рад
 Угловая скорость, $\text{рад}/c$

б)

Рис. 13. Графики зависимости параметров движения от вре-

Результаты моделирования показывают, что только при постоянной составляющей момента сопротивления не более 10 Н·м возможен выход агрегата на рабочий режим, причем угловая скорость устанавливается на уровне 22 рад·с⁻¹ при номинальном значении угловой скорости электродвигателя 60 рад·с⁻¹. Сила тока устанавливается на уровне номинальных значений — 23 А. При больших значениях момента сопротивления машинный агрегат не выходит на рабочий режим. Для асинхронных электродвигателей данный режим является нерациональным.

Заключение

1. Предложен метод динамического анализа технологических машин, включающий декомпозицию технической системы на элементы, составление цепной или разветвленной структурной схемы, компьютерное моделирование.

2. Обоснованы динамические модели рабочих процессов лесохозяйственных машин и систем управления технологическими операциями.

3. Исследованы переходные динамические режимы в машинных агрегатах. Доказано, что энергоэффективным является режим пуска машинного агрегата с отключенным рабочим органом, а затем его плавным подключением. В данном случае обеспечиваются минимальное время пуска и наименьшие пусковые моменты в двигателе. Колебательных процессов в системе не происходит.

Литература

1. Россия. 2015: стат. справочник. М.: Росстат, 2015. 62 с.
2. Карнаухов А.И., Агеев А.А. Результаты экспериментальных исследований по оптимизации параметров и режимов работы лесопожарного агрегата с торцевой фрезой // Вестн. Краснояр. гос. агр. ун-та. 2015. № 2. С. 43-49.
3. Коршун В.Н. Система технологий и машин в лесном хозяйстве. Красноярск: СибГТУ, 2009. 390 с.
4. Коршун В.Н. Основы теории функционирования механической энергии в технологических машинах // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 8. С. 5-8.
5. Коршун В.Н. Энергосберегающие параметры и режимы функционирования рабочих органов полевых машин // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 7. С. 24-28.
6. Коршун В.Н. Обоснование энергосберегающих параметров машинных агрегатов с электроприводом // Вестн. Краснояр. гос. агр. ун-та. 2013. № 5. С. 188-193.
7. Коршун В.Н. Динамические модели механической системы технологической машины // Механика XXI века. 2014. № 13. С. 10-14.
8. Коршун В.Н. Проектирование роторных рабочих органов с учетом параметров привода // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 9. С. 34-36.
9. Фот А.П., Муллабаев А.А., Решетов С.Ю. О замкнутых дифференциальных механизмах // Справочник. Инж. журн. 2005. № 1. С. 54-56.
10. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Дисперсионный анализ факторов, влияющих на энергоёмкость процесса резания лесных почв роторными рабочими органами // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 3-4. С. 355-358.
11. Коршун В.Н. Моделирование лесной поверхности // Resources and Technology. 2005. № 5. С. 49-54.

мени: а) для электродвигателя; б) для рабочего органа

12. Воронин С.Г. Электропривод летательных аппаратов [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс. – Offline версия 1.0. Челябинск, 1995-2011. URL: http://epla.susu.ac.ru/vsg_udk.htm/ (дата обращения: 15.03.2016).

13. Kravchenko V.V. Machine Attachments For Fruit Wood // Visn. Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2015. № 3. С. 66-71.

14. International Standard ISO 13600. Technical energy systems – Basic concepts. First ed. 1997-11-15.

15. Mirchevski S. Energy Efficiency in Electric Drives // Electronics. 2012. Vol. 16, № 1. P. 46-48.

16. Shamabadi Z. Evaluation of the effect of reduced tillage on irrigated wheat yield and energy Efficiency // International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2012. Vol. 4, № 20. P. 1508-1511.

17. Tarighi J. Static and dynamic analysis of front axle of tractor using finite element methods // Journal of Agricultural Engineering. 2011. № 2. P. 44-49.

18. Gao H. Establishing saving agricultural mechanization system // Chinese Agricultural Mechanization. 2007. № 1. P. 7-10.

19. Alam M.S. Energy Flow in Agriculture: Bangladesh // American Journal of Environmental Sciences. 2005. № 1. P. 213-220.

20. Clafk W. Energy Efficient in Agrocltural // Efficient Use And Conservation Of Energy. 2003. Vol. 2. P. 72– 94.

References

1. Russia. 2015: Stat. Guide Rosstat. M.: Rosstat, 2015. 62 p.
2. Karnaukhov A.I., Ageev A.A. Experimental Study on Results Optimizing the Characteristics and Working Modes of the Forest-Fire Units with the Face Cutter // The Bulletin of KrasGAU. 2015. № 2. P. 43-49.
3. Korshun V.N. Technologies and Machines Systems of Forestry. Krasnoyarsk: SibGTU, 2009. 390 p.
4. Korshun V.N. Bases of the Theory of Mechanical Energy Functioning in Technological Machines // Tractors and Agricultural Machinery. 2013. № 8. P. 5-8.
5. Korshun V.N. Energy-saving Parameters and Operating Regimes in Field Machine Tools // Tractors and Agricultural Machinery. 2010. № 7. P. 24-28.
6. Korshun V.N. The Energy Conservation Parameters Development of the Electric Machines // The Bulletin of KrasGAU. 2013. № 5. P. 188-193.
7. Korshun V.N. Dynamic Models of Mechanical System Technological Machines // Mekhaniki XXI veku. 2014. № 13. P. 10-14.
8. Korshun V.N. Rotary Working Design with Considering the Drive Parameters // Tractors and Agricultural Machinery. 2008. № 9. P. 34-36.
9. Fot A.P., Mullabaev A.A., Reshetov S.Yu. Closed Differential Mechanism // Handbook. An Engineering Journal. 2005. № 1. P. 54-56.
10. Karnaukhov A.I., Orlovskii S.N. Dispersion Analysis of the Power Factors Cutting Process of Forest Soils Rotary Working Bodies // Conifers of the boreal area. 2010. Т. 27, № 3-4. P. 355-358.
11. Korshun V.N. Modeling of Forest Working Face // Resources and Technology. 2005. № 5. P. 49-54.
12. Voronin S.G. Power Aircrafts: Methodical Complex. Offline version 1.0. [Elektronnyi resurs]: uchebno-metodicheskii kompleks. Offline versiya 1.0. Chelyabinsk, 1995-2011. URL: http://epla.susu.ac.ru/vsg_udk.htm/ (data obrashcheniya: 15.03.2016).
13. Kravchenko V.V. Machine Attachments For Fruit Wood // Visn. Ukrain'skogo viddilennya Mizhnarodnoi akademii agrarnoi osviti. 2015. № 3. P. 66-71.

14. International Standard ISO 13600. Technical energy systems - Basic concepts. First ed. 1997-11-15.
15. Mirchevski S. Energy Efficiency in Electric Drives // Electronics. 2012. Vol. 16, №. 1. P. 46-48.
16. Shamabadi Z. Evaluation the effect of reduced tillage on irrigated wheat yield and energy Efficiency // International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2012. Vol. 4, № 20. P. 1508-1511.
17. Tarighi J. Static and dynamic analysis of front axle of tractor using finite element methods // Journal of Agricultural Engineering. 2011. № 2. P. 44-49.
18. Gao H. Establishing saving agricultural mechanization system // Chinese Agricultural Mechanization. 2007. № 1. P. 7-10.
19. Alam M.S. Energy Flow in Agriculture: Bangladesh // American Journal of Environmental Sciences. 2005. № 1. P. 213-220.
20. Clafk W. Energy Efficient in Agricultural // Efficient Use And Conservation Of Energy. 2003. Vol. 2. P. 72-94.

УДК 528.94:630 (084)

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-169-173

Решение задач планирования лесопромышленного производства с использованием географической информационной системы

А.П. Мохирев^а, С.Ю. Резинкин^б

Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета, ул. Победы 29, Лесосибирск, Россия

^аale-mokhirev@yandex.ru, ^бpogz31@mail.ru

Статья поступила 15.04.2016, принята 5.05.2016

Как правило, для планирования и организации лесозаготовительного или деревоперерабатывающего производства необходимо проанализировать большой объем информации об инфраструктуре и объеме сырьевых ресурсов в регионе, в том числе доступных, наличии конкурирующего и смежного производств и т. п. В большинстве случаев получение подобной информации сопряжено с известными сложностями. В статье представлены результаты исследований по разработке географической информационной системы, где в картографическом или текстовом формате представлены данные, необходимые для планирования и организации лесопромышленного производства. Материал разрабатывался в среде ArcGis. Предлагаемая система проста в использовании и пригодна для практической работы. В частности, доступны следующие функции: осуществление навигации по иерархической системе «субъект РФ – лесничество – участковое лесничество – арендная территория» и переключение между картами лесничеств рассматриваемого региона; просмотр справочной информации по лесничествам, лесопаркам, лесорастительным зонам и районам в границах субъектов РФ; формирование запросов по отбору интересующего пространственного объекта и получение справочных данных; изменение масштаба карт без потери качества; получение координат объектов и данных о рельефе местности; планирование сети лесных дорог; распечатка карт и справочной информации; определение экономически доступных древесных ресурсов; получение информации о наличии инфраструктуры в границах рассматриваемого объекта, об объемах расчетной лесосеки лесничества, участкового лесничества, лесного участка, а также об объемах свободной (неосваиваемой) древесины с указанием ее породы и качества, о конкурирующих и смежных производствах в рассматриваемом районе. Система апробирована на территории Красноярского края.

Ключевые слова: географическая информационная система; планирование лесозаготовительного производства; схема лесных дорог; экономическая доступность; планирование освоения лесного фонда.

Problem solving for timber production planning by using geographic information systems

A.P. Mokhirev^а, S.Yu. Rezinkin^б

Siberian State Technological University, Lesosibirsk branch; 29, Pobedy St., Lesosibirsk, Russia

^аale-mokhirev@yandex.ru, ^бpogz31@mail.ru

Received 15.04.2016, accepted 5.05.2016

To plan and organize logging and wood processing, it is required to analyze a large amount of information. It touches upon existing infrastructure and natural resources in the region, including affordable ones, upon availability of competing and related productions, etc. In most cases, this information is difficult to obtain. The article presents the results of studies on the development of geographic information system which presents data in the map or text format. The data are necessary for planning and organizing timber production. The system has been developed in ArcGis environment. The system proposed is simple to use and is suitable for practical work. It allows you to navigate on hierarchical system «a subject of the Russian Federation – forestry – district forestry – rent area» and to