



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.021:531.3

В.Б. АЛЬГИН, д-р техн. наук, В.М. СОРОЧАН
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ И ЕЕ ТРАНСМИССИИ НА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотрена проблема оценки основных ресурсно-функциональных свойств мобильной машины на ранней (концептуальной) стадии проектирования, во многом определяющей ее конкурентоспособность. Ключевым элементом предлагаемого подхода является согласованная оценка скоростных свойств, расхода топлива и ресурса, как основы для расчета показателя конкурентоспособности, комплексно отражающего основные свойства мобильной машины с учетом стоимости ее покупки и эксплуатационных расходов. Во многом указанная оценка связана со свойствами трансмиссии: типом привода, схемой коробки передач, гаммой передаточных чисел. Описан состав процедур для проведения необходимых расчетов на стадии проектирования, когда известна или оценивается концепция мобильной машины и ее трансмиссии. Представлен пример полного силового и кинематического расчета планетарной трансмиссии и анализ, характерный для концептуальной стадии проектирования мобильной машины.

Ключевые слова: мобильная машина, трансмиссия, концептуальная стадия проектирования, оценка качества и конкурентоспособности, согласованный расчет ресурсных и функциональных показателей

Введение. Современный автомобиль, прежде чем попасть к потребителю, проходит проверку на соответствие многим требованиям (их число превышает 1000), ряд из которых, например, в части безопасности, подлежит обязательному выполнению. Оценка на эти требования в полном объеме возможна после изготовления и испытаний автомобиля. На концептуальном уровне решается главный вопрос: насколько выбранная концепция автомобиля обеспечит его конкурентоспособность?

В основе оценки качества и конкурентоспособности мобильной техники лежат различные подходы. Активно эта проблематика разрабатывается в России, где функционирует развитая система государственных и общественных институтов (Всероссийская организация качества, Межрегиональная общественная организация «Академия проблем качества» и др.).

Во многих случаях имеет место неоправданное отождествление понятий качества и конкурентоспособности, о чем указывается, например, в работе [1]. Будем отличать понятия качества и конкурентоспособности, трактуя их следующим известным образом:

- *качество* — совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности (определение ISO — Международной организации по стандартизации);
- *конкурентоспособность* — свойство объектов, характеризующее степень удовлетворения конкретной потребности по сравнению с лучшими аналогичными объектами, представленными на данном рынке [2].

Существующие методы оценки уровня конкурентоспособности продукции классифицируются на дифференциальные, комплексные и смешанные [3, 4]. Дифференциальный метод является упрощенным и основан на использовании единичных показателей конкурентоспособности, а комплексный — на применении групповых и интегральных показателей. При смешанном методе используются как единичные, групповые, так и интегральные показатели, что обеспечивает наиболее полную оценку уровня конкурентоспособности продукции.

Можно выделить подход, доминирующий в автомобильной литературе [1], [5—7], который характеризуется следующими особенностями. Вначале выполняется оценка качества, сводимая к рассмотрению большого списка параметров, по которым ведется оценка, а затем осуществляется их свертка к одному показателю суммированием с определенными весами упомянутых параметров, либо определением площади под линией, соединяющей значения параметров. Кроме того, при проведении оценок используют показатели, заявленные производителями, не учитывают конкретные условия эксплуатации, а, следовательно, конкретные значения скоростей машины, ее расхода топлива, реальный ресурс. В результате получается показатель, лишенный содержательности.

Затем переходят к оценке конкурентоспособности, введением цены и эксплуатационных затрат.

Второй известный подход используется при технико-экономической оценке эффективности сельскохо-

зайственных машин и технологий с применением показателя, имеющего содержательный смысл — *часовых эксплуатационных затрат* (ЧЭЗ-методика) [8, 9]. Указывается [9], что ЧЭЗ-методика включает в себя современные достижения российской и зарубежной экономической теории и практики. Примененные в ней алгоритмы расчетов в полной мере гармонизированы со всемирно признанным стандартом ASAE [10].

Данный подход к оценке конкурентоспособности представляется более привлекательным из-за наличия содержательной составляющей и пригодным для стадий концептуальной оценки. Он использован ниже при обосновании технико-экономического критерия для оценки конкурентоспособности как альтернатива первому подходу, лишенному содержательной трактовки.

Цель данной работы — обоснование показателей качества и конкурентоспособности мобильной машины и ее трансмиссии, как интегральных показателей, имеющих содержательный смысл и основанных на согласованном выборе их основных составляющих, а также разработка и систематизация соответствующих процедур и методов их определения на концептуальной стадии проектирования машины.

Основными исходными данными для мобильной машины являются известные или принимаемые на концептуальной стадии проектирования характеристики двигателя и движителя, кинематические схемы и параметры узлов трансмиссии.

Следует отметить, что понятие «качество» имеет объективный характер, а в основе понятия «конкурентоспособность» лежит оценка машины «глазами потребителя», и, как следствие, учет именно его, потребителя, условий эксплуатации, а не абстрактных показателей, нередко заявляемых производителем. Поэтому одна и та же машина может у разных потребителей, имеющих разные условия эксплуатации машины, получить различные оценки в части конкурентоспособности. Важным фактором при этом является надежность (безотказность) и долговечность (ресурс), существенно зависящие от условий эксплуатации.

Автомобиль «Тойота Королла» при оценке конкурентоспособности восьми машин по предлагаемому в работе [1] методу занял из-за высокой цены последнее место. Анализируя полученный результат, автор работы отмечает, что в реальности этот автомобиль занимает высокое место по объему продаж из-за популярности и высокой надежности, а примененный метод последний фактор не учитывает.

Кроме того, существенное значение при оценке функциональных и ресурсных свойств, в частности, ресурса трансмиссии, является стиль работы оператора (стиль вождения) мобильной машины [11]. Поэтому этот фактор следует выделить как самостоятельный структурный элемент в общей структуре факторов, определяющих качество и конкурентоспособность мобильной машины.

Предлагаемые показатели качества и конкурентоспособности. Вероятностный характер показателей. Качество и конкурентоспособность носят комплексный характер. Поэтому возникает проблема сведения их оценки к единым критериям, которые можно оптимизировать. Рассмотренные выше подходы, которые основываются на разнообразных свертках, использовании весовых коэффициентов, носят субъективный характер. Поэтому, как альтернатива, предлагается использовать содержательный критерий и вероятностную идеологию, при этом распро-

странить подходы теории надежности на область показателей качества и конкурентоспособности.

Для оценки *качества* предлагается использовать вероятность нахождения машины в пространстве, ограниченном нормативными (базовыми) значениями производительности w_x , расхода топлива Q_x и ресурса T_x , или иначе, вероятность ресурсно-функционального состояния машины [12–17]

$$P_c = P(w > w_x, Q < Q_x, T > T_x), \quad (1)$$

где w , Q — средние производительность и расход топлива наработку T ; T — наработка машины до предельного состояния (ресурс); w_x , Q_x , T_x — средние производительность, расход топлива, наработка, принятые в качестве нормативных (базовых) значений частных показателей.

За базовые значения могут быть приняты параметры, заявляемые производителем, либо значения, соответствующие машинам-аналогам с учетом усредненного спектра условий эксплуатации машины. Поскольку оценка на концептуальной стадии носит сравнительный характер, некоторая возможная неточность при выборе указанных и других параметров, носящих характер измерителей, представляется несущественной.

Преимущества предлагаемого вероятностного критерия состоят в том, что он решает проблему описания качества при разнородных свойствах объекта, таких как производительность, экономичность, ресурс, и имеет ясный смысл: вероятность нахождения объекта в определенной области пространства его состояния. Такой подход находит все более широкое применение при анализе и управлении сложных технических объектов. При этом нет необходимости вводить веса и другие субъективные параметры для расчета общего показателя.

При выборе *показателя конкурентоспособности* предлагается рассматривать кривую распределения определенного технико-экономического критерия как случайной величины и определять по ней его *гамма-процентное значение*.

В качестве критерия целесообразно использовать показатель «затраты на выполнение годового набора работ» потребителем. При этом предлагается дифференцированно учитывать (в зависимости от условий эксплуатации) следующие параметры: производительность, потребление топлива и исчерпание ресурса машины. Такой выбор основных параметров, явно зависящих от условий эксплуатации и стиля работы оператора (водителя), представляется естественным для мобильной машины, поскольку вытекает из ее основного назначения: перемещение в пространстве с выполнением определенной работы при необходимом потреблении энергии (топлива) и поддержании целостности (работоспособности).

Затраты на выполнение годового набора работ для предварительно выбранного стиля работы оператора определяются по совокупности условий эксплуатации следующим образом

$$E_y = E_{L1} x_1 + E_{L2} x_2 + \dots + E_{LK} x_K \quad (2)$$

Типовой годовой набор работ

$$X_A = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}, \quad (3)$$

где x_i — годовой объем работ i -х условиях эксплуатации (или по i -й технологии), например, число тонно-километров для автомобиля, трактора при выполнении транспортных опе-

раций или число обработанных гектаров для комбайна, трактора при выполнении почвообрабатывающих операций.

Затраты на выполнение единицы работы в k -х условиях

$$E_{Li} = Q_{1i} + Z_{1i} + S_h / W_i, \quad (4)$$

где Q_{1k} и Z_{1k} — затраты на топливо и оператора при выполнении единицы работы в k -х условиях эксплуатации; W_k — производительность (часовой объем работ).

Стоимость одного часа работы машины

$$S_h = (C_0 + C_{12}) / T, \quad (5)$$

где C_0 — цена с учетом возможного увеличения при различных путях приобретения машины (кредит и т.п.); C_{12} — стоимость эксплуатации и утилизации; T — прогнозируемый ресурс машины (случайная величина) в условиях выполняемого набора K работ, выраженный в часах работы.

В приведенных соотношениях случайными являются производительность, которая представляет собой функцию скоростного режима и загрузки машины, расход топлива, ресурс. Кроме того, годовые объемы работ также зависят от относительной продолжительности эксплуатации машины в типовых для нее условиях эксплуатации. Каждая машина имеет собственный спектр продолжительностей, а по множеству машин этот спектр носит случайный характер.

Структура и связи основных факторов, определяющих качество и конкурентоспособность мобильной машины, показаны на рисунке 1.

Общая процедура оценки показателей качества и конкурентоспособности. Для реализации общей процедуры предлагается подход, основанный на развитии вероятностных моделей расчета показателей надежности и заключающийся в имитационном статистическом моделировании рабочего процесса мобильной машины с последующим согласованным расчетом параметров ресурсных и функциональных свойств.

Принимается или задается определенный стиль работы водителя. Выполняется случайный выбор спектра условий эксплуатации машины и в выбранных условиях воспроизводится режим работы машины для получения загрузки двигателя, скоростных показателей движения, расхода топлива. Также случайным образом воспроизводится несущая способность основных ресурсопределяющих элементов машины.

Несущая способность и ресурс отдельных элементов моделируются (как случайные величины) в каждом цикле статистического моделирования. Затем вычисля-



Рисунок 1 — Структура основных факторов, определяющих качество и конкурентоспособность мобильной машины

ется ресурс машины. При этом учитывается логическая схема предельных состояний для деталей, узлов, агрегатов и машины в целом. Параметры, описывающие функциональные свойства (скорость и расход топлива) для отдельных условий эксплуатации могут варьироваться в зависимости от загрузки машины.

В конце каждого моделирующего цикла величины ресурса, скорости и расхода топлива рассчитываются для случайного набора условий эксплуатации, относящегося к отдельной машине. Также вычисляются значения определяемых показателей качества и конкурентоспособности.

Вероятностная модель спектра условий эксплуатации. Нагрузочные режимы неодинаковы для разных элементов машины. Но все нагрузочные режимы определяются условиями эксплуатации. Условия эксплуатации являются общим организующим фактором для нагрузочных режимов отдельных элементов машины. Вследствие этого нагрузочные режимы элементов являются зависимыми.

Условия эксплуатации описываются вероятностным образом в форме относительных продолжительностей принятых типовых условий эксплуатации (или типовых технологий применения мобильной машины) (рисунок 2).

Относительные продолжительности α_k условий эксплуатации отдельной машины в сумме должны давать единицу. Однако при случайном выборе это условие не выполняется. Поэтому выбранные значения корректируются путем нормирования, чтобы обеспечить условие $\sum \alpha_k = 1$.

Такие действия выполняются в каждом цикле испытаний, что приводит к изменению статистических характеристик случайной величины α_k по сравнению с изначально принятыми. Для обеспечения близости параметров распределений скорректированных α_k к их заданным значениям предварительно (до начала основного цикла статистического моделирования) проводится многошаговая оптимизационная процедура [18, 16]. Полученные оптимизированные значения распределений (среднее значение и среднее квадратическое отклонение) используются в основной процедуре моделирования.

Реализация общей процедуры. Разработанный подход предполагает использование имитационных моделей, основанных на методе статистических испытаний

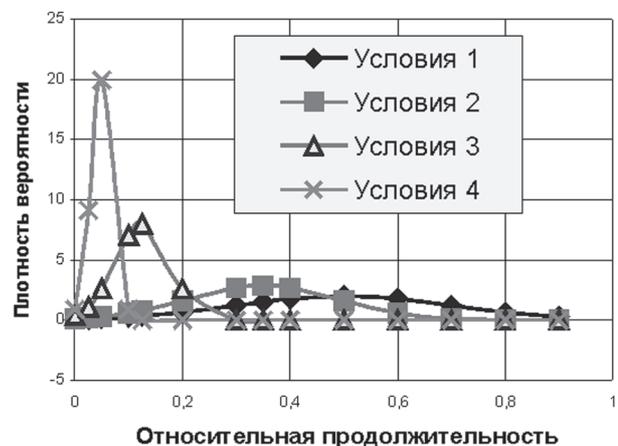


Рисунок 2 — Вероятностное представление спектра условий эксплуатации

с воспроизведением факторов, приводящих к зависимостям при проявлении взаимосвязанных ресурсно-функциональных свойств мобильной машины.

Реализация такого подхода требует многократного (десятки тысяч раз) воспроизведения рабочего процесса машины и в целом ее жизненного цикла. При этом многие случаи будут иметь близкие результаты, а сами реализации процессов потребуют больших затрат по времени вычислений.

В этой связи для реализации общей процедуры предлагается подход, основанный на имитационном моделировании и заключающийся в развитии вероятностных моделей для расчета показателей надежности при виртуальном проектировании.

Одним из принципиальных положений описанного подхода является предварительное формирование ресурсно-прочностных кривых (РПК) (рисунок 3).

Как развитие вероятностной методологии ресурсно-функционального расчета по аналогии с РПК предлагается предварительно формировать *нагрузочно-скоростные кривые* (НСК) и *нагрузочно-топливные кривые* (НТК).

НСК представляет собой зависимость средней скорости мобильной от загрузки в определенных условиях эксплуатации (рисунок 4). НТК — это зависимость расхода топлива от загрузки в определенных условиях эксплуатации (рисунок 5). Здесь V — скорость в относительных единицах (по отношению к максимальной по технической характеристике автомобиля); Q — расход топлива в определенных усло-

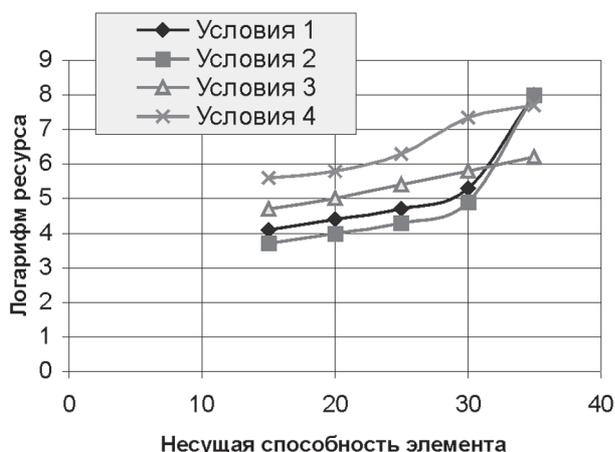


Рисунок 3 — Ресурсно-прочностные кривые элемента

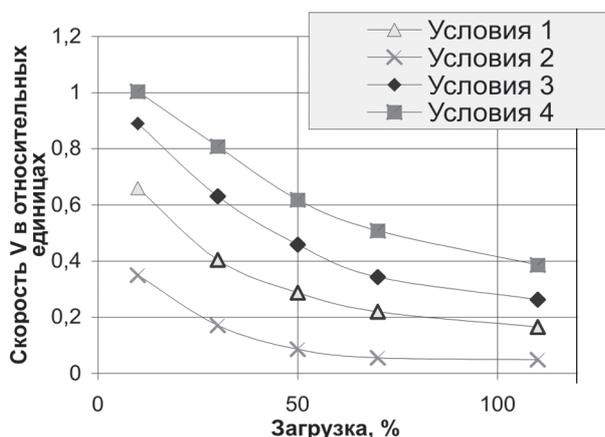


Рисунок 4 — Нагрузочно-скоростные кривые

виях эксплуатации. Понятие загрузки зависит от типа мобильной машины: для автомобиля это масса перевозимого груза; для трактора — тяговое усилие на крюке в зависимости от агрегируемой сельхозмашины и условий работы и т.п.

Таким образом, реализация расчета показателей качества и конкурентоспособности мобильных машин включает: 1) статистическое моделирование их спектров условий эксплуатации, несущей способности и загрузки; 2) обращение к РПК, НСК и НТК, нахождение по этим кривым согласованных значений ресурса, скорости, расхода топлива; 3) расчет по ним с учетом α_k значений ресурса, производительности и расхода топлива для жизненного цикла машины; 4) расчет с привлечением данных по цене и эксплуатационным затратам показателей качества и конкурентоспособности.

Построение РПК, НСК и НТК выполняется на предварительном этапе и может осуществляться различными методами, в зависимости от объема и качества исходных данных для решения задач оценки тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и ресурса (расчетными, экспертными, экспериментальными).

Построение ресурсно-прочностных кривых на концептуальной стадии. Определенную проблему может составить построение РПК на концептуальной стадии проектирования машины, когда нет подробных сведений о параметрах конструкции и данных о несущей способности ее элементов, которые становятся доступными на более поздних стадиях проектирования. Кроме того, все чаще возникает ситуация, когда конечные производители мобильной техники, исходя из экономической целесообразности, используют компоненты не собственного производства, а продукцию мировых специализированных изготовителей узлов.

В этой связи предлагается следующий подход. Исходными данными в части ресурса проектируемых узлов принимаются гамма-процентные значения ресурсов (или сроков службы) в определенном спектре условий эксплуатации машины и соответственно узла. Например, в СССР действовали нормативные документы, в которых были установлены 80-процентные ресурсы всех основных узлов тракторной техники.

Следует отметить, что достижение значений ресурсов при проектировании узла принципиально воз-

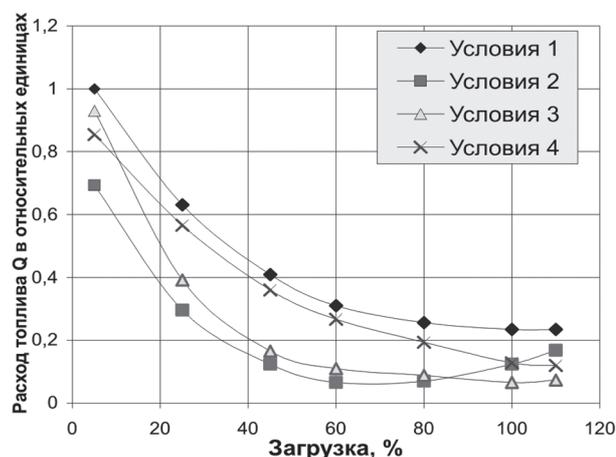


Рисунок 5 — Нагрузочно-топливные кривые

можно, но главным критерием при этом выступает экономическая целесообразность. Производитель принимает определенные значения ресурсов узлов и агрегатов, которые он намерен обеспечить. Тогда эти данные могут быть использованы для построения РПК объектов.

Первой задачей является «распределение» общего гамма-процентного ресурса, который соответствует всем условиям эксплуатации на частные ресурсы узла в определенных условиях (или технологиях) выполняемых работ. При этом используется соотношение

$$\frac{1}{L_a} = \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_k}{L_{ak}}, \quad (6)$$

где принятыми или заданными являются общий ресурс L_a и средние значения относительных продолжительностей α_k .

Искомые частные ресурсы L_{ak} находятся в определенных соотношениях, которые в первом приближении могут быть установлены из рассмотрения мер повреждения узла и условия, что ресурс L_{ak} и мера повреждения в определенных условиях Q_{ak} находятся в обратной зависимости.

Определение мер повреждения проиллюстрируем на примере узлов трансмиссии [19]. При этом ключевым моментом является нахождение параметров нагрузочного режима.

Мера повреждения вычисляется по выражению

$$Q = \sum_{i=1}^{N_G} M_{pi}^m N_i K_{pi} \xi_i, \quad (7)$$

где M_{pi} — расчетный момент на рассматриваемом режиме; m — показатель кривой усталости для преобладающих процессов повреждения; N_i — число циклов нагружения на рассматриваемом пробеге; за рассматриваемый пробег может быть принят определенный базовый пробег (пробег до капитального ремонта) либо единичный пробег (например, 1 км; 1 тыс. км или 1 млн. км); K_{pi} — коэффициент пробега, используемый для приведения процессов нагружения к расчетной нагрузке за счет корректировки числа циклов нагружения, то есть замены их действительного числа N_i на эквивалентное, равное $N_i K_{pi}$; ξ_i — относительный пробег в условиях рассматриваемого i -го режима нагружения; N_G — число рассматриваемых режимов (например, число передач или число интервалов, на которые разбивается скоростной диапазон передачи).

Определив по формуле (7) с привлечением процедуры расчета нагрузочного режима значения Q_{ak} , можно найти соотношения между L_{ak} и затем из соотношения (6) их искомые значения. Этим завершается решение первой задачи.

Вторая задача — определение значений РПК для различных характеристик несущей способности узла. Предварительно следует определиться с выбором характеристики несущей способности узла. В качестве такой характеристики может быть выбран силовой фактор, обобщенно характеризующий несущую способность, например, момент на входе в узел, который может выдержан в течение определенного числа циклов нагружения. Может быть также использована характеристика какого-либо лимитирующего элемента, например, значение динамической грузоподъемности подшипни-

ка сателлита (для планетарного редуктора) и т.п. Затем оценивается и устанавливается конкретное значение параметра несущей способности σ_{ra} , которое соответствует L_{ak} для каждой кривой. Пара $\{\sigma_{ra}, L_{ak}\}$ играет роль опорной точки при последующем построении ресурсно-прочностной кривой узла.

Промежуточные значения несущей способности РПК определяются по формуле

$$L_i = L_a \frac{\sigma_{ra}^m}{\sigma_{ri}^m}. \quad (8)$$

Такой подход соответствует точному аналитическому описанию РПК для узлов типа подшипников, приведенному в работе [20]. Для более сложных узлов он носит приближенный характер, но вполне пригоден на концептуальной стадии проектирования. При необходимости полученные РПК могут быть скорректированы исходя из анализа особенностей узла и экспертных оценок.

При наличии в составе машины узлов сторонних производителей опорные значения для определения их ресурсов могут быть получены на основе расчета меры повреждения по методике, представленной в работе [19].

Особенности реализации процедуры статистического моделирования в части ресурсных свойств мобильной машины на концептуальной стадии. На концептуальной стадии целесообразно использовать представление машины в виде определяющих ее ресурс *основных частей*. В частности, Инструкция [21] определяет основные части образца автомобильной техники для автомобилей в виде следующих объектов: двигатель, коробка передач, раздаточная коробка, передний ведущий мост, средний и задний мосты, гидромеханическая передача, рама, кабина, кузов легкового автомобиля и автобуса. В работе [22] проведена классификация основных частей машины на 5 групп по сходным процессам нагружения и расхода ресурса.

Можно полагать, что наиболее тесные связи по процессам исчерпания ресурса имеют трансмиссионные узлы. Поэтому для них целесообразно в первую очередь строить РПК и моделировать их ресурс согласованным образом, воспроизводя распределение их характеристик несущей способности. Характерное распределение показано на рисунке 6.

Во многих случаях для таких основных частей как кузов и кабина при статистическом моделировании воз-

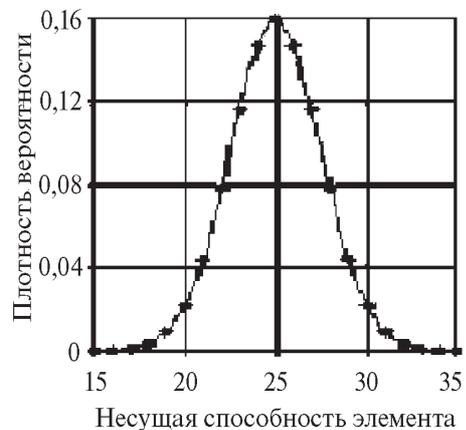


Рисунок 6 — Характерное распределение несущей способности элемента

можно непосредственное воспроизведение их ресурсов как случайных величин, подчиненных определенному закону распределения. При этом может быть использован генератор для несущей способности и формула (8), в которой принимаются постоянными, например, единичными, значения L_a , σ_a и m . Тогда величина на выходе $L_{ai} = \sigma_{ri}$. Задавая параметры распределения ресурса для σ_{ri} , можно получать необходимые значения L_{ai} . Таким образом, используя модель, основанную на формуле (8), в зависимости от задаваемых параметров можно: 1) генерировать несущую способность элемента и затем по ней с использованием РПК получать его ресурс; 2) непосредственно генерировать ресурс.

Характеристики рассеяния несущей способности машиностроительных компонентов, хотя и в ограниченном виде, но все же имеются в научно-технической литературе. Также могут быть использованы данные по рассеянию ресурса узлов из справочной и специальной литературы. При их отсутствии следует использовать экспертные и априорные оценки коэффициентов вариации указанных параметров.

Определение нагрузочного режима мобильной машины для типовых условий эксплуатации и принятого стиля работы оператора. Для определения параметров нагрузочного режима рекомендуется расчетно-статистический метод и базирующаяся на нем методика, описанная в работах [11, 23].

Методика позволяет проводить расчет нагрузочного режима мобильной машины и ее трансмиссии для типовых условий эксплуатации. Она основана на построении распределений скоростей машины в заданных условиях эксплуатации, двухмассовой модели машины, коэффициенте использования свободной тяги. Введено понятие стиля вождения, с точки зрения использования свободной тяги. Проведена классификация стилей по степени реализации свободной тяги, выделены «спокойный», «активный» и «спортивный» стили вождения, показана существенная связь стиля вождения с ресурсом трансмиссионных элементов автомобиля.

Методика включает также построение выходной характеристики силовой установки. Для силовых установок, содержащих двигатель внутреннего сгорания и механическую либо гидромеханическую трансмиссию, данная задача имеет известное решение; для автомобилей с гибридными силовыми установками могут быть использованы результаты работы [24].

Расчет трансмиссионной системы. Обычно двигатель и движитель выбираются заранее в рамках принятой концепции мобильной машины. В отдельных случаях прорабатываются различные варианты их исполнения или выбора. Можно полагать, что в рамках рассматриваемого концептуального подхода характеристики источника энергии (или источников, например, для машин с гибридными силовыми установками) и движителя известны. Основным вопросом является выбор трансмиссионной системы. При этом решаются задачи обоснования типа привода, схемы коробки передач, выбора ряда передаточных чисел и другие, которые существенно определяют распределение пробега на передачах, тягово-скоростные режимы, расход топлива и ресурс.

Для решения этих задач разработан и совершенствуется программно-методический комплекс расчетов трансмиссии [25].

Система расчетов включает решение задач визуального синтеза и оптимизации структурно-параметрической схемы трансмиссии, расчета нагрузочных режимов, оценки надежности и долговечности ее деталей и узлов на основе оригинальной методики определения спектра режимов нагружения с учетом вероятностных моделей вариации условий эксплуатации, распределения пробегов на режимах, характера действий водителя.

Пример структурно-схемного анализа трансмиссии с тремя степенями свободы. Наиболее сложным узлом трансмиссии является коробка передач. При числе ступеней 5 и выше коробки передач с тремя степенями свободы находят широкое применение в автоматических трансмиссиях. Одним из важных свойств для трансмиссий с тремя степенями свободы является порядок переключения элементов управления на передачах. Оптимальным считается случай, когда переключение производится выключением одного элемента и включением также одного элемента управления. Примером такой трансмиссии является известная схема WT. Она реализована на базе двухконтурной структуры (рисунок 7). Схема применяется в трансмиссиях Allison. Для семейства перспективных гидромеханических передач МЗКТ также выбрана данная схема [26].

Недостаток структуры и соответственно схемы — наличие циркуляции мощности на повышающей передаче. Это следствие того, что один и тот же элемент управления 62 (см. рисунок 7 з) используется на передаче переднего хода и заднем ходе.

Для проведения количественного анализа и демонстрации расчетных возможностей разработанного программного обеспечения представлен визуальный синтез схемы и расчет по ней коробки передач с кинематическими параметрами, принятыми на МЗКТ. Синтезированное решение в пакете «Kinematic» [27] имеет вид, представленный на рисунке 8.

На рисунке 9 представлены результаты сформированного автоматически набора данных по структуре рассматриваемого механизма и подробные данные скоростного и силового расчета, включая расчетные параметры для каждого элемента.

Результаты расчета подтверждают выводы предварительного структурно-схемного анализа. Вследствие циркуляции мощности на первой повышающей передаче муфта передает крутящий момент 1,15 (в относительных единицах). Однако эта перегрузка невелика и не ведет к снижению КПД на данной передаче. Следует отметить также достаточно высокий уровень нагрузки фрикциона заднего хода, передаваемый им момент в относительных единицах составляет 7,31.

Особенностью пакета «Kinematic» является автоматизированное формирование образа схемы с помощью достаточно универсального набора типовых трансмиссионных элементов. При этом формирование структурных данных о механизме происходит без участия пользователя. От него не требуется практически никакой подготовки в области расчета трансмиссионных систем.

Пакет включает модули: кинематический чертежник (визуальное проектирование схем), кинематический расчетчик, кинематический оптимизатор. Последний модуль предназначен для оптимизации параметров кинематики.

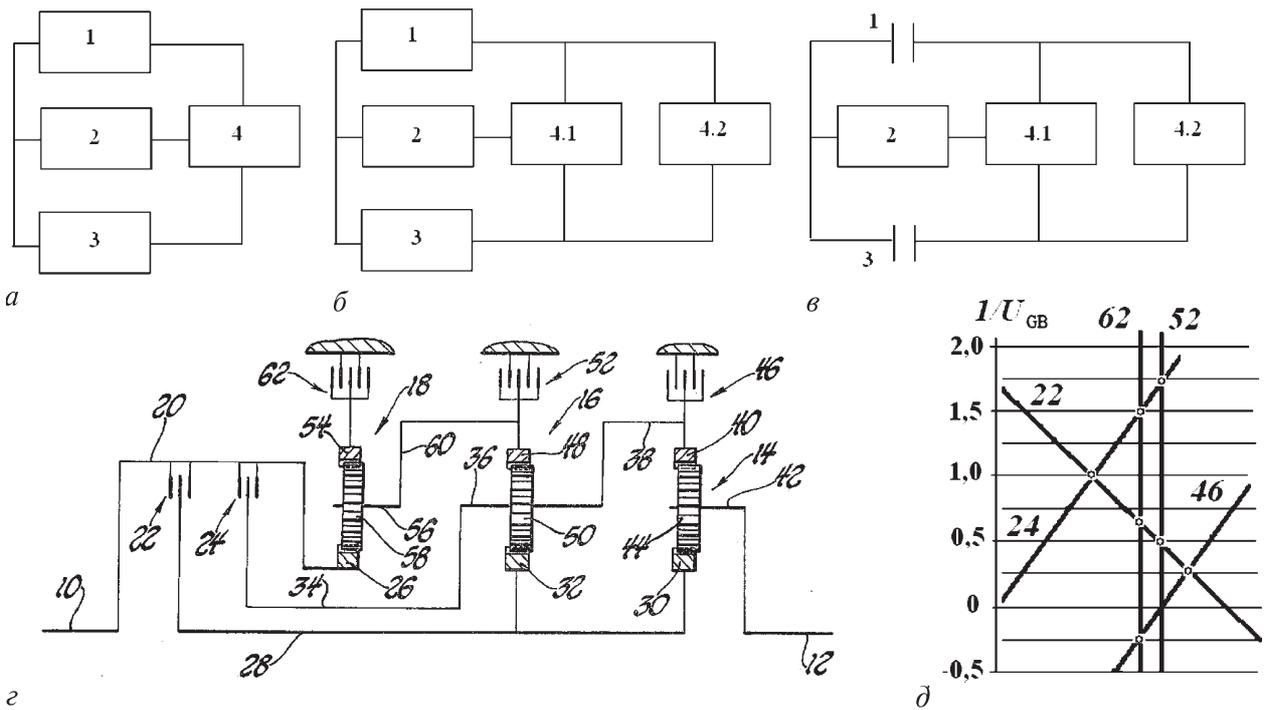


Рисунок 7 — Структурно-схемные особенности коробок передач на базе двухконтурной структуры: а — двухконтурная обобщенная структура; б — детализированная структура; в — представление простейших механизмов в виде муфт; г — кинематическая схема WT, представленная в патенте US 4070927 (Jun. 31, 1978); д — основа плана скоростей ($1/U_{GB}$ — шкала обратных значений передаточных чисел)

матических схем (подбор чисел зубьев зубчатых колес и т.д.) с использованием генетических алгоритмов.

В тех случаях, когда возможностей по визуальному построению схемы в упомянутом пакете оказывается недостаточно, например, при наличии нестандартных трансмиссионных элементов, может быть использован еще один разработанный пакет скоростного и силового расчета трансмиссии «Visual Statics» [28]. В нем для описания структуры механизма необходимо участие пользователя в виде ответов на последовательно задаваемые вопросы о структуре механизма. При этом все ограничения по структуре, конфигурации, типам элементов трансмиссии снимаются. Расчетная часть для определения параметров скоростного и силового расчета у обоих пакетов одинакова.

Помимо подробного расчета скоростей и моментов звеньев на каждой передаче трансмиссии (с уче-

том и без учета КПД) пакет «Visual Statics» воспринимает любое исходное изображение механизма (от наброска до чертежа), представленное в одном из распространенных графических форматов; использует универсальное семантическое описание кинематической схемы; работает с готовыми файлами входных и выходных данных; визуализирует данные результата расчета для более легкого восприятия; автоматически формирует отчеты по результатам расчета в формате MS Word и MS Excel.

Вид основных форм пакета представлен на рисунке 10.

Заключение. Представленный подход к оценке качества и конкурентоспособности технических объектов на их концептуальной стадии проектирования является обобщением и развитием предшествующих работ авторов в области ресурсно-функциональных расчетов мобильной машины и ее трансмиссии. Он определяет основные критерии, базовые процедуры, методы и программные средства для проведения научно-обоснованной оценки проектируемых объектов. Реализован согласованный учет основных свойств машины, которые обусловлены ее конструктивными параметрами и по-разному проявляются в конкретной эксплуатационной среде и действиях оператора.

Введены методически новые элементы: нагрузочно-скоростные и нагрузочно-топливные кривые, — которые позволяют, наряду с ресурсно-прочностными кривыми, практически осуществить основанную на статистическом моделировании процедуру расчета показателей качества и конкурентоспособности мобильной машины. Описана методика построения ресурсно-прочностных кривых для основных частей машины в условиях недостатка исходной информации на концептуальной стадии проектирования.

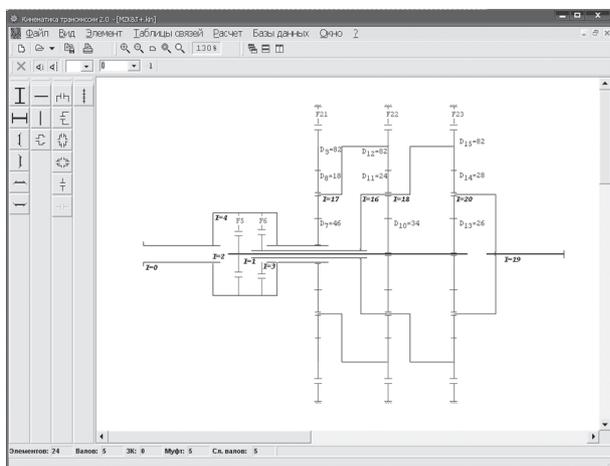


Рисунок 8 — Представление перспективной коробки передач МЗКТ в пакете «Kinematic»

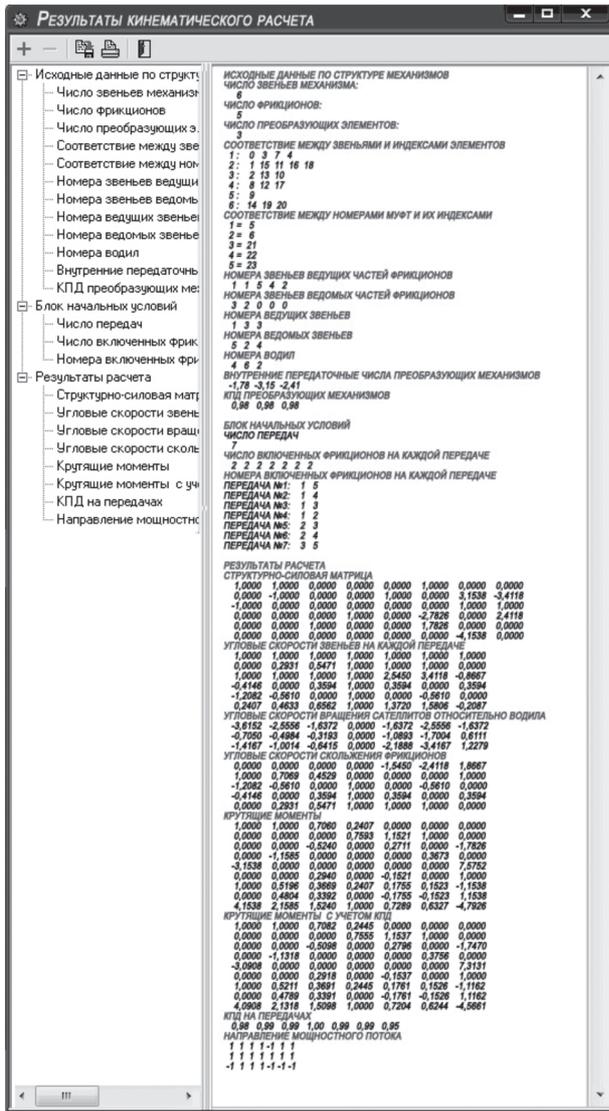


Рисунок 9 — Полный перечень результатов скоростного и силового расчета

Дальнейшим этапом работы является разработка развитого программно-методического комплекса, воспроизводящего в полном объеме представленный подход для мобильных машин, оборудованных двигателями внутреннего сгорания с механическими и гидромеханическими трансмиссиями, а также гибридными силовыми установками.

Список литературы

1. Фасхиев, Х.А. Оценка качества и конкурентоспособности автомобилей / Х.А. Фасхиев, А.В. Крахмалева // Вестн. машиностроения. — 2008. — № 7. — С. 78—85.
2. Фатхутдинов, Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление / Р.А. Фатхутдинов. — М.: ИНФРА-М, 2000. — 312 с.
3. Чайникова, Л.Н. Конкурентоспособность предприятия: учеб. пособие / Л.Н. Чайникова, В.Н. Чайников. — Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2007. — 192 с.
4. Лифиц, И.М. Формирование и оценка конкурентоспособности товара и услуг / И.М. Лифиц. — М.: Юрайт-Издат, 2004. — 335 с.
5. Фасхиев, Х.А. Оценка качества и конкурентоспособности комплектующих и запасных частей автомобилей / Х.А. Фасхиев, А.В. Крахмалева, А.Г. Гарифов // Вестн. машиностроения. — 2007. — № 7. — С. 65—79.



Рисунок 10 — Вид основных форм пакета Visual Statics

6. Фасхиев, Х.А. «Ворота конкурентоспособности» — новый аспект проектирования АТС / Х.А. Фасхиев // Автомобил. пром-сть. — 2008. — № 12. — С. 1—6.
7. Фасхиев, Х.А. Динамический метод оценки экономической эффективности грузовых автомобилей / Х.А. Фасхиев, А.В. Крахмалева // Вестн. машиностроения. — 2009. — № 2. — С. 76—81.
8. Прокопенко, В.А. Рекомендации по оценке показателей экономической эффективности сельскохозяйственных машин и технологий / В.А. Прокопенко // Агро-информ. — 1999. — № 6 (апрель). — С. 17—18.
9. Пронин, В.М. Технико-экономическая оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий по критерию часовых эксплуатационных затрат / В.М. Пронин, В.А. Прокопенко. — М.: Столичная типография, 2008. — 162 с.
10. Commodity Costs and Returns Estimation Handbook = Руководство по оценкам товарных финансовых вложений и их возвратам. A Report of the AAEA Task Force on Commodity Costs and Returns. — 2000. — February 1.
11. Альгин, В.Б. Определение нагрузочных режимов автомобиля и ресурса его агрегатов с учетом стиля вождения и дорожных условий / В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий // Механика машин, механизмов и материалов. — 2010. — № 1(10). — С. 6—11.
12. Algin, V.B. Lifetime-and-Operation Mechanics as a Basis for Design, Prediction and Estimation of Machine Properties / V.B. Algin // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретич. и прикладной механике. — Минск: Технопринт, 2001. — С. 18—22.
13. Альгин, В.Б. Методология ресурсно-функционального вероятностного расчета, проектирования и оценки мобильной техники / В.Б. Альгин // Механика машин на пороге III тысячелетия: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 23—24 нояб. 2000 г. — Минск: Белавтотракторостроение, 2001. — С. 292—306.
14. Альгин, В.Б. Расчет и оценка машины как ресурсно-функциональной системы / В.Б. Альгин // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: сб. науч. тр. Вып. 1: в 3 т. / под общей ред. П.А. Витязя. — Минск: Технопринт, 2002. — Т. 1. — С. 85—88.
15. Альгин, В.Б. Проектирование оптимальных машин и проблема ресурса / В.Б. Альгин // Современные методы проектирования машин: респ. междувед. сб. науч. тр. Вып. 2: в 7 т. / под общ. ред. П.А. Витязя. — Минск: Технопринт, 2004. — Т. 1. Перспективные направления создания машин. — С. 93—100.
16. Альгин, В.Б. Проектирование как оптимизация ресурсно-функциональных свойств машин в свете CALS / В.Б. Альгин // Механика машин. Теория и практика: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10—11 февр. 2003 г. — Минск: Белавтотракторостроение, 2004. — С. 209—222.
17. Альгин, В.Б. Оценка и обеспечение конкурентоспособности автотранспортных средств в части ресурсно-функциональных свойств / В.Б. Альгин // Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств: сб. науч. тр. — Минск: Белавтотракторостроение, 2004. — С. 92—109.
18. Альгин, В.Б. Вероятностная модель спектра условий эксплуатации мобильной техники / В.Б. Альгин, И.Г. Богдановский // Вестн. Могилевского гос. технич. ун-та. — 2001. — № 1. — С. 14—17.

19. Альгин, В.Б. Сравнительная оценка ресурса узлов мобильной машины на основе нагрузочных режимов и мер повреждения в характерных точках ее механической системы / В.Б. Альгин, В.М. Сорочан // Механика машин, механизмов и материалов. — 2010. — № 3(12). — С. 6—22.
20. Альгин, В.Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин. — Минск: Наука и техника, 1995. — 256 с.
21. Об утверждении инструкции о порядке определения расхода ресурса автомобильной техники, закрепленной за Министерством обороны Республики Беларусь на праве оперативного управления: приказ Мин-ва обороны Респ. Беларусь, 27 нояб. 2007 г., № 57 // Режим доступа: <http://www.lawbelarus.com/repub2008/sub04/text04357/index.htm>. — Дата доступа: 13.07.2011
22. Альгин, В.Б. Расход ресурса автомобиля. Ч. 2: Модели расхода ресурса основных частей / В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий, А.В. Коваленко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2009. — № 3 (8). — С. 5—10.
23. Альгин, В.Б. Расчет мобильной техники в варьируемой эксплуатационной среде / В.Б. Альгин // Механика машин, механизмов и материалов. — 2009. — № 1 (6). — С. 7—15.
24. Пирч, А.И. Определение выходной характеристики гибридной силовой установки автомобиля / А.И. Пирч, В.Б. Альгин, А.К. Саболевский // Механика машин, механизмов и материалов. — 2008. — № 3 (4). — С. 14—18.
25. Программно-методический комплекс по расчету и проектированию трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин [и др.] // Механика — машиностроению: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Инновации в машиностроении» и VI Междунар. симпоз. по трибофатике МСТФ 2010, ОИМ НАН Беларуси, Минск, 26—29 окт. 2010 г. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. — Минск, 2010. — С. 170—175.
26. Унифицированная гидравлическая система автоматического управления и жизнеобеспечения семейства перспективных гидромеханических передач МЗКТ / Ю.И. Николаев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 2(15). — С. 33—38.
27. Kinematic 3.0: комп. программа: а.с. 271 Респ. Беларусь / В.Б. Альгин, С.В. Ломоносов, В.М. Сорочан; правообладатель ОИМ НАН Беларуси. — № С20100148; заявл. 16.12.10; опубл. 27.12.10 // Реестр зарегистрир. компьютерных программ / Нац. центр интеллектуал. собственности. — 2010.
28. Скоростной и силовой расчет трансмиссии: комп. программа: а.с. 105 Респ. Беларусь / В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий, Е.Н. Пянко; правообладатель ОИМ НАН Беларуси. — № С20090047; заявл. 24.08.09; опубл. 24.09.09 // Реестр зарегистрир. компьютерных программ / Нац. центр интеллектуал. собственности. — 2009.

Algin V.B., Sarachan U.M.

Complex Estimation of a Mobile Machine and its Transmission in the Conceptual Design Stage

The problem of an estimation of the basic lifetime-and-functional properties of the mobile machine in the early (conceptual) design stage, which causes its competitiveness in many respects, is considered. A key element of the offered approach is the co-ordinated estimation of high-speed properties, the fuel consumption and life expense as a basis for calculation of competitiveness indicator, in a complex reflecting the basic properties of the mobile machine, taking into account costs of its acquisition and maintenance. In many respects specified estimation is connected with properties of transmission: power train type, the gearbox scheme, a set of gear ratios. The structure of procedures for carrying out necessary calculations in a design stage, when the concept of the mobile machine and its transmission is known or estimated, is described. The example of complete power and kinematic calculation of planetary transmissions and the analysis, which is typical for a conceptual design stage of the mobile machine, is presented.

Поступила в редакцию 16.05.2011.