УДК 625.08

БЫСТРОСЪЕМНОСТЬ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Н.С. Севрюгина, профессор, к.т.н., Е.В. Прохорова, магистр,
Белгородский государственный технический университет имени В.Г. Шухова, Россия

Аннотация. *Рассмотрена приспособленность конструкции транспортных средств к обслуживанию и ремонту. Дана оценка показателя быстросъемности основных узлов и агрегатов на соответствие конструкции антропометрическим характеристикам человека. Предложен коэффициент, корректирующий трудоемкость выполнения сервисных работ, комплексно учитывающий показатели эргономических свойств точек технологического воздействия.*

Ключевые слова: *транспортное средство, ремонтопригодность, технологичность, быстросъемность, трудоемкость, зона доступа, антропометрическая характеристика, эффективность.*

ШВИДКОЗНІМНІСТЬ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ ТА РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Н.С. Севрюгіна, професор, к.т.н., Є.В. Прохорова, магістр,
Бєлгородський державний технічний університет імені В.Г. Шухова, Росія

Анотація. *Розглянуто пристосованість конструкції транспортних засобів до обслуговування і ремонту. Дано оцінку показника швидкознімності основних вузлів і агрегатів на відповідність конструкції антропометричним характеристикам людини. Запропоновано коригувальний коефіцієнт трудомісткості виконання сервісних робіт, що комплексно враховує показники ергономічних властивостей точок технологічного впливу.*

Ключові слова: *транспортний засіб, ремонтопридатність, технологічність, швидкознімність, трудомісткість, зона доступу, антропометрична характеристика, ефективність.*

ESTIMATION OF MAINTAINABILITY OF VEHICLES IN TERMS OF REMOVABILITY OF THEIR BASIC UNITS AND SETS

N. Sevrugina, Professor, Candidate of Engineering Sciences, E. Prokhorova, master,
Belgorod State Technical University, Russia

Abstract. *Maintainability and reparability of vehicle design has been considered. The removability of basic units and aggregates in terms of their design correspondence to human anthropometric characteristics has been assessed. A coefficient correcting the service labour-intensity and including ergonomic indicators of technological impact points has been proposed.*

Key words: *vehicle, maintainability, manufacturability, removability, labour-intensity, access area, anthropometric characteristics, efficiency.*

Введение

Решение социальных проблем современного общества основывается на развитии и продвижении технических средств, конструкции которых все более и более усложняются. При этом невозможно представить функционирование основных отраслей без соответствующих им технических средств сопровождения, в частности сферу обслуживания – без авто-

мобильного транспорта, строительство – без самоходной техники и специального оборудования.

Цель и постановка задачи

Цель работы: провести исследование технологичности конструкций транспортных средств по ремонтопригодности основных узлов и агрегатов и их быстросъемности.

Для достижения поставленной цели следовало решить следующие задачи:
– рассмотреть приспособленность конструкции транспортных средств к обслуживанию и ремонту;
– выполнить оценку быстросъемности основных узлов и агрегатов на соответствие конструкции антропометрическим характеристикам человека;
– дать оценку показателя эргономических свойств точек технологического воздействия как корректирующего коэффициента трудоемкости выполнения сервисных работ.

Анализ публикаций

Анализ различных литературных источников показывает достаточно глубокую теоретическую и практическую проработку вопросов эффективного использования строительных, дорожных машин и автомобильного транспорта. Предлагаются различные методики продления ресурса, обеспечения работоспособности техники, интенсификации производственных процессов. Производители определяют нормативные требования периодичности по видам работ обслуживания и порядку проведения ремонтных воздействий на выпускаемых ими машинах, что позволяет поддерживать технику в работоспособном состоянии в рамках заложенных ресурсных показателей.

Организационно-техническая сфера обеспечения работоспособности транспортных средств

Сфера эксплуатации строительных, дорожных машин и автомобильного транспорта может быть представлена в виде:

– технической службы, позволяющей поддерживать наделенные машине заводом-изготовителем свойства работоспособности;
– производственной службы, реализующей фактические свойства машины при выполнении функционального назначения.

В организационном плане службы технической и производственной эксплуатации включают в себя различные структурные элементы, позволяющие наиболее эффективно решать только им свойственные целевые задачи.

Эффективность сферы производственной эксплуатации обеспечивается свойствами машины, заложенными при проектировании, реализуемыми при изготовлении и проявляющимися в период ее эксплуатации.

Расширение номенклатуры транспортных и технологических машин повышает ответственность производителей за организацию технического обслуживания, и сервиса выпускаемой ими техники, что, в свою очередь, обеспечивает высокий уровень стабильности работоспособности и эффективности использования машин на протяжении всего срока эксплуатации.

Следует отметить, что для поддержания работоспособного состояния транспортных средств требуется создание современной инфраструктуры сервисного сопровождения, которая, с экономической точки зрения, является крайне затратной.

В настоящее время расчет производственной программы и трудоемкости оказываемых услуг базируется на нормативном показателе трудоемкости и пяти основных корректирующих коэффициентах. В классическом виде эти расчеты выполняются по следующим формулам [4]:

$$\left.\begin{aligned} t_{\text{ЕО}} &= t_{\text{ЕО}}^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \\ t_1 &= t_1^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \\ t_2 &= t_2^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \\ t_{\text{ТР}} &= t_{\text{ТР}}^{H} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \end{aligned}\right\}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ЕО}}^{H}$, t_1^{H}, t_2^{H} – трудоемкость соответственно ЕО, ТО-1, ТО-2 для эталонных условий, чел/ч; $t_{\text{ТР}}^{H}$ – трудоемкость ТР для эталонных условий, км; K_1 – коэффициент, учитывающий категорию условий эксплуатации;

K_2 – коэффициент, учитывающий модификации подвижного состава и условия его эксплуатации; K_3 – коэффициент, учитывающий климатические условия и агрессивность окружающей среды; K_4 – коэффициент, учитывающий пробег автомобиля от начала эксплуатации в долях от $L_{кр}$; K_5 – коэффициент, учитывающий число автомобилей в АТП и число технологически совместимых групп.

Нормативная (базовая) трудоемкость выполнения технологических операций при обслуживании и ремонте транспортных средств определяется по типовым картам, разрабатываемым производителем конкретной машины.

Дополнительно базовый показатель трудоемкости может быть изменен с учетом коэффициента, отражающего фактические условия работы: позу исполнителя, стесненность рабочей зоны, загрязненность объекта, препятствующую выполнению работы, освещенность рабочей зоны, температуру воздуха и другие факторы (рис. 1). Значение коэффициента определяется по специальной литературе, например, при выполнении ремонтных работ в полевых условиях корректирующий коэффициент составляет 1,5 при положительной температуре воздуха и 3–5 – при отрицательной [2, 4].

Рис. 1. Пример фактических условий работы исполнителя

Правомерно утверждение, что от точности корректирования величины базового показателя трудоемкости зависит не только экономическая эффективность услуг технического сервиса транспортных средств, но и качество выполненных работ, обеспечивающее гарантийные ресурсы.

Системный подход к проектированию новой техники по модульному принципу, модернизация уже находящейся в эксплуатации, унификация типовых конструктивных узлов, агрегатов и деталей позволит повысить их сервисную технологичность, снизив затраты на непроизводительные простои техники и трудоемкость технических воздействий.

Понятие «технологичность машин» – относительно и зависит от области проявления. Также следует отметить, что технологичность машины на различных этапах проявляется по-разному, например, в зависимости от типа эксплуатации.

Эксплуатационная технологичность конструкции машин может не совпадать на этапах технического обслуживания и ремонта. В свою очередь требования технологичности зависят от факторов, основным из которых являются конструктивная характеристика машины.

Терминологически сервисная технологичность может быть раскрыта как требование к оценке прогрессивности конструктивных решений техники при обеспечении минимальных затрат труда на ее техническое обслуживание и ремонт.

Технологичность конструкции транспортных средств по их ремонтопригодности

Транспортные и технологические машины являются сложными техническими системами, в которых сервисная технологичность может быть обеспечена при сокращении номенклатуры исходных компонентов, т.е. при их унификации, конструировании по модульному принципу.

При модульном проектировании машин за основу принимается система технических объектов, состоящая из ограниченного количества функциональных и конструктивных модулей, но способствующая расширению номенклатуры машин как по конструктивному, так и по технологическому признакам.

Анализ различных типов техники показывает, что машины одного типоразмерного ряда и одинаковых функциональных свойств имеют существенные конструктивные различия, что требует разработки различных технологических карт и приводит к несовместимости некоторых элементов.

Сущность модульного проектирования заключается в методологии проектирования технических объектов как сложных систем с формализованным поэлементным описанием

функциональных и метрологических свойств отдельных составляющих и системы в целом.

Необходимо отметить, что проектирование машины проводится из функционально независимых элементов.

Расчет и конструирование отдельных элементов может осуществляться независимо друг от друга с учетом сформулированных к каждому элементу системы функциональных и метрологических требований.

Анализируя иерархическую структуру модульного проектирования технологической системы строительного и дорожного назначения, предложенную Кириченко И.Г.[1], с позиций технического сервиса можно выделить:

уровень машин – многовариантность машин, различных по функциональному назначению.

уровень функциональных и конструктивных модулей – многовариантность машин, различных по конструктивному решению, способу агрегатирования и комплектования, формирующих уровень машин.

уровень деталей, сборочных единиц, узлов – многовариантность унифицированных деталей, сборочных единиц, узлов, формирующих уровень функциональных и конструктивных модулей.

Конечно, наиболее эффективное использование модульного подхода будет при реализации его принципов на стадии проектирования машины, но в настоящее время рынок перенасыщен транспортными средствами, снятыми с производства, а эксплуатирующие организации зачастую не имеют средств для покупки высокоэффективной, но крайне дорогой новой техники. Выход из сложившейся ситуации видится в разработке научно обоснованных рекомендаций по многоэтапной модернизации машин, находящихся в эксплуатации, с применением модульного подхода.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи [1]:
– выполнить анализ технического состояния техники с определением остаточного ресурса;
– разработать альтернативные подходы по модернизации машин, имеющих приемлемый остаточный ресурс несущих элементов, с заменой отработавших конструктивных элементов на унифицированные модульные блоки;
– разработать методики оценки технологической совместимости модульных блоков для различных конструктивных решений машин;
– провести оценку технических возможностей модернизированной машины с унифицированными модульными блоками.

Теоретические исследования эффективности модернизации машины в целом следует начинать с проработки иерархической структуры составляющих ее элементов.

Формирование комплекса унифицированных сборочных единиц или узлов требует предварительного анализа ремонтопригодности машины в целом.

В действующей нормативно-технической документации содержится комплекс оценочных показателей ремонтопригодности, позволяющий оценивать ремонтопригодность как агрегата/системы в целом, так и каждого из элементов, и являющийся общим для семейства изделий одного вида, что определяет возможность сопоставления оценок уровня ремонтопригодности этих изделий.

Предлагается показатель ремонтопригодности определять как универсальный комплексный показатель [3], который в равной степени может быть применим как для отдельной детали или сборочной единицы, так и для агрегата или машины в целом, т.е. к каждому элементу любого иерархического уровня конструкции.

Принятый модульный подход позволяет полагать, что эффективность ремонтного воздействия тем выше, чем лучше используются все элементы.

Выделяют несколько способов повышения ремонтной технологичности и срока службы сборочных единиц, среди которых наиболее эффективным является введение в конструкцию элементов-компенсаторов.

Эффект компенсации достигается за счет возможности легкого удаления и замены новыми деталями, т.е. при соответствующем уровне трудности разборки узла (легкосъемность деталей). На продолжительность и

трудоемкость разборки узлов влияют характер соединения деталей (разъемные и неразъемные) и виды посадок (посадки с зазором, посадки переходные и посадки с гарантированным натягом).

Классификация типичных соединений деталей дорожных машин по трудности разборки и значения коэффициента разборки соединений двух деталей представлены в табл. 1

Таблица 1 Классификация типичных соединений деталей машин по трудности разборки [4]

Тип соединения	Характеристика разъемности	Типовые соединения	Коэффициент трудности разборки, $K_{тр}$
Разъёмные	Легкоразъёмные	шлицевые; болтовые и винтовые; посадки с зазором гладких цилиндрических соединений	1– 1,5
	Средней трудности	шпоночные; переходные посадки гладких цилиндрических соединений	3 – 5
	Трудноразъёмные	посадки с гарантированным натягом гладких цилиндрических соединений	10– 40
Неразъёмные		сварные и заклепочные; соединение деталей пайкой, склеиванием, развальцовкой	–

Сборочные единицы, соединенные посадками с зазором, легко разъединяются на элементы, а соединенные посадками с гарантированным натягом технологически сложно разъединить; как правило, для этого требуются специальные приспособления, съемники, прессы, что, в свою очередь, увеличивает трудоемкость работ.

За базовый показатель трудности разборки приняты детали, имеющие шлицевые соединения, количественное выражение которого характеризуется коэффициентом разборки соединения двух деталей

$$\kappa_{тр} = \frac{T_{у}}{T_{шл}}, \qquad (2)$$

где $T_{у}$ и $T_{шл}$ – время разъединения деталей в данном узле и базовом шлицевом соединении соответственно.

В общем случае иерархическая структура машины позволяет провести вычисления коэффициента унификации конструктивных элементов

$$K_{у.э} = \frac{Q_{у.э}}{Q_{э}}, \qquad (3)$$

где $Q_{у.э}$ – число унифицированных типоразмеров конструктивных элементов; $Q_{э}$ – число типоразмеров конструктивных элементов.

Немаловажное значение в формировании унифицированных модульных блоков оказывает показатель сборности, количественное выражение которого представляет коэффициент сборности

$$K_{сб} = \frac{\text{Е}}{\text{Е+Д}}, \qquad (4)$$

где Е – число сборочных единиц в изделии; Д – число деталей, являющихся составными частями изделия.

По мнению многих исследователей, до 60 % неисправностей машины вызывает некачественная сборка ее элементов. Основными причинами погрешности являются нарушение при ориентации, неточности регулирования, образование задиров на сопрягаемых поверхностях и т.п. [4].

Эргономичность точек технологического воздействия

Общеизвестно, что физиологические показатели определяют соответствие элементов машины, на которые осуществляется технологическое воздействие, силовым, скоростным и энергетическим, зрительным, слуховым и другим возможностям механика-исполнителя.

Энергетический ресурс организма человека расходуется на поддержание своей физиологической активности и на производственную работу. Физиологическая активность требует затрат энергии на кровообращение, дыхание, поддержание тела в необходимом положении, восприятие внешнего мира. Перегрузка рабочего снижает производительность труда, повышает число ошибок и предрасположенность к заболеваниям (рис. 2).

Пространственная структура рабочего места определяется тремя основными составляющими: удобством положения исполнителя; элементами, обеспечивающими получение необходимой для работы информации (сенсорным полем); рабочим инструментом (моторным полем).

Экспериментально установлено, что уровень производительности исполнителя на 15 % зависит от расположения точек технологического воздействия выполняемых операций.

Рис. 2. Кривая доступа к объекту технического воздействия

Физиологическим показателем эргономических свойств выполнения технологических операций рабочего является коэффициент напряженности $k_{\text{н.т}}$, который определяется в результате исследований [2, 5]

$$k_{\text{н.т}} = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{н}}} = \frac{\sum_{i=0}^{n}\left(P_{\text{р.и}} l_{\text{з.д}} m\right)_i}{A_{\text{н}}}, \qquad (5)$$

где $A_{\text{ф}}$ – действительная работа за смену, Дж; $A_{\text{н}}$ – нормированная работа за смену, Дж; $P_{\text{р.и}}$ – усилие на рабочем инструменте, Н; $l_{\text{з.д}}$ – расстояние до зоны технологического воздействия, м; m – число выполнения технологических воздействий в смену; n – число точек технологического воздействия.

Степень обзорности фронта работы исполнителя в пределах пространственных зон машины (снаружи, внутри, сверху и снизу) оценивается коэффициентом обзорности в горизонтальной плоскости [2]

$$k_{\text{обз}} = \frac{F_{\text{пр.з.м}}}{(F_{\text{пр.з.м}} - F_{\text{н.т}})}, \qquad (6)$$

где $F_{\text{пр.з.м}}$ – площадь горизонтальной проекции пространственной зоны машины; $F_{\text{н.т}}$ – площадь невидимости горизонтальной проекции пространственной зоны машины при выполнении технологического воздействия.

Проблема формирования «моторного поля» рабочего заключается в обеспечении соответствия точки технологического воздействия антропометрическим и биомеханическим параметрам человека. Основное внимание следует уделить сокращению количества сопутствующих перемещений при выполнении конкретной операции. Для выполнения этого условия точки воздействия необходимо размещать в зонах наибольшей доступности, так, чтобы исполнитель мог выполнить операцию, существенно не изменяя рабочей позы и с минимальными затратами энергии [2, 5].

Антропометрические показатели оцениваются по коэффициенту удобства расположения точки воздействия

$$k_{\text{уд}} = \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{уд}}}, \qquad (7)$$

где $S_{\text{ф}}$ и $S_{\text{уд}}$ – соответственно показатели фактического и наилучшего расположения точки воздействия.

Значения этих показателей могут быть определены методом экспертной оценки, а также на основе суммарных энергетических затрат и алгоритмического анализа.

Работы по обслуживанию и ремонтные воздействия могут выполняться снаружи, внутри, сверху и снизу машины; при этом микроклимат каждой из этих зон имеет существенные отличия, что, в свою очередь, позволяет выделить по значимости микроклимат зон доступа подкапотного пространства автомобиля и микроклимат зон доступа

элементов машины, расположенных под днищем.

Гигиенический показатель эргономических свойств зон технологического воздействия предлагается оценить обобщенным коэффициентом

$$k_{\text{гиг}} = \frac{L_{\text{ф}}}{L_{\text{н}}}, \qquad (8)$$

где $L_{\text{ф}}$ и $L_{\text{н}}$ – соответственно показатели фактического и нормативного значения измерителей гигиенических параметров.

Все вышеизложенное позволило дать математическое описание комплексного показателя эргономических свойств точек технологического воздействия в виде

$$k_{\text{эр.т}} = a_1 k_{\text{н.т}} + a_2 k_{\text{обз}} + a_3 k_{\text{уд}} + a_4 k_{\text{гиг}}, \qquad (9)$$

где a_1,..., a_4 – коэффициент весомости соответствующих показателей, которые могут быть определены путем экспертной оценки [2].

Выводы

1. Использование принципов системного подхода позволило установить связь между конструктивным совершенством транспортных средств и их технологичностью.

2. В доказательной форме представлена актуальность проведения теоретических исследований в сфере многоэтапной модернизации машин, находящихся в эксплуатации, с применением модульного подхода.

3. Интерпретируя термин «эргономические свойства машин» на сферу технической эксплуатации, можно сказать, что эти свойства должны определять удобство и легкость выполнения технологических воздействий при выполнении операций поддержания работоспособности машин, соответствие мест воздействий антропометрическим показателям человека.

4. Комплексный показатель эргономических свойств точек технологического воздействия позволяет составить классификацию элементов машины, с точки зрения эффективности ремонтных воздействий, со снятием их с машины или выполнения работ непосредственно на машине.

Литература

1. Кириченко И.Г. Модульная концепция проектирования технологических машин для строительного производства / И.Г. Кириченко. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 120 с.
2. Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов: учебник / под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: ИЦ «Академия», 2005. – 256 с.
3. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.П. Долгополов, Г.Н. Доценко, В.А. Зорин и др.; под ред. В.А. Зорина. – М.: Изд-й центр «Академия», 2010. – 576 с.
4. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник / В.Ю. Гладков, И.Н. Кравченко, В.К. Федоров и др.; под общ. ред. В.А. Зорина. – М.: УМЦ «Триада», 2006. – 816 с.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 16 мая 2012 г.