

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ ТРАНСМИССИИ ЛЕГКОГО КОММЕРЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ В ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Суворов И.А.<sup>1</sup>, Кузьмин Н.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н. Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: [nntu@nntu.nnov.ru](mailto:nntu@nntu.nnov.ru)

Предложен подход к проведению исследований скоростных и силовых режимов работы силового агрегата. Метод проведения исследований основан на экспериментальном сборе данных о параметрах движения автомобиля, работы двигателя, положении органов управления и др. с последующей их обработкой. В процессе испытаний происходит движение автомобиля по маршруту, соответствующему реальным условиям, и фиксация ряда данных через малые промежутки времени. Проведен анализ режимов нагружения трансмиссии и работы двигателя легкого коммерческого автомобиля в реальных условиях эксплуатации на заданном маршруте. Приведен способ определения крутящего момента по полю моментов и данных о скорости вращения коленчатого вала и нагрузке на двигатель методом билинейной интерполяции, а также его уточнения ввиду наличия угловых ускорений вращающихся частей. В результате исследований построены диаграммы, наглядно отражающие частоту встречаемости того или иного скоростного и силового режима работы двигателя и трансмиссии при движении автомобиля в конкретных условиях. Результаты анализа могут быть использованы при проектировании и расчетах трансмиссии автомобиля, при оптимизации параметров силового агрегата автомобиля в целях улучшения его эксплуатационных и потребительских качеств.

Ключевые слова: испытания, условия эксплуатации, силовой агрегат, режимы движения автомобиля, режимы нагружения трансмиссии, крутящий момент.

## ABOUT THE SURVEY MODES OF TRANSMISSION LIGHT COMMERCIAL VEHICLE LOADING UNDER CERTAIN OPERATING CONDITIONS

Suvorov I.A.<sup>1</sup>, Kuzmin N.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alexeev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, street Minin, 24), e-mail: [nntu@nntu.nnov.ru](mailto:nntu@nntu.nnov.ru)

An approach to research speed and power modes of operation of the power unit. Research method is based on collecting experimental data on the characteristics of the car, engine running, position controls, etc. with their subsequent processing. During the test, there is a movement of the car along the route corresponding to the actual conditions, and fixing a number of data over short intervals of time. The analysis of the loading conditions of the engine and the transmission of light commercial vehicle in real-world conditions on a given route. Is a method for determining the torque moments on the field and data on crankshaft speed and engine load by bilinear interpolation, as well as its refinement in view of the angular acceleration of the rotating parts. The studies are graphs that clearly reflect the frequency of occurrence of a high-speed and power modes of operation of the engine and transmission when the vehicle under certain conditions. The analysis can be used in the design and calculation of transmission car in optimizing the parameters of the power unit of the car to improve its performance and consumer qualities.

Keywords: test, operating conditions, the power unit, driving modes, modes of transmission load, torque.

Конъюнктура российского и зарубежного европейского рынков легких коммерческих автомобилей определяет жесткие требования к конкурентоспособности продукции, выпускаемой автомобильными заводами. Важным условием, обеспечивающим преимущество на рынке, является способность удовлетворять требования широкого круга потребителей, т.е. обеспечивать максимальное качество при приемлемом уровне цены продукции. Повышение эффективности и удобства использования автомобиля в различных условиях эксплуатации является ак-

туальной практической задачей, коррелирующей со строгими международными экологическими требованиями.

На формирование основных показателей качества автомобиля в большей степени оказывает влияние сочетание двигателя и параметров коробки передач [1]. Кроме того, вариациями характеристик силового агрегата можно добиться оптимизации эксплуатационных показателей для заданных условий движения, создавая на основе модели автомобиля модификации, наиболее полно отвечающие требованиям того или иного круга потребителей.

Таким образом, актуальной задачей является исследование режимов работы двигателя и трансмиссии автомобиля с целью изучения влияния на них условий движения, выявления особенностей, закономерностей и связей между параметрами силового агрегата и ключевыми эксплуатационными показателями, что необходимо для формирования методики оптимизации характеристик силового агрегата и создания ряда адаптированных под конкретные условия эксплуатации модификаций.

Объектом изучения является автомобиль Газель Next и параметры работы его узлов при движении по маршруту, соответствующему реальным условиям. Исследования были выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218). Основой решения поставленной задачи стало проведение натурных испытаний автомобиля на маршрутах, которые будут близкими к предполагаемым условиям эксплуатации [6] модификаций автомобиля (испытания при нормальных условиях эксплуатации автомобиля [3]). Используемым вариантом формирования данных эксперимента является фиксация ряда параметров с малой периодичностью по времени при движении по маршруту [2]. С увеличением числа маршрутов и уменьшением периодичности фиксации параметров возрастает точность результатов проведенных исследований и анализа данных.

Во время прохождения дорожных испытаний был сформирован набор данных, которые можно условно разделить на две группы.

В первую группу включаются такие параметры как скорость и макропрофиль маршрута движения, а также характеристики дорожного покрытия. Скорость движения считается условно независимой от оптимизируемых значений параметров силового агрегата и определяется дорожной обстановкой (ограничениями, скоростью потока, особенностями дороги и т.п.) Макропрофиль маршрута движения и характер дорожного покрытия – полностью независимые для данного маршрута параметры. Совокупность независимых параметров является исходными данными к задаче оптимизации характеристик силового агрегата для соответствующих условий эксплуатации.

При анализе опытных данных следует учитывать наличие большого числа зависимых значений и субъективное влияние водителя на их формирование. Зависимыми будут являться те данные, на которые явным образом влияют искомые характеристики силового агрегата. К зависимым отнесены частота вращения коленчатого вала (ЧВКВ) ДВС и выбранная для движения передача, моменты переключения передач, особенности изменения положения педали акселератора и др., т.к. на них будет сказываться, например, изменение передаточных чисел трансмиссии. Зависимые параметры составляют вторую группу данных и необходимы для анализа режимов работы силового агрегата существующей модификации в конкретных условиях эксплуатации.

На одном из возможных маршрутов, проходящем в Нижнем Новгороде, был проведен заезд испытуемого автомобиля с установленной фиксирующей аппаратурой, включающей в себя GPS-устройство для определения скорости, а также сканирующее оборудование для считывания информации с электронного блока управления автомобилем. В результате был сформирован файл данных, представляющий собой таблицу, каждая строка которой содержит ряд параметров (время, скорость движения, частота вращения коленчатого вала, положение педали акселератора, процент загрузки ДВС, положение педали сцепления и тормоза, рабочее состояние системы управления двигателем) зафиксированных в соответствующую номеру строки секунду времени. Фиксацию всех значений считаем синхронизированной.

Чтобы проанализировать нагрузочные режимы [4, 5], необходимо иметь значения величины крутящего момента, приходящиеся на трансмиссию в каждый момент времени на маршруте. Все процедуры по обработке данных и реализации алгоритмов вычислений проведены с использованием Excel и Visual Basic.

Исходя из полученных экспериментальных данных, произведена посекундная оценка крутящего момента двигателя. Для этого достаточно использовать следующие снятые значения параметров: скорость вращения коленчатого вала ДВС, положение педали акселератора, доля загрузки ДВС, рабочее состояние системы управления двигателем (регулятор низких оборотов/автомобильный регулятор/снижение характеристик для защиты трансмиссии/предел скорости изменения крутящего момента).

Для определения крутящего момента ДВС также использовалось поле частичных характеристик двигателя, а именно значение величины крутящего момента в зависимости от ЧВКВ и доли загрузки двигателя. Данные по двигателю Cummins ISF 2.8 представлены на рисунке 1 в виде поверхности в осях  $x$ ,  $n$ ,  $M$  (обозначения ниже), а также в табличной форме.

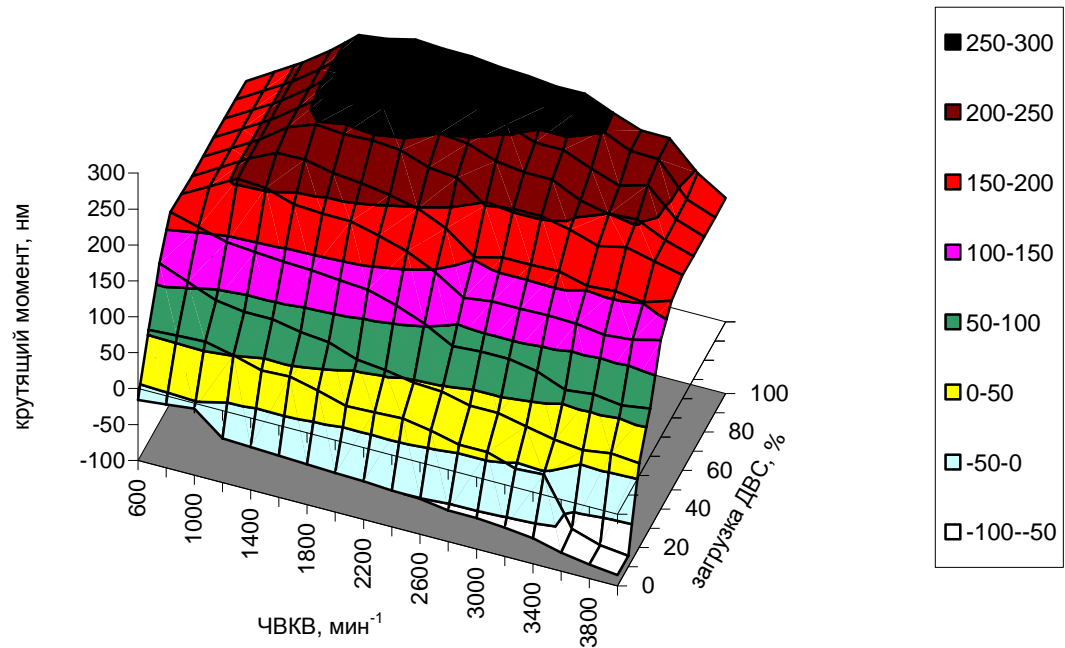


Рисунок 1 – Поле крутящих моментов двигателя Cummins ISF 2.8

Представленная выше задача решается путем билинейной интерполяции, т.е. расширением линейной интерполяции для функции двух переменных. Необходимыми данными для проведения этой процедуры являются значения функции  $m = f(n, x)$  в окружающих 4 точках при фиксированных значениях  $n$  и  $x$ , которые содержатся в приведенной таблице. Процедура билинейной интерполяции проводится поэтапно. На первом этапе интерполяцией вдоль оси абсцисс (по  $n$ ) находятся две вспомогательные точки для двух фиксированных значений оси ординат  $x(i)$ . На втором этапе проводится линейная интерполяция между двумя найденными на первом этапе вспомогательными точками. Далее приведены математические выражения для реализации данной процедуры. Обозначим  $M(i, j)$  - табличные значения крутящего момента при соответствующих значениях ЧВКВ  $n(j)$  и степени загрузки двигателя  $x(i)$ , где  $i = 1..11, j = 1..18$  (число строк и столбцов в таблице крутящих моментов ДВС). Текущие значения ЧВКВ и степени загрузки двигателя (обозначим  $n$  и  $x$  соответственно) содержатся в таблице экспериментальных данных; искомый крутящий момент двигателя при этих значениях обозначим  $m$ . Тогда:

Промежуточные значения  $m_{i-1}$  и  $m_i$ :

$$m_{i-1} = \frac{M_{i-1,j} - M_{i-1,j-1}}{n_j - n_{j-1}}(n - n_j) + M_{i-1,j}, \quad (1)$$

$$m_i = \frac{M_{i,j} - M_{i,j-1}}{n_j - n_{j-1}}(n - n_j) + M_{i,j} . \quad (2)$$

Искомый момент:

$$m = \frac{m_i - m_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}(x - x_i) + m_i. \quad (3)$$

Данные вычисления повторены для каждого набора значений из исходной таблицы данных испытаний, предварительно определяя диапазон, в который попадает  $x$  и  $n$ .

Для учета угловых ускорений вращающихся частей ДВС была проведена корректировка величин крутящего момента. Данными для осуществления данной процедуры являются момент инерции двигателя  $I$ , который для двигателя Cummins ISF 2.8 равен  $0,3144 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , а также величина углового ускорения  $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ . Величина углового ускорения определена приближенно по выражению:

$$\alpha_k = \left( \frac{n_{k+1} - n_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}} \right) \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (4)$$

где  $n$  - частота вращения коленчатого вала ( $\text{мин}^{-1}$ ),  $t$  - время (с),  $\frac{\pi}{30}$  - коэффициент, учитывающий несоответствие размерностей,  $k-1$ ,  $k$  и  $k+1$  - индексы, соответствующие предыдущему, настоящему и последующему моментам времени.

Тогда уравнение определения момента с учетом углового ускорения будет иметь вид:

$$M^* = M - I \cdot \alpha \quad (5)$$

В ходе работы произведен анализ времени движения с реализацией того или иного момента на каждой передаче. На нейтральной передаче (момент равен нулю 100% времени) автомобиль находился около 19% от всего времени на маршруте.

Оценка режимов работы трансмиссии и двигателя с точки зрения наиболее используемых частот вращения коленчатого вала ДВС (первичного вала КПП) и крутящего момента рассмотрена как для всех передач КПП, так и для каждой в отдельности.

На рисунке 2 показана диаграмма режимов работы двигателя и трансмиссии. Цветом показана доля времени работы в соответствующем диапазоне оборотов и крутящего момента. Из рассмотрения исключены режимы торможения двигателем и режимы с нулевым крутящим моментом ввиду их существенного преобладания над остальными (по времени) и малозначительности для анализа.

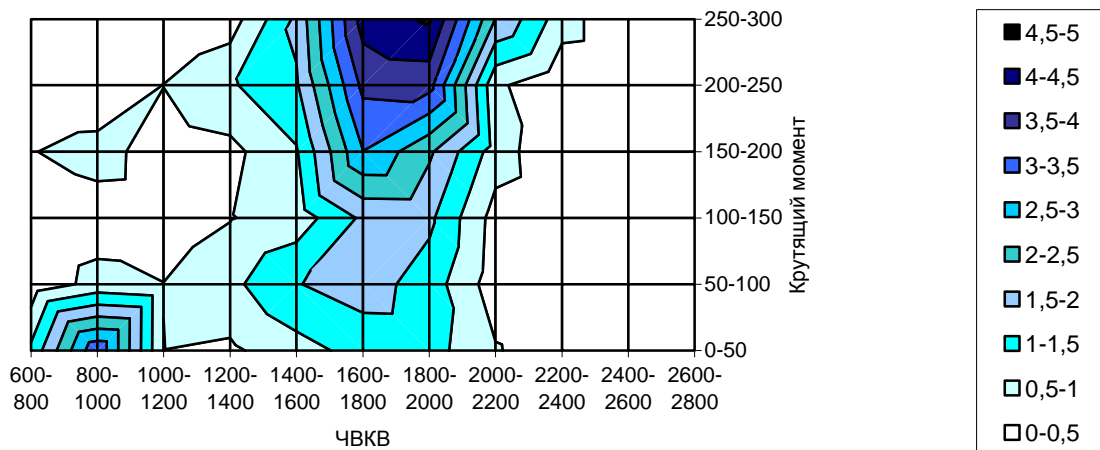
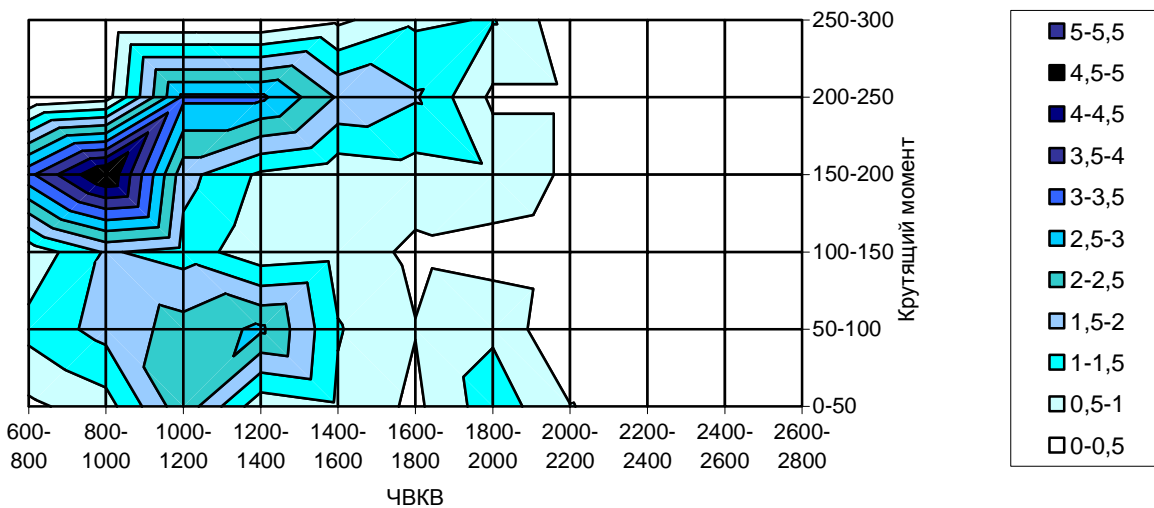
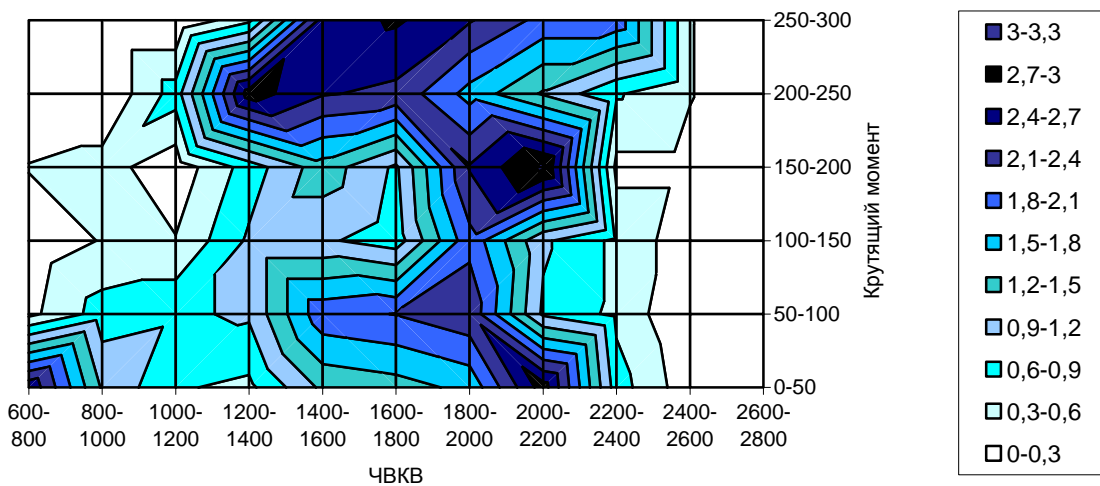


Рисунок 2 – Доля времени работы ДВС и трансмиссии в определенных режимах (на всех передачах), %

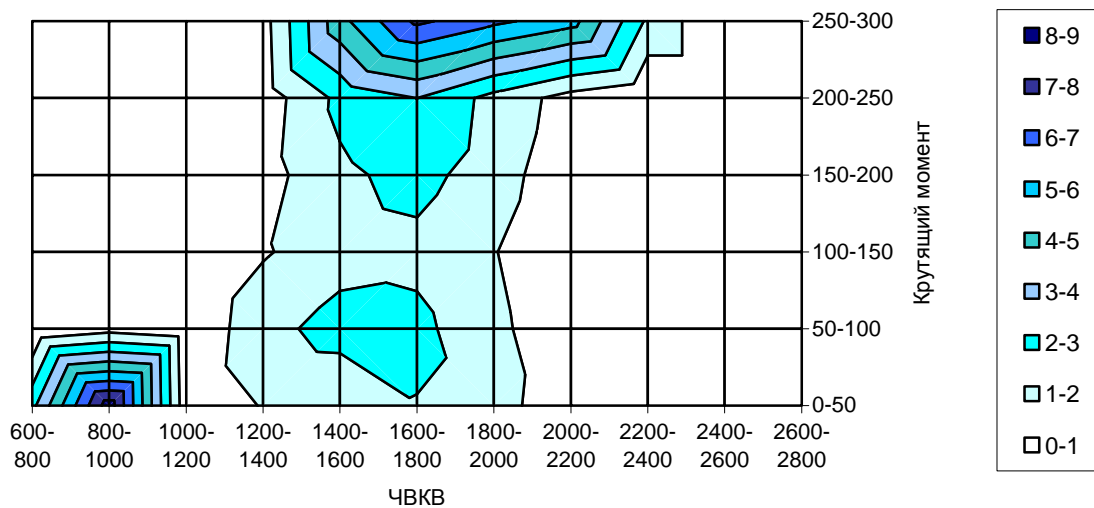
Далее на рисунке 3 приведены аналогичные диаграммы частоты встречаемости тех или иных режимов работы ДВС отдельно при движении на каждой передаче.



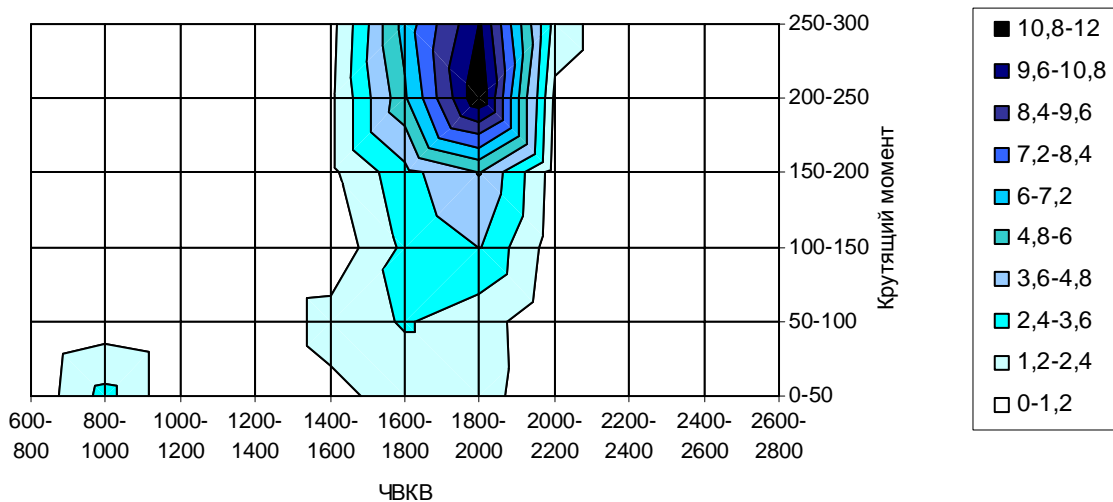
а)



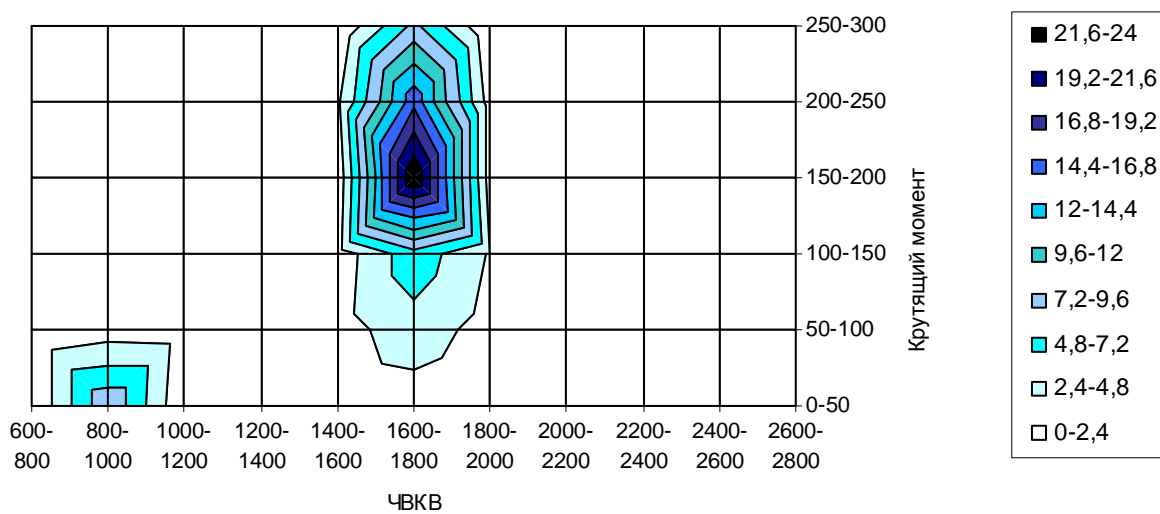
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3 – Доля времени работы силового агрегата в разных режимах на передачах, %:

а) на 1й; б) на 2й; в) на 3й; г) на 4й; д) на 5й

Информация о величинах моментов, скоростях вращения и времени каждого режима для всех передач и отдельно для каждой необходима для определения нагрузочных режимов при проектировании, прогнозировании ресурса и надежности элементов трансмиссии. Наглядную информацию о режимах содержат примеры представленных диаграмм, по которым удобно отслеживать изменения режимов при внесении корректировок в маршрут, параметры автомобиля и т.д. Например, в условиях данных испытаний, диаграммы показывают широкие диапазоны работы двигателя и трансмиссии при движении на второй передаче, а на высших (четвертой и пятой) передачах наблюдается преобладание одного режима работы в узких диапазонах частот вращения коленчатого вала и крутящего момента ДВС.

Проведение ряда испытаний в различных условиях эксплуатации поможет выявить зависимости режимов работы узлов от определенных факторов, что необходимо для оптимального выбора параметров силовых агрегатов для модификаций автомобиля.

### Список литературы

1. Блохин А.Н., Кудрявцев С.М., Лелиовский К.Я. Результаты расчета сочетаний двигателей и трансмиссий автобуса ПАЗ-3205 // Современные тенденции развития автомобилестроения в России: Сборник трудов «Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием». В 5 т. – Тольятти, ТГУ, 2004. – Т.2. С. 12-16.
2. Бутарович Д.О. Распределение относительных пробегов легких коммерческих автомобилей по результатам дорожных испытаний / Журнал автомобильных инженеров // Д.О. Бутарович, А.А. Смирнов. – Москва, 2013. – №6. – С. 28 – 32.
3. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества. Основные термины и определения: Межгос. стандарт. – Введ. 01.01.1982. – М.: Стандартиформ, 2011. – 29с.
4. Гришкевич А.И. Проектирование трансмиссии автомобиля: справочник. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
5. Кузьмин Н.А. Процессы и закономерности изменения работоспособности: учебное пособие / Н. А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
6. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учебное пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.

**Рецензенты:**



Вахидов У.Ш., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е. Алексеева» (НГТУ), г.Нижний Новгород.

Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е. Алексеева» (НГТУ), г.Нижний Новгород.