УДК 629. 114. 2. 011. 5

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ШУМА В КАБИНЕ ТРАКТОРА К-700А

Ляшенко М.В., Победин А.В., Шеховцов В.В., Долотов А.А., Искалиев А.И., Соломатин А.В.

ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, e-mail: ts@vstu.ru

В статье кратко описана методика расчета воздушного шума в кабине трактора К-700А, суть которой заключается в том, что шум на рабочем месте является результатом энергетического сложения уровней звука, проникающих отдельно друг от друга через элементы ограждения кабины трактора. Исходя из этого, можно оценить не только вклад каждого источника в образование воздушного шума в кабине, но и вклад каждой панели, тем самым выявить каналы, через которые наиболее интенсивно проникает шум. Для этого были разработаны программы расчета воздушного шума в кабине трактора в программном комплексе MatLAB, которые позволяют определить уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот. Предварительный анализ расчетных данных показал, что наибольший уровень шума от всех основных источников проникает в кабину через пол и стенки перегородки между моторным отсеком и кабиной.

Ключевые слова: уровень шума, кабина трактора, воздушный шум, источник шума, программа, расчёт, панели

FORMING OF AIRBORNE NOISE IN THE TRACTOR CAB K-700A

Lyashenko M.V., Pobedin A.V., Shekhovtsov V.V., Dolotov A.A., Iskaliev A.I., Solomatin A.V.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: ts@vstu.ru

The methodology of calculation of airborne noise in the tractor cab K-700A is described in the article. The main idea of the article is in the fact that the noise in the workplace is the result of the energy addition of sound levels which penetrate separately through fencing elements of tractor cab. Based on it we can evaluate the influence of each source to the forming of airborne noise in the cab, and influence of each panel, and identifying the most weak spot through which intensively penetrates noise. Programs of calculation of airborne noise in the cab were developed in the software package MatLAB for this purpose. This package determines sound pressure levels in one-third octave bands. Preliminary analysis of calculated data shows that the highest level of noise from all major sources penetrates into the cab through floor and partition wall between engine compartment and cab.

Keywords: level of noise, tractor cab, airborne noise, noise source, program, calculation, panel

Повышенный уровень шума на рабочем месте тракториста отрицательно влияет как на производительность машины, так и на здоровье самого тракториста [5]. Вместе с тем эффективность применения звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов зависит от ясности представления о формировании шума в кабине [4]. Поэтому важно проанализировать не только акустическую активность основных источников шума трактора, но и найти каналы, по которым шум наиболее интенсивно поступает на рабочее место.

Основные пути распространения воздушного шума в кабину трактора лежат через элементы её ограждения (стёкла, потолок, пол и т.д., в общем случае – панели).

Для их анализа в соответствии с общепринятыми ограничениями и допущениями создана методика расчета шума в кабине трактора К-700А на основе модели ожидаемой шумности трактора, разработанной Ивановым Н.И. и Курцевым Г.М. [1, 3].

Суть методики расчета состоит в том, что шум на рабочем месте в кабине трактора формируется в результате энергетического сложения уровней звука, проникающего отдельно друг от друга через все составные элементы кабины, что позволяет оценить вклад каждой панели в образовании общего шума. В связи с этим вся ограждающая поверхность кабины была разбита на 21 панель, которые имеют практически одинаковую шумоизоляцию.

В таблице даны формулы для определения долей ожидаемой шумности в кабине трактора К-700А, проникающих через каждую из панелей (в общем случае *i*-ю) от основных источников. Используя их, а также выражение для энергетического сложения звукового давления от нескольких источников [2], разработана программа расчёта воздушного шума внутри кабины (рис. 1) в программном комплексе MatLAB. Она содержит три основные программы и 14 подпрограмм. С помощью основных программ выполняется расчет воздушного шума, проникающего через панели, от всех основных источников в совокупности. Подпрограммы служат для расчета воздушного шума, проникающего через панели, от каждого источника по отдельности. Для удобства исходные данные модели и результаты расчета отображаются в виде таблиц в офисном приложении Excel, которое предварительно соединяется с MatLAB.

Программа позволяет рассчитывать уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот, проникающих в кабину трактора через каждую панель по отдельности и от каждого источника. Программа может легко адаптироваться для любого трактора.

Воздушный шум, проникающий через *i*-ю панель

Источник шума	Расчетное значение
1	2
Выхлоп ДВС	$L^{\text{внутр}}_{\text{вып}i} = L_{w\text{вып}} - 20\lg\left(\frac{Ri}{r}\right) + \text{ПН}_i - x - ZI_i - t_i + 10\lg\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{A_{\text{каб}}}\right) + 6$
Турбокомпрессор ДВС	$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пер}.i} = L_{w\text{трк}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{трк.пер}.i}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пер}.i} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пер}.i}}{A_{\text{каб}}}\right)$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пол}} = L_{w\text{трк}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{трк.пол}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 5$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пол.отр}} = L_{w\text{трк}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{трк.пр}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) + 10\,lg\left(\frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{кап}}}\right) + 10\lg(1-\alpha_{\text{отр}}) - 20\lg r_{\text{пр.трк}} - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 8$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.кап}.i} = L_{w\text{трк}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{трк.кап}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{кап}} - 20\lg\left(\frac{R_i}{r}\right) - ZI_i - t_i + 10\lg\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{A_{\text{каб}}}\right) + 7$
Корпус ДВС	$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пер}.i} = L_{w\text{двс}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{двс.пер}.i}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пер}.i} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пер}.i}}{A_{\text{каб}}}\right)$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пол}} = L_{w\text{двс}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{двс.пол}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 5$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пол.отр}} = L_{w\text{двс}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{двс.пр}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{кап}}}\right) + 10\lg(1-\alpha_{\text{отр}}) - 20\lg r_{\text{пр.двс}} - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 8$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.кап}.i} = L_{w\text{двс}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{двс.кап}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{кап}} - 20\lg\left(\frac{R_i}{r}\right) - ZI_i - t_i + 10\lg\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{A_{\text{каб}}}\right) + 7$

Окончание таблицы

1	2
Вентилятор системы охлаждения ДВС	$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пер.}i} = L_{w\text{вент}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{вент.пер.}i}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пер.}i} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пер.}i}}{A_{\text{каб}}}\right)$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пол}} = L_{w\text{вент}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{вент.пол}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 5$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пол.отр}} = L_{w\text{вент}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{вент.пр}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пр}}}{S_{\text{кап}}}\right) + 10\lg(1-\alpha_{\text{отр}}) - 20\lg r_{\text{пр.вент}} - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 8$
	$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.кап.}i} = L_{w\text{вент}} + 10\lg\left(\frac{1}{4\pi r^2_{\text{вент.кап}}} + \frac{4}{B_{\text{кап}}}\right) - ZI_{\text{кап}} - 20\lg\left(\frac{R_i}{r}\right) - ZI_i - t_i + 10\lg\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{A_{\text{каб}}}\right) + 7$
Корпус КПП	$L^{\text{внутр}}_{\text{кпп.пол}} = L_{w\text{кпп}} - 10\lg\left(\frac{R_{\text{кпп}}}{r_{\text{кпп}}}\right) - ZI_{\text{пол}} + 10\lg\left(\frac{S_{\text{пол}}}{A_{\text{каб}}}\right) - 5$

В таблице приняты следующие обозначения:

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

КПП – коробка перемены передач;

$L^{\text{внутр}}_{\text{вып}i}$ – шум от системы выхлопа ДВС, проникающий через панели кабины;

$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пер.}i}$ – шум от турбокомпрессора, проникающий через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной;

$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пол}}$ – шум от турбокомпрессора, проникающий через пол;

$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.пол.отр}}$ – шум от турбокомпрессора, проникающий через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора;

$L^{\text{внутр}}_{\text{трк.кап.}i}$ – шум от турбокомпрессора, проникающий через капот ДВС и панели кабины;

$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пер.}i}$ – шум от ДВС, проникающий через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной;

$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пол}}$ – шум от ДВС, проникающий через пол;

$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.пол.отр}}$ – шум от ДВС, проникающий через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора;

$L^{\text{внутр}}_{\text{двс.кап.}i}$ – шум от ДВС, проникающий через капот ДВС и панели кабины;

$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пер.}i}$ – шум от вентилятора системы охлаждения ДВС, проникающий через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной;

$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пол}}$ – шум от вентилятора системы охлаждения ДВС, проникающий через пол;

$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.пол.отр}}$ – шум от вентилятора системы охлаждения ДВС, проникающий через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора;

$L^{\text{внутр}}_{\text{вент.кап.}i}$ – шум от вентилятора системы охлаждения ДВС, проникающий через капот ДВС и панели кабины;

$L^{\text{внутр}}_{\text{кпп.пол}}$ – шум от коробки перемен передач, проникающий через пол;

$L_{w\text{вып}}$ – звуковая мощность выпуска, дБ;

R_i – расстояние от точки измерения до i-й панели кабины, м;

$r = 0{,}06$ – расстояние от среза выпускной трубы до точки измерения, м;

ПН_i – показатель направленности для i-й панели кабины;

x – числовая добавка, учитывающая пространственный угол излучения источника выпуска;

ZI_i – звукоизоляция i-й панели кабины, дБ;

t_i – добавка к звукоизоляции i-й панели кабины в зависимости от расположения панели по отношению к выпуску, дБ;

S_i – площадь i-й панели кабины, м^2;

n – число панелей кабины;

$A_{каб}$ – среднее звукопоглощение кабины, м^2;

$L_{wтрк}$ – звуковая мощность турбокомпрессора, дБ;

$r_{трк.пер.i}$ – расстояние от среза трубы турбокомпрессора до i-й панели перегородки, м;

$B_{кап}$ – постоянная капота, м^2;

$$B_{кап} = \frac{A_{кап}}{1-\alpha_{ср.кап}},$$

$A_{кап}$ – среднее звукопоглощение капота, м^2;

$\alpha_{ср.кап}$ – средний коэффициент звукопоглощения капота;

$ZI_{пер.i}$ – звукоизоляция i-й панели перегородки, дБ;

$S_{пер.i}$ – площадь i-й панели перегородки, м^2;

$r_{трк.пол}$ – расстояние от среза трубы турбокомпрессора до пола, м;

$ZI_{пол}$ – звукоизоляция пола, дБ;

$S_{пол}$ – площадь пола, м^2;

$r_{трк.пр}$ – расстояние от среза трубы турбокомпрессора до нижнего проема капота, м;

$S_{пр}$ – площадь нижнего проема капота, м^2;

$S_{кап}$ – общая площадь ограждений капота, м^2;

$\alpha_{отр}$ – средний коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности;

$$r_{пр.трк} = \sqrt{h_{трк}^2 + \left(\frac{r_{трк.пол}}{2}\right)^2},$$

$h_{трк}$ – высота установки турбокомпрессора над отражающей поверхностью, м;

$r_{трк.кап}$ – расстояние от среза трубы турбокомпрессора до капота, м;

$ZI_{кап}$ – звукоизоляция капота, дБ;

$r = 0{,}25$ – расстояние от турбокомпрессора до точки измерения, м;

$L_{wдвс}$ – звуковая мощность, излучаемая корпусом ДВС, дБ;

$r_{двс.пер.i}$ – расстояние от акустического центра ДВС до i-й панели перегородки, м;

$r_{двс.пол}$ – расстояние от акустического центра ДВС до пола, м;

$r_{двс.пр.}$ – расстояние от акустического центра ДВС до нижнего проема капота, м;

$$r_{пр.двс} = \sqrt{h_{двс}^2 + \left(\frac{r_{двс.пол}}{2}\right)^2},$$

$h_{двс}$ – высота установки ДВС над отражающей поверхностью, м;

$r_{двс.кап.}$ – расстояние от акустического центра ДВС до капота, м;

$r = 0{,}25$ – расстояние от корпуса ДВС до точки измерения, м;

$L_{wвент}$ – звуковая мощность, излучаемая вентилятором ДВС, дБ;

$r_{вент.пер.i}$ – расстояние от вентилятора до i-й панели перегородки, м;

$r_{вент.пол}$ – расстояние от вентилятора до пола, м;

$r_{вент.пр.}$ – расстояние от вентилятора ДВС до нижнего проема капота, м;

$$r_{пр.вент} = \sqrt{h_{вент}^2 + \left(\frac{r_{вент.пол}}{2}\right)^2},$$

$h_{вент}$ – высота установки вентилятора ДВС над отражающей поверхностью, м;

$r_{вент.кап.}$ – расстояние от акустического центра вентилятора ДВС до капота, м;

$r = 0{,}25$ – расстояние от вентилятора ДВС до точки измерения, м;

$L_{wкпп}$ – звуковая мощность, излучаемая корпусом КПП, дБ;

$R_{кпп}$ – расстояние от точки измерения до пола, м;

$r_{кпп} = 0{,}02$ – расстояние от корпуса КПП до точки измерения, м.

Структура расчёта (рис. 1) содержит программы:

– glpan(v) – расчет шума, проникающего через панели кабины, от всех источников;

– glper(v) – расчет шума, проникающего через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной, от всех источников;

– glpol(v) – расчет шума, проникающего через пол, от всех источников;

подпрограммы:

– vipusk(v) – расчет шума, проникающего через панели кабины от выхлопа ДВС;

– trkkap(v) – расчет шума, проникающего через капот и панели кабины, от турбокомпрессора ДВС;

– dvskap(v) – расчет шума, проникающего через капот и панели кабины, от корпуса ДВС;

– ventkap(v) – расчет шума, проникающего через капот и панели кабины, от вентилятора ДВС;

– trkper(v) – расчет шума, проникающего через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной, от турбокомпрессора ДВС;

– dvsper(v) – расчет шума, проникающего через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной, от корпуса ДВС;

– ventper(v) – расчет шума, проникающего через панели перегородки между моторным отсеком и кабиной, от вентилятора ДВС;

– trkpol(v) – расчет шума, проникающего через пол, от турбокомпрессора ДВС;

– trkpolotr(v) – расчет шума, проникающего через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора, от турбокомпрессора ДВС;

– dvspol(v) – расчет шума, проникающего через пол, от корпуса ДВС;

– dvspolotr(v) – расчет шума, проникающего через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора, от корпуса ДВС;

– ventpol(v) – расчет шума, проникающего через пол, от вентилятора ДВС;

– ventpolotr(v) – расчет шума, проникающего через пол с учетом отражения от опорной поверхности трактора, от вентилятора ДВС;

– kpppol(v) – расчет шума, проникающего через пол, от КПП трансмиссии.

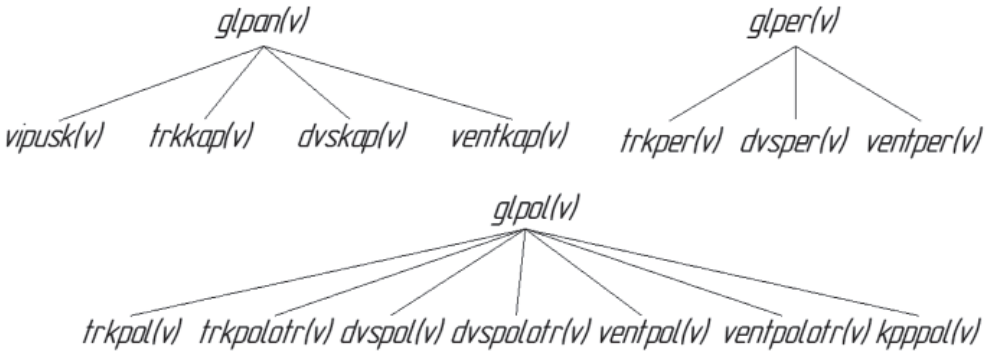

Рис. 1. Структура расчета в MatLAB

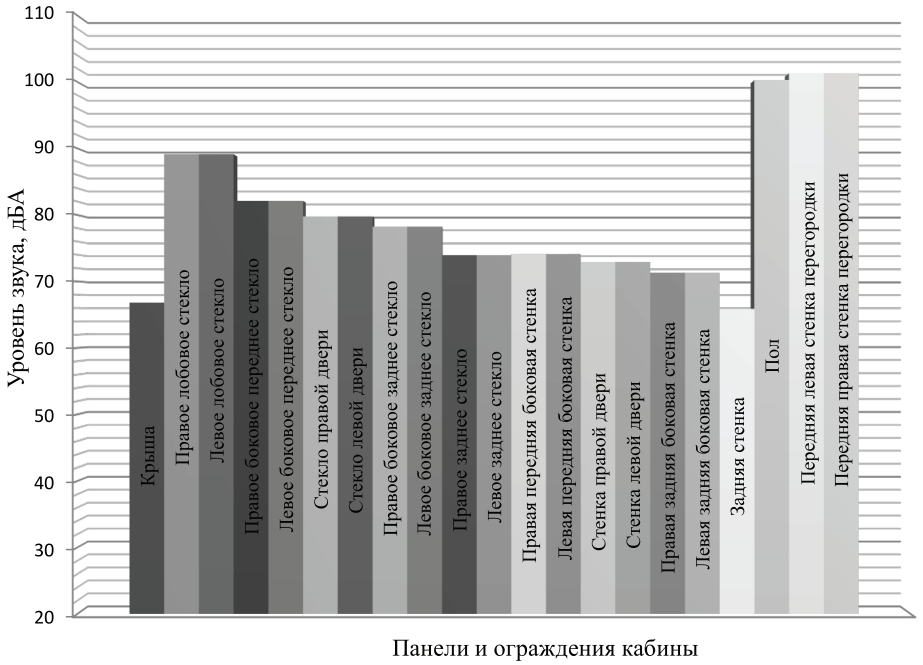

Рис. 2. Диаграмма уровней звука, проникающего через панели кабины

На рис. 2 изображена диаграмма уровней звука панелей кабины, полученная в результате обработки итогов моделирования в MatLAB. Анализ диаграммы показал, что наибольший уровень шума проникает в кабину трактора через пол

и стенки перегородки между моторным отсеком и кабиной. Поэтому для снижения шума в кабине следует, прежде всего, увеличить звукоизоляцию этих ограждений.

Основные выводы:

– разработана программа расчета воздушного шума в пакете MatLAB, позволяющая оценивать вклад каждого источника и каждой панели ограждения в суммарный шум в кабине трактора;

– основная доля шума проникает на рабочее место через пол и стенки перегородки между моторным отсеком и кабиной.

Список литературы

1. Балишанская Л.Г. Техническая акустика транспортных машин: Справочник / Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Политехника, 1992. – 424 с.

2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, 2008. – 424 с.

3. Снижение шума в кабине трактора К-701М / Н.И. Иванов и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 1990. – № 2. – С. 40–41.

4. Наумов А.В. Совершенствование средств повышения экологической безопасности тракторов путем снижения уровня шума (на примере трактора «Кировец»): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2011. – 20 с.

5. Победин А.В. Проектирование виброшумоизоляции тракторной кабины: учеб. пособие; ВолгГТУ. – Волгоград: Волгогр. науч. изд-во, 1994. – 92 с.

References

1. Balishanskaya L.G. *Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin* [Technical acoustics of transport vehicles]. Saint-Petersburg, Politekhnika, 1992. 424 p.

2. Ivanov N.I. *Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika borby s shumom* [Engineering Acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow, Universitetskaya kniga, 2008. 424 p.

3. Ivanov N.I., Kurtsev G.M., Nilov N.A., Popov N.S. *Traktory i selkhozmashiny*, 1990, no. 2, pp. 40–41.

4. Naumov A.V. *Upgrading of kinds of ecological safety of tractors through reduction of noise level (by the example of tractor Kirovets). Extended abstract of PhD dissertation*. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2011.

5. Pobedin A.V. *Proektirovanie vibroshumoizolyatsii traktornoy kabiny* [Vibration and noise isolation designing for tractor cab]. Volgograd, Volgogradskoe nauchnoe izdatelstvo, 1994. 92 p.

Рецензенты:

Славуцкий В.М., д.т.н., профессор кафедры автотракторных двигателей, ВолгГТУ, г. Волгоград;

Рябов И.М., д.т.н., профессор кафедры «Автомобильные перевозки», ВолгГТУ, г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 08.09.2014.