

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

А.А. Мельберт, А.Н. Салмин, Л.Н. Беляев, В.В. Деркачев

В статье изложен материал по определению интегрального эколого-экономического показателя социальной эффективности транспортного дизеля гусеничной машины. Интегральный показатель позволяет определить полезность применения транспортных дизелей в установках с учетом ущерба, наносимого окружающей среде.

The article presents the information about determination of integral ecologo-economic indicator of social efficiency of caterpillar's transport diesel. The integral indicator allows determining the utility of transport diesel application in devices taking into account the damage to the environment.

В известной литературе нет сведений о комплексных показателях, характеризующих в целом уровень экологической опасности транспортного средства. Ведущие ученые в области снижения вредных выбросов транспортных дизелей в атмосферу В.И. Смайлис, И.Л. Варшавский и Р.В. Малов и другие ограничились описанием показателей уровней вредных выбросов с отработавшими газами. В.А. Корчагиным было введено понятие об экологической опасности, применительно к автомобилю. Этот показатель имеет вид:

$$K_{\text{эо}} = \frac{W_{\text{ог}} + W_{\text{ш}} + W_{\text{в}} + W_{\text{п}} + W_{\text{т}} + W_{\text{р}} + W_{\text{э}} + W_{\text{и}}}{A_{\text{г}}}, \quad (1)$$

руб./т·км),

где $W_{\text{ог}}$ – годовой ущерб от загрязнения окружающей среды вредными выбросами автомобиля, руб.; $W_{\text{ш}}$ – годовой ущерб от акустического излучения автомобиля, руб.; $W_{\text{в}}$ – годовой ущерб от воздействия вибраций на людей, руб.; $W_{\text{п}}$ – годовой ущерб от загрязнения окружающей среды пылью при движении, руб.; $W_{\text{т}}$ – годовой ущерб от тепловых выбросов автомобиля, руб.; $W_{\text{р}}$ – годовой ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб.; $W_{\text{э}}$ – годовой ущерб от электромагнитного воздействия, руб.; $W_{\text{и}}$ – годовой ущерб от воздействия инфразвука, руб.; $A_{\text{г}}$ – годовая производительность, т·км.

Данное выражение нельзя применять для оценки экологической опасности гусеничных машин в том виде, как это предложено В.А. Корчагиным. Для гусеничных машин можно было бы пренебречь показателями $W_{\text{р}}$, так как у плавающих машин масла и топливо не попадают в почву и не сносятся в водоемы, $W_{\text{э}}$ и $W_{\text{и}}$, так как для машин, используемых в очень редко населенных районах они не представляют большого значения. В

то же время должны быть учтены показатели ущерба $W_{\text{уп}}$ – уплотнения почвы, $W_{\text{пп}}$ – ущерба от нарушения наружного покрова почвы. Разработка методики такой оценки необходима, так как не описана в известной отечественной и зарубежной литературе.

Работы по вероятностному моделированию и прогнозированию эколого-экономических ущербов при эксплуатации судовых двигателей проведены И.Л. Шегаловым по оценке вредных выбросов тракторных дизелей А.Л. Новоселовым и другими. Комплексно экологическая опасность дизеля не описана.

Рассматривая составляющие уравнения (1), учитывая предложенные показатели ущерба $W_{\text{уп}}$ и $W_{\text{пп}}$, необходимо отметить, что относительно транспортного дизеля гусеничной машины остаются показатели $W_{\text{ог}}$, $W_{\text{т}}$ так как дизель является основным и единственным их источником. В суммарном ущербе от акустического излучения гусеничной машины будут составляющие, учитывающие раздельное участие $W_{\text{гд}}$ гусеничных движителей, $W_{\text{тр}}$ – трансмиссии, $W_{\text{пв}}$ – подвески, $W_{\text{дгм}}$ – дизеля гусеничной машины. В суммарном ущербе от воздействия вибраций $W_{\text{в}}$ выделятся составляющие, учитывающие раздельное влияние $W_{\text{вгд}}$ гусеничного движителя, $W_{\text{втр}}$, учитывающий влияние колебаний в трансмиссии, $W_{\text{впв}}$, учитывающий влияние колебаний в подвесках, $W_{\text{ад}}$, учитывающий колебания создаваемые дизелем, $W_{\text{вк}}$, учитывающий колебания элементов корпуса и т.д.

Показатели ущерба $W_{\text{п}}$, $W_{\text{э}}$, $W_{\text{и}}$ относятся только к общим показателям ущерба для гусеничной машины в целом. Показатель же $W_{\text{т}}$ с достаточным основанием можно отнести только к дизелю гусеничной машины.

Таким образом, показатель экологической опасности гусеничной машины представляется в новом виде, состоящим из трех блоков, относящихся к дизелю, ходовой части, гусеничной машине в целом:

$$K_{ЭО} = (W_{ог} + W_{т} + W_{дгм} + W_{ад}) + (W_{гд} + W_{тр} + W_{пв} + W_{вгд} + W_{втр} + W_{впв} + W_{вк}) + (W_{уп} + W_{пп} + W_{пн} + W_{э} + W_{и} + W_{р}) / S_{вр}, \quad (2)$$

руб.ущерба/руб.э.оц.

В первых скобках сосредоточена составляющая, относящаяся к транспортному дизелю, во вторых – к ходовой части, в третьих – к гусеничной машине в целом. Здесь $S_{вр}$ – стоимость работ, выполняемых гусеничной машиной в целом в год, руб.

А.Л. Новоселовым и его школой использован ранее предложенный Д.П. Ананишвили, Л.А. Барским, К.Г. Гофманом интегральный эколого-экономический показатель:

$$\mathcal{E}_{ЭЭ} = S_{эоц} - Z_{ст} - W_{ущ} - D_{эф} + Z_{гсм}, \quad \text{тыс.руб./год}, \quad (3)$$

где $S_{эоц}$ – стоимость работ, выполненных гусеничной машиной в год, тыс.руб. /г; $Z_{ст}$ – приведенные затраты на модификацию дизеля, руб./г; $W_{ущ}$ – оценка ущерба от загрязнения окружающей среды, тыс.руб./г; $D_{эф}$ – оценка экономической эффективности от снижения вредных выбросов, тыс.руб./г; $Z_{гсм}$ – экономическая оценка по экономии или дополнительному расходу ГСМ, тыс.руб. /г.

Необходимо отметить, что выражения (2) и (3) имеют свои недостатки. В соответствии с целью настоящей работы, дальнейшая оценка касалась только транспортного дизеля и интегральный эколого-экономический показатель, имеющий явное преимущество по сравнению с показателем экологической опасности, был принят за основу.

Автором настоящей работы предложено интегральный эколого-экономический показатель для транспортного дизеля гусеничной машины, исходя из первой части выражения (2) и выражения (3) представить в виде:

$$\mathcal{E}_{ЭЭ} = S_{эоц} - (Z_{ст} + Z_{вз} + Z_{шз} + Z_{тз}) - (K_{эст} + K_{вз} + K_{шз} + K_{тз}) - (W_{ог} + W_{т} + W_{дгм} + W_{ад}) + (D_{ст} + D_{св} + D_{сш} + D_{тз}), \quad \text{тыс.руб./г}. \quad (4)$$

Первая группа показателей в скобках относится к капитальным затратам на мероприятия по снижению токсичности отработавших газов – $Z_{ст}$, организацию виброзащиты – $Z_{вз}$, шумозащиты – $Z_{шз}$, снижения тепловых выбросов $Z_{тз}$. Вторые скобки содержат показатели стоимости эксплуатации в течение года $K_{эст}$ – систем снижения токсичности отработавших газов, $K_{вз}$ – систем виброзащиты, $K_{шз}$ – систем защиты от шума, $K_{тз}$ – систем утилизации тепла, выбрасываемого с отработавшими газами. Третья группа показателей дает представление об экономическом

ущербе, в связи с воздействием на окружающую среду: токсичных веществ $W_{ог}$; шума дизеля $W_{ш}$, вибрации $W_{в}$, тепловых излучений $W_{т}$. В четвертую группу вошли показатели эффективности, в связи с мероприятиями по снижению выбросов токсичных веществ, уровня шума и вибрации, теплового излучения: $D_{ст}$, $D_{св}$, $D_{сш}$, $D_{тз}$ соответственно.

Таким образом, представлен параметр, по величине которого можно оценивать социальную эффективность транспортного дизеля в составе гусеничной машины, а в дальнейшем и гусеничной машины в целом.

Необходимо отметить, что речь о социальной эффективности техники может идти только в том случае, если выполняется ограничение, представленное в виде неравенства:

$$\dot{Y}_{\dot{y}\dot{y}} = S_{\dot{y}\dot{y}} - \sum_{i=1}^n Z_i - \sum_{i=1}^n K_i - \sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n D_i > 0. \quad (5)$$

По методике, изложенной выше, была выполнена оценка экологической опасности транспортного дизеля 6ЧН15/18 (5Д6-192). Для того, чтобы расчет соответствовал действительности, он был выполнен применительно к рассматриваемой в настоящей работе гусеничной машине ГМ-521М.

Уровень вибрации по передней опоре по результатам испытаний был принят равным 109 дБ, а уровень внешнего шума равным 99,4 дБА.

Это привело к тому, что ущерб от вибрации, применительно к экипажу гусеничной машины был оценен в 54,04 тыс. руб. в год. Ущерб от шума дизеля составил 124,7 тыс. руб. в год.

Удельные выбросы вредных веществ дизелем 6ЧН15/18 составили: $q_{оц,NOx} = 11,13$ г/(кВт·ч); $q_{оц,CO} = 11,90$ г/(кВт·ч); $q_{оц,CH} = 0,33$ г/(кВт·ч); $q_{оц,ТЧ} = 0,35$ г/(кВт·ч). Ущерб от выброса вредных веществ оценен в 90,7 тыс. руб. в год.

Суммарный ущерб от вредных выбросов, вибрации и шума составил 269,44 тыс. руб. в год. $S_{оц} = A_{г} = 489,78$ тыс. руб. в год.

Показатель экологической опасности $K_{ЭО} = 0,55$. Необходимо учесть, что чем меньше значение $K_{ЭО}$, тем ниже экологическая опасность.

Если рассматривать структуру ущерба, то на долю вибрации приходится 20,05 %, на долю шума – 46,28 %, на долю вредных выбросов – 33,67 %.

Такой подход к анализу экологической опасности позволяет определить и эколого-экономический показатель социальной эф-

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

эффективности техники $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}$. В нашем случае, если не учитывать затраты на мероприятия, направленные на снижение экологической опасности для дизеля 6ЧН15/18, показатель $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}$, учитывая затраты на топливо в сумме 190 тыс. руб. в год, составляет 30,34 тыс. руб. в год.

Разработанная методика оценки экологической опасности может быть успешно применена для сравнения и выбора дизельных двигателей для гусеничных машин, подлежащих конверсии наравне с экономическими, технологическими, конструктивными, эксплуатационными и другими методами. Основными выводами являются следующие:

1. Разработанная методика достаточно полно описывает определение экологических параметров дизелей и гусеничных машин в целом и при необходимости может как расширяться, так и сужаться в зависимости от круга рассматриваемых параметров.

2. Разработанная методика позволяет комплексно проводить сравнение альтернативных вариантов дизелей для гусеничных машин по одному безразмерному показателю.

3. Методика позволяет численно оценить ущерб, наносимый окружающей среде дизелями гусеничных машин, а при расширении задачи, гусеничными машинами в целом.

Вопрос об оценке тепловых выбросов с отработавшими газами транспортных дизелей рассмотрен в работах И.П. Шегалова. Отмечается, что плотность антропогенных тепловых выбросов, усредненных по всей поверхности Земли, не должна превышать предельно-допустимого уровня (ПДУ), равного 2 Вт/м^2 или $0,002 \text{ кВт/м}^2 \cdot 9000 \text{ ч} = 18 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Расчеты, основанные на основе уравнения теплового баланса Земли показали, что превышение ПДУ приведет к увеличению среднегодовой температуры на 1°C , что с точки зрения современной климатологии приведет к значительным изменениям в глобальном масштабе. Считается, что, например, производительность труда упадет на 2...4 %, снижение национального совокупного дохода достигнет 5 %.

Приступая к рассмотрению вопроса об оценке экономического ущерба, наносимого шумом транспортного дизеля гусеничной машины, следует отметить ряд обстоятельств, определяющих подход к методике:

1. Шум транспортных дизелей воздействует непосредственно на членов экипажа, на пассажиров гусеничных машин, работающих

в зоне выполнения работ, на жителей районов, где эксплуатируется машина;

2. Шум транспортных дизелей воздействует на организм животных в зоне эксплуатации машин;

3. Шум транспортных дизелей можно разделять и определять ущерб, наносимый шумом отдельных составляющих, но это не значит, что сумма ущерба от шумов отдельных элементов будет равной общему ущербу, наносимому шумом транспортных, их двигателей.

Общий подход в оценке экономического ущерба, наносимого шумом транспортных дизелей гусеничных машин, имеет свою структуру и использует целый ряд опубликованных методик.

Годовой экономический ущерб от воздействия шума складывается из потерь национального дохода $N_{\text{НГШ}}$ и годовой стоимости лечения $N_{\text{СЛШ}}$. Однако, если воздействие вибрации носит локальный характер, и она распространяется в основном через корпусные детали на членов экипажа и пассажиров (если таковые предусмотрены), то воздействие шума распространяется и на окружающую среду.

Представим, что ущерб от воздействия шума можно учесть в виде:

$$W_{\text{ш}} = N_{\text{НГШ}1} + N_{\text{НГШ}2} + N_{\text{НГШ}3} + N_{\text{НГШ}4} + N_{\text{НГШ}5} + N_{\text{СЛШ}1} + N_{\text{СЛШ}2} + N_{\text{СЛШ}3} + N_{\text{СЛШ}4} + N_{\text{СЛШ}5}, \text{ тыс.руб. в год} \quad (6)$$

где $N_{\text{НГШ}1}, N_{\text{НГШ}2}, N_{\text{НГШ}3}, N_{\text{НГШ}4}, N_{\text{НГШ}5}$ – потери национального дохода соответственно вследствие временной нетрудоспособности членов экипажа, пассажиров, работающих в зоне эксплуатации, жильцов вблизи работающей машины, вследствие снижения производительности животных (удоев, развития поголовья); $N_{\text{СЛШ}1}, N_{\text{СЛШ}2}, N_{\text{СЛШ}3}, N_{\text{СЛШ}4}, N_{\text{СЛШ}5}$ – соответственно затраты на лечение в год.

Если принять, что относительное увеличение числа дней временной нетрудоспособности для каждой из групп, обозначенных выше, составляет:

$$k_{\text{ВНТ}} = \left(\frac{A}{A} - \dot{I} \frac{A}{A} \right) \left(\frac{A}{A} \right), \quad (7)$$

то можно отметить, что величина $k_{\text{ВНТ}}$ зависит только от интенсивности и продолжительности действия шума как неблагоприятного фактора, и для каждой группы определяется единственным способом.

Ранее было установлено, что значение функции $k_{\text{ВНТ}}$ для шума можно аппроксимировать уравнением прямой:

$$k_{\text{ВНТ}} = 0,024 \left(L - L_{\text{д}} \right), \quad \text{при } L > L_{\text{д}}, \quad (8)$$

где L – уровень шума, дБА; $L_{\text{д}} = 85$ дБА.

Среднее по России значение $\Pi_B''=7$, а при среднем непрерывном стаже работы фактически число потерянных дней в 1,88 раза больше. Условные трудовые потери, вследствие профессионально обусловленной заболеваемости от воздействия шума при среднем числе рабочих дней в году 250:

$$\Delta \dot{\bar{I}}_{\bar{C}} = 1,88 \left(\bar{A} - \bar{I}''_{\bar{A}} \right) 100/250 = 5,3k_{ВНТ} \% . \quad (9)$$

Вероятность профессионального заболевания от воздействия шума через t_0 лет составляет $\bar{P}(\bar{C}) = 1 - P(\bar{C})$, где величины $P(t_0)$ берутся из справочника.

Ежегодные трудовые потери через t_0 лет от профессиональных заболеваний, при условии того, что к работе на гусеничные машины допускаются только практически здоровые люди по результатам медицинского заключения:

$$\Delta \dot{\bar{C}}_{\bar{C}} = \left[2,1 \bar{C}_i + t_i \cdot \dot{\bar{C}}_i \right] 2 \bar{C}_c - t_n \bar{C}_0 \frac{P(\bar{C})}{t_0} \cdot 100\% , \quad (10)$$

где t_0 – количество временной нетрудоспособности в год; t_0 – продолжительность утраты общей трудоспособности; T_{Π} – утрата профессиональной трудоспособности, %; T_0 – утрата общей трудоспособности, %; t_c – время смены состава экипажа ($t_c < t_0$).

Более ранний выход на пенсию приводит к повышению ежегодных трудовых потерь на величину:

$$\Delta T_{\bar{I}} = \Delta t_n \cdot \bar{Z}_P \left(+ \delta_{\bar{I}} \right) 100\% , \quad (11)$$

где Δt_n – число лет, на которое уменьшается время выхода на пенсию; \bar{Z}_P – относительное число рабочих данной профессии со стажем, необходимым для льготного выхода на пенсию; $p_{\Pi\Pi}$ – часть, которую составляет пенсия от среднего заработка.

К увеличению трудовых затрат приводят Π_0 дней ежегодного дополнительного отпуска и сокращение на S часов в неделю рабочего дня:

$$\Delta T_{OP} = 2 \left(\bar{C}_0 / 250 \right) \left(\bar{C} / 41 \right) 100\% , \quad (12)$$

Тогда полные условные трудовые потери:

$$\Delta T = T_{\Pi O3} + T_{\Pi3} + T_3 + T_{\Pi} + T_{OP} , \quad (13)$$

где T_3 – условные трудовые потери вследствие снижения трудоспособности здоровых людей из-за неблагоприятных условий труда, вызываемых шумом дизелей.

Необходимо отметить, что если неблагоприятные условия труда вызваны только повышенным уровнем шума, то дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день не предусматриваются. Постоянное повыше-

ние порога слухового восприятия равно такому же временному повышению порога в конце смены примерно через 10 лет. Поэтому вероятность повреждения слуха через 10 лет $\bar{P}(\bar{C}=10) = 1 - P(\bar{C}=10)$. Величина $P(t=10)$ указывает на часть здоровых людей, среднее за смену снижение трудоспособности которых будет $0,075/3=0,025$.

Распределение величины снижения трудоспособности в зависимости от относительного числа работающих x , предложено представлять в виде кривой с координатами:

$$x_1 = \bar{P}(\bar{C})$$

$$T_0 = 0,075;$$

$$x_2 = \bar{P}(\bar{C}) \cdot P(\bar{C} \leq 10)$$

$$T_0 = 0,025;$$

$$x_3 = 1,$$

$$T_0 = 0.$$

Уравнение кривой имеет вид:

$$T_0 = a \left(-x \right)^b ,$$

где $a = 0,075 \alpha_c \sqrt{3}$;

$$b = 0,477 / \left(\bar{C}(-x_1) \right) \left(-x_2 \right);$$

$$\alpha_c = \left(\bar{C}(-x_2) \right) \left(\bar{C}(-x_1) \right)^{-1}.$$

Средняя величина потери трудоспособности, отнесенная к числу рабочих каждой из групп через t лет составит:

$$\bar{T}_1 = \int_0^1 T_0 \cdot dx = a / \left(\bar{C} + 1 \right) . \quad (14)$$

Средняя величина потери трудоспособности каждой из групп вследствие повреждения слуха $\bar{P}(\bar{C})$ части работающих через t лет будет:

$$\bar{T}_2 = \int_0^{x_1} T_0 \cdot dx = \left(a / \left(\bar{C} + 1 \right) \right) \left(-\bar{C} - \bar{C}_1 \right)^{\bar{C}+1} . \quad (15)$$

Среднее значение величин потери трудоспособности всех работающих вследствие снижения работоспособности здоровых определяется из выражения:

$$\bar{T}_3 = \int_{x_1}^1 T_0 \cdot dx = \left(a / \left(\bar{C} + 1 \right) \right) \left(-\bar{C}_1 \right)^{\bar{C}+1} . \quad (16)$$

Тогда условные трудовые потери общества вследствие повреждения слуха и утомления здоровых работающих через t_0 лет равны:

$$\Delta \dot{\bar{C}}_{\bar{C}} + \Delta \dot{\bar{C}}_{\bar{C}} = \left(\bar{C}_1 + \bar{C} \left(\bar{C}_0 + t_c \right) \right) \bar{T}_2 \cdot 100\% . \quad (17)$$

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

Условные трудовые потери ΔT , % через t лет при смене состава экипажа через t_c лет приведены в таблице 1.

Таким образом определяется годовой экономический ущерб от воздействия шума на работающих и окружающую среду.

Таблица 1 – Условные трудовые потери ΔT , % через t лет при смене состава экипажа гусеничной машины через t_c лет

t_c , лет	t , лет	L , дБА						
		85	90	95	100	105	110	115
-	1	-	2	3,5	5,5	7,5	9,6	12,0
-	5	0,5	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,5
5	10	0,7	3,5	6,0	9,5	13,0	17,0	22,0
10	10	1,0	4,5	8,0	12,5	17,5	23,0	28,0
5	25	1,2	6,0	10,0	16,0	23,0	32,0	42,5
10	25	2,0	9,0	15,0	25,0	36,5	48,0	60,0
5	Средние за 8 лет	0,35	2,5	4,5	7,0	9,5	12,5	15,5
10		0,50	2,5	5,0	7,5	10,0	13,0	16,0

Если в результате технических мероприятий удастся снизить уровень шума дизеля гусеничной машины с L_1 до L_2 , то условные трудовые потери, усредненные за нормативный срок окупаемости, уменьшаются с $\Delta T(L_1)$ до $\Delta T(L_2)$ и прирост прибыли составляет:

$$\Delta I = \frac{C \cdot \Delta T}{100} - 0,12 K_{KB} - K_{\text{ЭШ}}, \text{ тыс.руб.}, \quad (18)$$

где C – стоимость прибавочного продукта, создаваемая одним работающим, примерно равная годовой заработной плате; Z_P – число экипажа, которому улучшены условия труда; K_{KB} – капитальные вложения на снижения шума; $K_{\text{ЭШ}}$ – годовая стоимость эксплуатации шумозащитного мероприятия.

В работах В.И. Клячко, Г.С. Росина приведены методики расчета экономических потерь, вследствие неблагоприятного действия вибрации. Возвращаясь к выше изложенному, следует отметить, что вибрация, в отличие от отработавших газов, локально действует на экипаж гусеничных машин.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 вибрация, в зависимости от способа передачи на человека делится на два типа: общую, передающуюся в нашем случае через опорные поверхности гусеничной машины на тело сидящего человека и локальную, передающуюся через руки человека, опирающиеся на штурвал, рычаги гусеничной машины.

По источнику возникновения вибрации гусеничной машины можно разделить на категории: транспортную вибрацию, воздействующую на экипаж при движении по местности, агрофонам и дорогам, вследствие колебаний гусеничных движителей, вибрацию, передаваемую через виброизоляторы, корпус машины, опоры сидения на экипаж гусенич-

ной машины от транспортного двигателя, имеющего определенную уравновешенность. Как показали исследования функция распределения вибрационного параметра транспортных машин, найденная по сколько угодно большому числу измерений, подчиняется нормальному закону. Тогда функция распределения вибрационного параметра, определяемого по ограниченной выборке, подчиняется распределению Стьюдента, а средние величины вибрационного параметра $\langle U \rangle$ определяются из выражения:

$$\langle U \rangle = \langle U \rangle + t_c / \sqrt{j} \cdot S_K \quad (19)$$

где $\langle U(j) \rangle$ – средняя величина вибрационного параметра, найденная по ограниченной выборке из j измерений, $\langle U(j) \rangle = 1/j \sum_{i=1}^j \tilde{U}_i$; S_K

(j) – среднее квадратичное отклонение вибрационного параметра, найденного по ограниченной выборке;

$$S_K(j) = \left[\frac{1}{(j-1)} \sum_{i=2}^j (\tilde{U}_i - \langle U(j) \rangle)^2 \right]^{0,5},$$

где t_c – коэффициент Стьюдента; $t_c = f(j,p)$ за- табулированы; p – доверительная вероятность; U_i – скорректированный вибрационный параметр.

Общая вибрация, имеющая спектр с наибольшими октавными уровнями мощности в полосах со среднегеометрическими частотами от 1 до 16 Гц считается низкочастотной, с наибольшими октавными уровнями мощности в полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63 Гц и более-, средне- и высокочастотными.

В общем случае при любых видах заболеваний с временной утратой трудоспособ-

ности годовой экономической ущерб от воздействия вибрации W_B складывается из потерь национального дохода $H_{НГ}$ и годовой стоимости лечения $H_{СЛ}$:

$$W_B = H_{НГ} + H_{СЛ}, \text{ тыс.руб. в год} \quad (20)$$

$$H_{НГ} = \Delta T_{ПТ} \cdot H_G, \quad (21)$$

где $\Delta T_{ПТ}$ – трудовые потери за год в результате временной нетрудоспособности, представляющие сумму фактических дней нетрудоспособности члена экипажа гусеничной машины и среднему числу рабочих дней в году (255); H_G – национальный доход, производимый членом экипажа гусеничной машины за год, согласно статистическим данным, равный приблизительно:

$$H_G = A_{ПК} \cdot Z_G, \quad (22)$$

где Z_G – средняя годовая заработная плата члена экипажа гусеничной машины; $A_{ПК}$ – постоянный коэффициент, равный приблизительно 2,90.

Трудовые потери из-за роста числа дней временной нетрудоспособности от воздействия вибрации выражается:

$$\Delta T_1 = 0,706 \cdot 10^{-3} (L_p - 108), \quad (23)$$

где L_p – уровень мощности вибрации, воздействующий на члена экипажа.

Если представить, что полная смена экипажа гусеничной машины происходит через N лет и на каждый год приходится смена $1/N$ части экипажа, отработавших N лет и ушедших с виброопасной работы. Таким образом, число N обратно пропорционально коэффициенту k_T – текучести кадров членов экипажа. Здесь допускается, что при отсутствии текучести кадров ($k_T=0$), в качестве N принимается фактический стаж работы.

Степень утраты профессиональной трудоспособности членов экипажа гусеничных машин зависит от ее стадии. При вибрационной болезни первой стадии профессиональная трудоспособность не теряется. Руководствуясь методическими указаниями о порядке определения степени утраты профессиональной трудоспособности рабочих и служащих, получивших увечье либо иное повреждение здоровья, связанное с их работой, ВТЭК при вибрационной болезни 2-й и 3-й стадий устанавливает в среднем следующие степени утраты трудоспособности: $T_{2п}=20\%$, $T_{3п}=50\%$. Продолжительность частичной утраты профессиональной трудоспособности соответственно составляет: $t_{2п}=3$ года; $t_{3п}=5$ лет, а относительное распределение больных по стадиям $\gamma_{2п}$ и $\gamma_{3п}$ будет соответственно 0,75 и 0,25. Тогда средняя продолжительность частичной утраты трудоспособности членов экипажа гусеничных машин составляет:

сти членов экипажа гусеничных машин составляет:

$$t_{cp} = (\gamma_{2п} \cdot t_{2п} + \gamma_{3п} \cdot t_{3п}) / (\gamma_{2п} + \gamma_{3п}) = 3,5 \text{ года.} \quad (24)$$

Потерями, вызванными 4-й стадией вибрационной болезни, пренебрегают, так как больные составляют лишь десятые доли процента от всех работающих в условиях вибрации.

Не заболевшие члены экипажа гусеничной машины также теряют свою трудоспособность при работе в условиях вибрации, вследствие повышенной утомляемости. Распределение степени утраты профессиональной трудоспособности $T_{ПТ}$ зависит от относительного числа членов экипажа, заболевших вибрационной болезнью 2-й и 3-й стадий и не заболевших, но потерявших частично трудоспособность вследствие повышения утомляемости. Уравнение кривой распределения имеет вид:

$$T_{ПТ} = T_{01} (1-x)^{b-1}, \quad (25)$$

где x – относительное число заболевших членов экипажа от 0 до 1.

$$T_{01} = T_{3п} / \left(-0,5 \gamma_{3п} \cdot t_{3п} \left(\frac{P_N}{N} \right)^{b-1} \right), \quad (26)$$

$$b = 1 + \frac{\frac{\ln T_{2п}}{T_{2п}}}{\ln \left(1 - 0,5 \gamma_{2п} \cdot t_{2п} \frac{P_N}{N} \right)}, \quad (27)$$

где P_N / N – полное по всем группам относительное число членов экипажа, заболевших вибрационной болезнью в течение одного года; P_N – вероятность возникновения вибрационной болезни через N лет в условиях вибрации.

Средняя степень утраты профессиональной трудоспособности всех членов экипажа гусеничной машины равна:

$$\bar{\sigma}_{i0} = \int_0^1 \sigma_{i0} dx = \int_0^1 T_{01} (-x)^{b-1} dx = T_{01} / b, \quad (28)$$

Очевидно, что средняя степень утраты профессиональной трудоспособности всех членов экипажа $\bar{T}_{ПТ}$ представляет собой трудовые потери, вследствие вибрационной болезни и повышенного утомления:

$$\Delta T_2 = T_{01} / b, \quad (29)$$

С учетом выражений (10) и (11) и приведенных числовых значений после упрощения получаем:

$$\Delta T_2 = 0,694 / \left[1 + 0,524 \left(\frac{P_N}{N} \right)^b \right], \quad (30)$$

Ежегодный экономический ущерб в рублях от вредного воздействия локальной вибрации $W_{ВА}$ рассчитывается по выражению:

**ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОЦИАЛЬНОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ**

$$W_{BA} = \Delta T \cdot H_{\bar{A}} \cdot Z_p + H_{\bar{N}\bar{E}} \left(\frac{N}{100} \cdot \frac{N}{2} \right) \cdot Z_p, \quad (31)$$

где $H_{\bar{A}} = \dot{A}_{i\bar{E}} \left(1 + \frac{\alpha_i}{100} \cdot \frac{N}{2} \right)$ - средняя годовая величина национального дохода, создаваемого одним рабочим в течение N лет в условиях вибрации; $\Delta \dot{O}_{i\bar{O}} = \Delta \dot{O}_{01} + \Delta \dot{O}_{02}$ - полные трудовые потери; Z_p - число работающих, подвергающихся воздействию вибрации; Z_r - средняя годовая заработная плата рабочего после снижения уровня вибрации;

α_{π} - планируемый ежегодный рост производительности труда.

Вибрационная болезнь от воздействия общей средне- и высокочастотной, локальной вибрации имеет более тяжелый характер и длительное течение, чем вибрационная болезнь от воздействия локальной вибрации. Это наиболее характерно для работающих на гусеничных машинах.

Данные о влиянии вибраций на потерю трудоспособности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Воздействие общей, среднечастотной, высокочастотной и локальной вибраций на организм работающего

Стадия болезни	Степень утраты профессиональной трудоспособности	Продолжительность утраты трудоспособности	Относительное распределение больных по стадиям	Примечания
2-я ст.	25%	9 лет	0,75	
3-я ст.	60%	15 лет	0,25	Инвалидность второй группы

Таким образом, с учетом выше изложенного, трудовые потери из-за вибрационной болезни и повышенного утомления здоровых членов экипажа можно определить по выражению:

$$\Delta T_2 = 0,82 / \left[1 + 0,157 \left(\frac{N}{P_N} \right)^2 \right] \quad (32)$$

Ежегодный экономический ущерб для всего экипажа от вредного воздействия общей вибрации можно определить по выражению (13), имея в виду, что величина $H_{сл} = 190000$ рублей в ценах 2008 года для России.

Так как ранее установлено, что при заболеваниях от вибрации на каждого заболевшего приходится в среднем 29,3 рабочих дня утраты трудоспособности, а количество дней нетрудоспособности зависит от уровня мощности вибрации и стажа работающего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананиашвили, Д. П. Охрана окружающей среды: модели социально-экономического прогноза / Д.П. Ананиашвили, Л.Г. Барский, К. Гофман. – М.: Экономика, 1982. – 224 с.
2. Варшавский, И. Л. Как обезвредить отработавшие газы автомобиля / И.Л. Варшавский, Р.В. Малов. – М.: Транспорт, 1968. – 127 с.
3. Вибрация в технике: справочник. В 6 т. Т. 6. / Под ред. В.Н. Челомея. – М.: Машиностроение, 1984. – 456 с.
4. Вульфсон, И. И. Колебания в машинах: учеб. пос. для вузов. – 2-е изд., доп. – СПб: СПбГУТД, 2006. – 260 с.

5. Карпова, Н. И. Вибрация и нервная система / Н.И. Карпова. – Л.: Медицина, 1976. – 167 с.
6. Ключин, И. М. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И.М. Ключин. – Л.: Судостроение, 1971. – 416 с.
7. Корчагин, В. А. Оценка экологического качества дизеля и карбюраторного двигателя / В.А. Корчагин, Ю.Н. Евсеева / Научн.техн.конф. (2003 ; Москва). «Луканинские чтения Проблемы и перспективы развития автотранспортных комплексов», 4-5 февр. 2003 г. – М.: Изд. МАДИ, 2003. – С.135-137.
8. Новоселов, А. Л. Снижение вредных выбросов дизелей / А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 139 с.
9. Самойлюк, Е. П. Экономический ущерб от шума, излучаемого АТС / Е.П. Самойлюк, Н.Е. Конарева // Автомобильная промышленность. – №7. – 1985. – С.4-5.
10. Смайлис, В. И. Малотоксичные дизели. – Л.: Машиностроение, 1972. – 128 с.
11. Суворов, Г. А. Вибрация и защита от нее / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко. – М.: Охрана труда и социальное страхование, 2001. – 230 с.
12. Суворов, Г. А. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций: научно-популярная литература / Г.А. Суворов, Л.Н. Каринин, Э.И. Денисов. – М.: Медицина, 1984. – 240 с.: ил.
13. Щегалов, И. Л. Экологическая роль транспортных двигателей // Двигателестроение. – №8. – 1986. – С.56-60.