

МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОРПОРАЦИИ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ОБУЧЕНИЕМ

В. В. Цыганов

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

✉ bbc@ipu.ru

Аннотация. Устойчивое развитие транспортной корпорации достигается последовательным сбалансированным улучшением ее экономических и экологических показателей. Этому в решающей степени способствует снижение расхода топлива ее транспортными средствами, экономящее издержки и уменьшающее вредные выбросы в окружающую среду. В связи с этим рассмотрена трехуровневая структура управления расходом топлива в транспортной корпорации в условиях неопределенности, вызываемой как случайными внешними факторами, так и нежелательной активностью сотрудников корпорации, связанной с наличием у них собственных целей, не совпадающих с целью корпорации в целом. На верхнем уровне этой структуры находится Центр, на среднем – Интендант, ответственный за расход топлива в подразделении корпорации, а на нижнем – Водитель принадлежащего корпорации транспортного средства. Моделируется устойчивое поведение сотрудников корпорации (Интенданта и Водителя), ориентированное на снижение расхода топлива в пределах их компетенции. Разработан организационный механизм устойчивого поведения Интенданта, включающий процедуры контролируемого обучения Центра и стимулирования интенданта. Предложен также организационный механизм устойчивого поведения Водителя, основанный на предоставлении Центром возможностей Интенданту для контролируемого обучения, а также на делегировании Центром Интенданту полномочий стимулирования Водителя. Доказано, что комплексирование этих двух механизмов обеспечивает снижение расхода топлива и устойчивое развитие транспортной корпорации. При этом устойчивое поведение ее сотрудников – Интенданта и Водителя – обеспечивает устойчивость корпорации. Полученные результаты проиллюстрированы на примере механизма управления расходом топлива в холдинге «РЖД».

Ключевые слова: транспорт, корпорация, устойчивое развитие, управление, цифровизация, обучение, устойчивое поведение.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие (англ. *sustainable development*) подразумевает «удовлетворение потребностей сегодняшнего дня, которое не лишает будущие поколения возможности удовлетворить их собственные потребности» [1]. Текущие цели глобального устойчивого развития [2] включают:

- эффективное использования ресурсов;
- уменьшение выбросов, вредных для здоровья людей и окружающей среды;
- создание механизмов планирования и управления, связанных с изменением климата.

В ряду этих целей выделяется создание экономических и экологических транспортных систем [2]. На транспорт приходится 20–25 % мирового потребления энергии и выбросов углекислого газа [3]. Почти 97 % выбросов транспортом вредных веществ в атмосферу приходится на газы, образующиеся в процессе сжигания топлива [4]. В их числе – оксиды азота и твердые частицы, отрицательно влияющие на здоровье людей [5], а также оксиды углерода и углеводороды, относящиеся к парниковым газам [6]. При этом среди всех отраслей экономики наиболее быстрым ростом выбросов парниковых газов отличается транспортная отрасль [7].



Таким образом, для устойчивого развития транспорта важна как его эффективность, так и воздействие на окружающую среду [8]. Для достижения глобальных целей необходимо применение компаниями устойчивых методов хозяйствования [2]. В связи с этим в последние десятилетия получила широкое распространение концепция устойчивого развития компаний (ESG) на принципах ответственного отношения к окружающей среде (E – *environment*), социальной ответственности (S – *social*) и эффективного корпоративного управления (G – *governance*) [9]. Соответственно, цели устойчивого развития транспортной корпорации связаны с улучшением экономических и экологических ее показателей как с помощью улучшения технологий, так и путем активизации, обучения и развития сотрудников (см., например, источники [10, 11]). Изучение связанных с этим психологических аспектов устойчивого развития началось в работе [12]. Дальнейшие исследования привели к формированию представления об устойчивом поведении [13]. Такое поведение подразумевает понимание работником важности повышения эффективности производственной деятельности при сохранении окружающей среды. Следствием устойчивого поведения является бережливое отношение к используемым ресурсам и окружающей среде, которые ведут к чувству удовлетворения и внутренней мотивации сотрудников [13].

При этом необходимо учитывать, что подавляющее большинство корпоративных транспортных средств (КТС) оборудованы двигателями внутреннего сгорания. На эти КТС приходится большая часть расхода топлива корпораций. Например, до 80 % топлива ОАО «РЖД» расходуют локомотивы с дизельными двигателями – тепловозы [10]. Поэтому экономия топлива КТС непосредственно сказывается на снижении затрат ресурсов и издержек корпорации, а также выбросов вредных веществ в выхлопных газах (в том числе парниковых газов). Исходя из этого, транспортные корпорации стремятся минимизировать расход топлива КТС путем обучения и активизации сотрудников (см., например, источники [10, 11]). Привитие сотрудникам психологии устойчивого поведения позволяет беречь топливо КТС, снижая тем самым как эксплуатационные расходы, так и выбросы загрязняющих веществ, а также обеспечивая соблюдение нормативных требований в области охраны окружающей среды.

Тем не менее, регулярно встречаются неподвижные КТС с двигателями, работающими на холостом ходу. Дело в том, что в практике планирования крупной транспортной корпорации будущие лимиты (нормы) расхода топлива ее подраз-

делением и отдельным работником обычно снижаются при снижении текущего расхода топлива. Однако чем ниже лимиты (нормы), тем меньше топлива имеется в распоряжении подразделения и работника корпорации для выполнения поставленных перед ними задач. А поскольку расход топлива зависит от случайных факторов, то при неблагоприятных обстоятельствах подразделение и работник корпорации могут не выполнить эти задачи с вытекающими отсюда негативными последствиями. Поэтому дальновидный менеджер подразделения, как и опытный водитель КТС, могут быть не заинтересованы в снижении расхода топлива ниже нормы. Это типичная проблема адаптивного планирования от достигнутого уровня, являющаяся предметом изучения в теории управления организационными системами [14]. Подход к решению такого рода проблем связан с проектированием организационных механизмов функционирования корпораций [15]. Например, в статье [16] рассмотрен механизм стимулирования внедрения экологических требований к локомотивам в ОАО «РЖД».

В данной статье разрабатываются модели обучения, активизации и устойчивого поведения менеджера и сотрудника подразделения корпорации, ориентированные на снижение расхода топлива КТС, и соответствующие организационные механизмы устойчивого развития транспортной корпорации.

1. УСТОЙЧИВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ИНТЕНДАНТА

1.1. Общие предположения

Топливо в корпорации расходуется как на обеспечение потребностей КТС (например, грузовиков или тепловозов), так и на прочие нужды. Эти потребности и нужды зависят от случайных внешних и внутренних факторов, многие из которых становятся известны лишь узкому кругу причастных лиц непосредственно в процессе выполнения ими своих обязанностей. Соответственно, будем предполагать, что лицо, ответственное за расход топлива в корпорации (кратко – Центр) не имеет точной информации о реальных возможностях снижения расхода топлива в ее подразделении и его КТС. Но Центр может воспользоваться советами Консультанта. Оба они получают информацию о фактических расходах топлива подразделением. Кроме того, Центр может устанавливать нормы такого расхода. На основании отклонения фактических расходов топлива от норм Центр может стимулировать лицо, ответственное за расход топлива в подразделении (кратко – Интенданта). При этом Центр не может определить, является ли фак-

тический расход топлива в подразделении минимально достижимым в сложившихся условиях.

Исходя из вышесказанного, рассмотрим трехуровневую систему управления расходом топлива в корпорации, на верхнем уровне которой находится управляющий орган (Центр), на среднем – лицо, ответственное за расход топлива в подразделении (Интендант) и на нижнем – водитель КТС (Водитель). Требуется построить организационный механизм функционирования этой системы, обеспечивающий минимальный расход топлива в условиях неопределенности, обусловленной как случайными внешними факторами, так и нежелательной активностью сотрудников корпорации (Интенданта и Водителя), связанной с наличием у них собственных целей, не совпадающих с целью Центра.

Введем следующие обозначения: t – период времени, $t = 0, 1, \dots$; d_t – расход топлива подразделением в периоде t , складывающийся из расхода топлива КТС c_t и прочего расхода топлива подразделением s_t : $d_t = c_t + s_t$. Значение c_t Водитель сообщает Интенданту в периоде t . При этом предполагается, что $c_t \in C_t = [L(t), \gamma]$, где $L(t)$ – стационарный случайный процесс, определяющий реализацию (значение) l_t случайной величины минимального расхода топлива КТС в периоде t , $L(t) \in \Lambda = [\delta, \varepsilon]$, $\delta > 0$, $\varepsilon \leq \gamma$. Следовательно, $c_t \in C = [\delta, \gamma]$, $t = 0, 1, \dots$

Прочий расход топлива s_t в периоде t определяется самим Интендантом, $s_t \in S_t = [M(t), \alpha]$. Здесь $M(t)$ – стационарный случайный процесс, определяющий реализацию (значение) m_t случайной величины минимального прочего расхода топлива, $M(t) \in M = [\mu, \beta]$, $\mu > 0$, $\beta \leq \alpha$. Следовательно, $s_t \in \Sigma = [\mu, \alpha]$, $t = 0, 1, \dots$

Учитывая, что $d_t = c_t + s_t$, получаем $d_t \in \Psi_t = [A(t), \alpha + \gamma]$, где $A(t) = L(t) + M(t)$ – стационарный случайный процесс, определяющий реализацию (значение) a_t случайной величины минимального расхода топлива подразделением, $a_t = l_t + m_t$, $t = 0, 1, \dots$. При этом, из $c_t \in C = [\delta, \gamma]$ и $s_t \in \Sigma = [\mu, \alpha]$ следует, что $d_t \in \Delta = [\delta + \mu, \alpha + \gamma]$.

Предполагается, что в периоде t Центру известен фактический расход топлива подразделением d_t . Однако ему неизвестна реализация (значение)

a_t случайной величины минимального расхода топлива подразделением. Чтобы стимулировать Интенданта к снижению расхода топлива в условиях неопределенности, Центр присваивает ему одну из двух категорий – первой (обоснованный расход) и второй (необоснованный расход), пользуясь знанием расхода d_t , $t = 0, 1, \dots$. Необходимо сделать это с минимальными потерями.

1.2. Полная и частичная осведомленность Центра

В этом пункте предполагается, что в периоде t Центр знает реализацию a_t случайной величины минимального расхода топлива подразделением, $a_t = l_t + m_t$, $t = 0, 1, \dots$. Эту реализацию характеризует безразмерный относительный показатель $e_t = a_t / (\alpha + \gamma)$, $0 < e_t \leq 1$, $e_t \in D = [(\delta + \mu) / (\alpha + \gamma), 1]$, $t = 0, 1, \dots$. Задача состоит в том, чтобы присвоить Интенданту категорию 1 или 2, отнеся e_t к одному из двух неизвестных подмножеств D_1 и D_2 , составляющих множество D , $D_1 \cup D_2 = D$.

При полной осведомленности Центру известно, что показатель e_t принадлежит, с условной плотностью распределения $\epsilon(e_t | \eta)$ и априорной вероятностью ζ_η , $\eta = \overline{1, 2}$, к одному из двух подмножеств D_1 и D_2 , $D_1 \cup D_2 = D$. Обозначим q_{12} потери, возникающие из-за ошибочного отнесения Центром e к подмножеству D_2 , если на самом деле e принадлежит подмножеству D_1 , а q_{21} – потери, возникающие при ошибочном отнесении Центром e к подмножеству D_1 , если на самом деле e принадлежит подмножеству D_2 .

Введем параметр классификации p , разделяющий подмножества D_1 и D_2 . При этом $e \in D_1 = [(\delta + \mu) / (\alpha + \gamma), p]$, если $e \leq p$, иначе $e \in D_2 = (p, 1]$. Тогда оптимальная дихотомия $\{D_1, D_2\}$ определяется в результате решения задачи оптимизации по p , при которой минимизируются средние потери категоризации:

$$\sum_{\eta=1}^2 \sum_{\theta=1}^2 q_{\eta\theta} \int_{D_\theta} \zeta_\eta \epsilon(e | \eta) de \xrightarrow{\{D_1, D_2\}} \min. \quad (1)$$

Здесь θ – переменная, по которой происходит суммирование, $\theta = \overline{1, 2}$, D_θ , $\theta = \overline{1, 2}$, – подмножества D_1 и D_2 .



При частичной осведомленности Центру неизвестны указанные выше вероятностные характеристики. Следовательно, нельзя определить значение параметра p , решая задачу (1). Но можно, наблюдая случайную реализацию a_t минимального расхода топлива подразделением, $t = 0, 1, \dots$, получать и последовательно уточнять оценки p_t величины p , используя алгоритм контролируемого обучения с помощью Консультанта [17]. При этом Консультант, зная показатель расхода топлива (e_t), сообщает Центру свое мнение $B(e_t)$ о том, избыточен ли этот расход ($B(e_t) = 1$) или нет ($B(e_t) = 0$):

$$B(e_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_t > p, \\ 0, & \text{если } e_t \leq p, \end{cases} \quad (2)$$

$$t = 0, 1, \dots$$

где $B(\cdot)$ – процедура консультирования. Тогда Центр может использовать алгоритм контролируемого обучения [17]

$$p_{t+1} = P(p_t, e_t) = p_t - \iota_t [p_t - 0,5 -$$

$$-q_{12} + (q_{12} + q_{21})B(e_t)], \quad (3)$$

$$p_0 = p^0, \quad t = 0, 1, \dots$$

где $\iota_t \in I = \left\{ \iota_t > 0 \mid \iota_t > \iota_{t+1}, \sum_{\sigma=1}^{\infty} \iota_{\sigma} < \infty \right\}$. Если $e_t \leq p_t$,

то Центр присваивает Интенданту первую категорию, в противном случае – вторую. Таким образом, категория Интенданта

$$k_t = G(p_t, e_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_t \leq p_t, \\ 2, & \text{если } e_t > p_t, \end{cases} \quad (4)$$

$$t = 0, 1, \dots$$

1.3. Неосведомленность и контролируемое обучение Центра

Предположим теперь, что Центр и Консультант не знают не только указанные выше вероятностные характеристики, но и минимальный расход топлива a_t . Однако им известен фактический его расход d_t . Введем относительный показатель этого расхода $i_t = d_t / (\alpha + \gamma)$, $0 < i_t \leq 1$, $i_t \in D = [(\delta + \mu) / (\alpha + \gamma), 1]$, $i_t \geq e_t$, $t = 0, 1, \dots$. Тогда Консультант определяет свое мнение, используя в процедуре (2) наблюдаемый показатель i_t вместо

неизвестного e_t . Именно, узнав i_t , Консультант сообщает Центру свое мнение $B(i_t)$ о том, избыточен ли этот расход ($B(i_t) = 1$) или нет ($B(i_t) = 0$):

$$B(i_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } i_t > p, \\ 0, & \text{если } i_t \leq p, \end{cases} \quad (5)$$

$$t = 0, 1, \dots$$

Соответственно, Центр рассчитывает оценку b_t параметра p_t с помощью формулы (5), заменив в алгоритме (3) неизвестное e_t на наблюдаемое i_t :

$$b_{t+1} = P(b_t, i_t) = b_t - \iota_t [b_t - 0,5 -$$

$$-q_{12} + (q_{12} + q_{21})B(i_t)], \quad (6)$$

$$b_0 = p^0, \quad t = 0, 1, \dots,$$

где $P(\cdot)$ – процедура обучения. Сопоставляя i_t и b_t по аналогии с формулой (4), Центр определяет категорию g_t расхода топлива в подразделении, возглавляемом Интендантом:

$$g_t = G(b_t, i_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } i_t \leq b_t, \\ 2, & \text{если } i_t > b_t, \end{cases} \quad (7)$$

$$t = 0, 1, \dots,$$

где $G(\cdot)$ – процедура категоризации. По сути, значение b_t имеет смысл нормативного значения показателя i_t , в зависимости от которого определяется категория Интенданта. Принимая во внимание, что $i_t = d_t / (\alpha + \gamma)$, получаем, что $h_t = b_t (\alpha + \gamma)$ имеет смысл порогового значения расхода топлива подразделением (d_t). Если этот порог не превышен (т. е. если $d_t \leq h_t$), то Интендант получает первую категорию ($g_t = 1$) и поощрение. В противном случае ($g_t = 2$) Интендант не поощряется (или наказывается).

Процедуры консультирования (5), обучения (6) и категоризации (7) составляют организационный механизм Центра $\Phi = (B, P, G)$, предназначенный для управления расходом топлива в подразделении.

1.4. Цели и решения Интенданта при контролируемом обучении Центра

Используя механизм $\Phi = (B, P, G)$, Центр обучается с подсказкой Консультанта, назначает категорию и стимулирует Интенданта, основываясь на

наблюдении d_t и расчете показателя i_t , $t=0,1,\dots$. Однако Интендант лучше осведомлен о расходах топлива, чем Центр, и может использовать это в своих интересах. Предполагается, что, с началом периода t Интенданту становятся известны фактический расход топлива КТС c_t и реализация m_t случайной величины минимального прочего расхода топлива. После этого Интендант выбирает значение d_t , исходя из условия $d_t \geq f_t \equiv c_t + m_t$, так что $d_t \in Y_t = [f_t, \beta + \gamma]$, $f_t \in H = [\delta + \mu, \beta + \gamma]$, $t=0,1,\dots$.

Рассмотрим, как Интендант принимает решения при механизме $\Phi = (B, P, G)$. Дальновидный Интендант стремится выбрать значение d_t в периоде t так, чтобы улучшить как текущую, так и будущие категории. Для этого он может управлять величиной s_t прочего расхода топлива подразделением, а также величиной c_t расхода топлива КТС. Формально выбор d_t обусловлен стремлением Интенданта увеличить полезность категорий в периоде t :

$$T_t = T[g_t, \overline{g_{t+1}, \dots, g_{t+\lambda}}], \quad (8)$$

$$T_t \downarrow g_v, v=1, \lambda, t=0,1,\dots,$$

где $T[\cdot]$ – монотонно убывающая функция своих аргументов (поскольку полезность любой категории для Интенданта убывает с ее номером); λ – дальновидность Интенданта.

Согласно процедуре (7) категория g_t зависит только от выбора Интендантом расхода топлива d_t , $d_t \in Y_t$. Однако для того, чтобы увеличить текущую полезность категорий (8), Интенданту нужно учитывать влияние d_t на категорию g_ξ , которую он получит в том или ином будущем периоде ξ , $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. Согласно формуле (7) эта категория g_ξ зависит от выбора Интенданта d_ξ и оценки b_ξ в этом периоде. Далее, согласно выражению (6), оценка b_ξ зависит от выборов Интенданта d_ω и оценок b_ω в предыдущих периодах ω , $\omega = \overline{t, \xi-1}$. Рассматривая формулу (6) как рекуррентное соотношение, нетрудно получить, что категория g_ξ зависит от предыдущих выборов Интенданта d_ω , $\omega = \overline{t, \xi-1}$.

Заметим, что в начале периода ξ Интендант будет знать реализацию $f_\xi = c_\xi + m_\xi$, $f_\xi \in H$,

$\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. Предположим, что при этом Интенданту будут также известны будущие расходы топлива КТС c_σ и прочие расходы топлива m_σ , $\sigma = \overline{\xi+1, t+\lambda}$. Тогда Интендант может выбрать значение d_ξ так, чтобы максимизировать функцию (8) при известной реализации f_σ , $\sigma = \overline{\xi+1, t+\lambda}$ с учетом условия $d_\xi \in Y_\xi$, $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. При этом, как было показано выше, Интенданту нужно учитывать влияние d_ξ на будущие категории g_σ , $\sigma = \overline{\xi+1, t+\lambda}$.

Повторяя эти рассуждения последовательно, начиная с $\xi = t+\lambda$ и заканчивая $\xi = t+1$, получаем, что дальновидному Интенданту целесообразно прогнозировать выборы d_ξ в обратной последовательности. В результате функция (8) преобразуется в прогнозную полезность категорий

$$T_t^o = T_t^o(g_t, f_{t+1}, \dots, f_{t+\lambda}) = \max_{d_{t+1} \in Y_{t+1}} \max_{d_{t+2} \in Y_{t+2}} \dots \max_{d_{t+\lambda} \in Y_{t+\lambda}} T_t, \quad (9)$$

которая зависит от реализаций f_ξ , $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$.

Однако Интенданту неизвестны как будущие расходы топлива КТС c_ξ , так и прочие расходы топлива m_ξ . Поэтому, чтобы выбрать значение d_t , увеличивающее прогнозную полезность категорий (9), Интендант должен иметь прогнозы расходов $f_\xi = c_\xi + m_\xi$, $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. Предположим, что Интендант, руководствуясь принципом максимального гарантированного результата [14, 15], рассчитывает на самые неблагоприятные прогнозы $f_\xi \in H$, $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. Тогда функция (9) преобразуется в целевую функцию Интенданта

$$\Gamma_t(d_t) = \min_{f_{t+1} \in H} \max_{d_{t+1} \in Y_{t+1}} \min_{f_{t+2} \in H} \max_{d_{t+2} \in Y_{t+2}} \dots \min_{f_{t+\lambda} \in H} \max_{d_{t+\lambda} \in Y_{t+\lambda}} T_t. \quad (10)$$

При этом множество его оптимальных выборов d_t^* , при которых достигается максимум целевой функции (10) в периоде t , имеет вид:

$$\Xi_t = \{d_t^* \in \Delta \mid \Gamma_t(d_t^*) \geq \Gamma_t(d_t), d_t \in \Delta\}, \quad (11)$$

$$t=0,1,\dots$$

Ниже предполагается гипотеза о благожелательности Интенданта по отношению к Центру: если $f_t \in \Xi_t$, то $d_t^* = f_t$, $t=0,1,\dots$. Это означает, что подразделение расходует больше топлива, только если это увеличивает целевую функцию Интенданта (10).



1.5. Организационный механизм устойчивого поведения Интенданта

Механизм $\Phi = (B, P, G)$ призван обеспечивать устойчивое поведение Интенданта, направленное на улучшение как экономических, так и экологических показателей корпорации. В соответствии с вышесказанным, такое поведение должно выражаться в стремлении Интенданта уменьшить расход топлива подразделением. Формально это отражает следующее

Определение 1. Поведение Интенданта устойчиво, если, при любом заданном расходе топлива КТС c_t расход топлива в подразделении минимален:

$$d_t^* = f_t, \quad t = 0, 1, \dots \quad (12)$$

С точки зрения практики, как уже указывалось, крупные корпорации часто планируют расход топлива от достигнутого уровня. При этом будущая норма этого расхода снижается при снижении фактического расхода топлива. В рассматриваемой модели это означает, что норматив b_{t+1} , имеющий смысл нормативного значения показателя i_{t+1} в периоде $t+1$, снижается при снижении текущего показателя расхода топлива i_t . Однако, согласно процедуре (6), чем ниже норматив b_{t+1} , тем меньше должен быть показатель расхода топлива i_{t+1} в периоде $t+1$, достаточный для получения Интендантом высшей категории. А поскольку $i_{t+1} \geq e_{t+1}$, где e_{t+1} — случайная величина, то при неблагоприятных обстоятельствах Интендант может получить низшую категорию. Поэтому дальновидный Интендант может быть не заинтересован в снижении показателя расхода топлива i_t ниже норматива b_t (за выполнение которого он получает высшую категорию в периоде t). В связи с этим необходим механизм управления, мотивирующий Интенданта к устойчивому поведению.

Утверждение 1. Поведение Интенданта при механизме $\Phi = (B, P, G)$ устойчиво.

Доказательство. Из формулы (5) следует, что $B(i_\xi)$ не убывает с ростом i_ξ при механизме $\Phi = (B, P, G)$, $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. А поскольку, согласно формуле (6), $b_{\xi+1}$ не увеличивается с ростом $B(i_\xi)$, то $b_{\xi+1}$ не увеличивается с ростом i_ξ , $\xi = \overline{t, t+\lambda-1}$. Кроме того, согласно выражению (7), $g_\xi = G(b_\xi, i_\xi)$ не увеличивается с ростом b_ξ , $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$. Из вышесказанного

следует, что $g_\xi = G(b_\xi, i_\xi)$ не убывает с ростом i_t , $\xi = \overline{t+1, t+\lambda}$.

Кроме того, из формулы (7) следует, что $g_t = G(b_t, i_t)$ не убывает с ростом i_t . Таким образом, все аргументы функции $T[g_t, g_{t+1}, \dots, g_{t+\lambda}]$ не убывают с ростом i_t . Поэтому, согласно выражению (8), T_t не увеличивается с ростом i_t при любых реализациях $c_{t+1}, \dots, c_{t+\lambda}, m_{t+1}, \dots, m_{t+\lambda}$. Но тогда, согласно формуле (10), максимум функции $\Gamma_t(d_t)$ достигается при минимальном i_t . Отсюда, учитывая, что $i_t = d_t / (\alpha + \gamma)$, получаем, что максимум функции $\Gamma_t(d_t)$ достигается при минимальном d_t . А так как $d_t = c_t + s_t$, то, согласно выражению (11), $d_t = f_t \in \Xi_t$. Но в силу гипотезы о благожелательности Интенданта по отношению к Центру, если $f_t \in \Xi_t$, то $d_t^* = f_t$. Следовательно, по определению (12) поведение Интенданта устойчиво. ♦

По сути, при механизме $\Phi = (B, P, G)$ снижение расхода топлива подразделением, во-первых, не ухудшает текущую категорию Интенданта (7), а во-вторых, не ужесточает нормы расхода топлива в будущем. Тогда при благожелательности к Центру Интендант минимизирует расход топлива подразделением (12).

Однако одного желания Интенданта минимизировать расход топлива подразделения недостаточно. На практике на дорогах часто встречаются стоящие КТС с работающими двигателями. Чтобы этого избежать, нужно, чтобы в минимизации расхода топлива был заинтересован водитель каждого КТС.

2. УСТОЙЧИВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВОДИТЕЛЯ

2.1. Неосведомленность и контролируемое обучение Интенданта

Выбрав механизм $\Phi = (B, P, G)$, Центр обеспечивает устойчивое поведение Интенданта, направленное на минимизацию расхода топлива $f_t = c_t + m_t, t = 0, 1, \dots$. Здесь c_t — расход топлива КТС, сообщаемый Водителем, $c_t \in C_t = [l_t, \gamma]$ (см. п. 1.1). Но Интендант не знает реализации l_t минимального расхода топлива КТС. Для снижения расхода топлива до минимума требуется обеспечить $c_t = l_t, t = 0, 1, \dots$

Предположим, что минимальный расход топлива КТС (l_t) становится известен Водителю в начале периода t . Поскольку Интенданту значение

l_t неизвестно, то Водитель может манипулировать расходом топлива КТС c_t , выбирая $c_t > l_t$, если ему это выгодно. Интендант же должен минимизировать расход топлива КТС c_t , $t = 0, 1, \dots$. Для этого Центр предоставляет Интенданту возможность контролируемого обучения, а также делегирует Интенданту право устанавливать механизм функционирования Водителя, подобный механизму $\Phi = (B, P, G)$ (который сам Центр использует для управления Интендантом, см. п. 1.3).

Введем безразмерные относительные показатели – метрики расхода топлива КТС:

$$k_t = l_t / \gamma, \quad K_t = c_t / \gamma, \quad t = 0, 1, \dots \quad (13)$$

Тогда Интендант должен снизить значение метрики K_t до минимума k_t . Предположим, что для этого Интендант классифицирует работу Водителя в зависимости от расхода топлива КТС как удовлетворительную (класс 1) или неудовлетворительную (класс 0). Неправильная классификация приводит к издержкам. Для повышения обоснованности решений Интендант обучается классификации с помощью Оценщика подобно тому, как Центр обучается категоризации с помощью Консультанта (см. п. 1.3).

Обозначим ρ_{10} издержки, возникающие из-за неправильного присвоения Водителю класса 0 (хотя Водитель заслуживает присвоения класса 1), а ρ_{01} – издержки, возникающие из-за неправильного присвоения Водителю класса 1. Оценщик наблюдает расход топлива КТС (c_t), рассчитывает K_t согласно формуле (13) и сообщает Интенданту свое мнение $R(K_t)$ о том, является ли расход топлива КТС в периоде t избыточным. Формально, если Оценщик считает расход избыточным, то $R(K_t) = 1$, в противном случае $R(K_t) = 0$:

$$R(K_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } K_t > \varsigma, \\ 0, & \text{если } K_t \leq \varsigma, \end{cases} \quad t = 0, 1, \dots, \quad (14)$$

где $R(\cdot)$ – процедура оценки; ς – параметр оценки, $\varsigma > 0$. Заметим, что процедура оценки (14) подобна процедуре консультирования (5). Повторяя рассуждения, проведенные в § 1, получаем, что для минимизации средних издержек классификации можно использовать алгоритм контролируемого обучения, подобный процедуре (6). Соответственно, настраиваемый параметр классификации (кратко – норма u_t) вычисляется с помощью рекуррентной процедуры, подобной формуле (6):

$$\begin{aligned} u_{t+1} &= U(u_t, K_t) = u_t - \varrho_t [u_t - 0,5 - \\ &\quad - \rho_{01} + (\rho_{01} + \rho_{10}) R(K_t)], \\ u_0 &= u^0, \quad t = 0, 1, \dots, \end{aligned} \quad (15)$$

где $U(u_t, K_t)$ – процедура нормирования, $\varrho_t \in P = \left\{ \varrho_t > 0 \mid \varrho_t > \varrho_{t+1}, \sum_{\sigma=1}^{\infty} \varrho_{\sigma} < \infty \right\}$, $t = 0, 1, \dots$. Составляя K_t и u_t , по аналогии с процедурой (7), Интендант определяет класс Водителя (v_t):

$$v_t = V(u_t, K_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } K_t \leq u_t, \\ 0, & \text{если } K_t > u_t, \end{cases} \quad t = 0, 1, \dots \quad (16)$$

где $V(\cdot)$ – процедура классификации. Величина u_t имеет смысл нормативного значения показателя K_t , в зависимости от которого определяется класс Водителя. Принимая во внимание, что $K_t = c_t / \gamma$, получаем, что величина $n_t = \gamma u_t$ имеет смысл порогового значения расхода топлива Водителем (c_t). Если этот порог не превышен (т. е. если $c_t \leq n_t$), то Водитель получает первый класс ($v_t = 1$) и поощрение. Процедуры оценки (14), нормирования (15) и классификации (16) составляют организационный механизм Интенданта $\Pi = (R, U, V)$, используемый для управления расходом топлива Водителем.

2.2. Цели и решения Водителя при неосведомленности Интенданта

Рассмотрим, как Водитель принимает решения при механизме $\Pi = (R, U, V)$. Норма u_t в этом механизме имеет смысл верхней границы приемлемого для Интенданта показателя расхода топлива КТС. Если показатель расхода топлива K_t не превышает норму u_t ($K_t \leq u_t$), то Водителю присваивается класс 1 ($v_t = 1$), и он поощряется. Поэтому полезность дальновидного Водителя растет с текущим и v будущими классами:

$$\begin{aligned} Z_t &= Z[v_t, v_{t+1}, \dots, v_{t+v}], \\ Z_{\varphi} &\uparrow v_{\varphi}, \quad \varphi = t, t+v, \quad t = 0, 1, \dots \end{aligned} \quad (17)$$

Согласно формулам (13)–(16) полезность (17) зависит от расхода топлива КТС c_{φ} в периоде φ , $\varphi = t, t+v$. При этом Водитель знает текущую



реализацию случайной величины l_t , но не знает будущих реализаций l_χ , $\chi = t+1, t+\nu$.

Предположим, что Водителю известно лишь, что $l_\chi \in \Lambda$ и $c_\chi \in C_\chi$, $\chi = t+1, t+\nu$. При устранении неопределенности в отношении l_χ и c_χ , $\chi = t+1, t+\nu$, Водитель руководствуется принципом максимального гарантированного результата [14, 15]. Тогда, повторяя рассуждения, проведенные в § 1, получаем, что целевая функция дальновидного Водителя $\Theta_t(c_t)$ равна максимальной гарантированной полезности (17):

$$\Theta_t(c_t) = \min_{l_{t+1} \in \Lambda} \max_{c_{t+1} \in C_{t+1}} \min_{l_{t+2} \in \Lambda} \max_{c_{t+2} \in C_{t+2}} \dots \min_{l_{t+\nu} \in \Lambda} \max_{c_{t+\nu} \in C_{t+\nu}} Z_t. \quad (18)$$

Соответственно, в периоде t множество показателей c_t^* , при которых достигается максимум целевой функции (18), имеет вид:

$$\Omega_t = \{c_t^* \in C_t \mid \Theta_t(c_t^*) \geq \Theta_t(c_t), c_t \in C_t\}, \quad t = 0, 1, \dots \quad (19)$$

Примем гипотезу благожелательности Водителя к Интенданту: если $c_t \in \Omega_t$, то $c_t^* = l_t$, $t = 0, 1, \dots$. Это означает, что КТС расходует больше топлива, только если это увеличивает целевую функцию Водителя (18).

2.3. Организационный механизм устойчивого поведения Водителя

Целью Интенданта является снижение расхода топлива c_t до минимума l_t . Этому может воспрепятствовать использование Интендантом планирования от достигнутого уровня, о котором говорилось выше. В рассматриваемом случае это означает, что норма u_{t+1} снижается при снижении значения метрики расхода топлива K_t . Однако, согласно формуле (16), чем ниже норма u_{t+1} , тем меньше топлива должен израсходовать Водитель, чтобы получить класс 1 в периоде $t+1$ ($v_{t+1} = 1$). А поскольку $K_{t+1} \geq k_{t+1}$, а минимально возможная метрика расхода топлива k_{t+1} является случайной величиной, то при неблагоприятных обстоятельствах Водитель может получить класс $v_{t+1} = 0$. По этим причинам дальновидный Водитель может быть не заинтересован в снижении метрики расхода топлива K_t ниже нормы u_t .

Определение 2. Поведение Водителя устойчиво, если расход топлива КТС в каждом периоде минимален:

$$c_t^* = l_t, \quad t = 0, 1, \dots \quad \blacklozenge \quad (20)$$

Утверждение 2. Поведение Водителя при механизме $\Pi = (R, U, V)$ устойчиво.

Доказательство. При механизме $\Pi = (R, U, V)$, согласно процедуре (16), текущий класс $v_t = V(u_t, K_t)$ не снижается с уменьшением K_t . Рассмотрим зависимость будущего класса $v_\varphi = V(u_\varphi, K_\varphi)$, $\varphi = t+1, t+\nu$, от K_t . Согласно выражению (14) оценка $R(K_\varphi)$ в периоде φ не растет с уменьшением K_φ , $\varphi = t+1, t+\nu$. Из формулы (15) следует, что норма u_φ не уменьшается с уменьшением $R(K_{\varphi-1})$. Кроме того, согласно выражению (16), класс $v_\varphi = V(u_\varphi, K_\varphi)$ не снижается с уменьшением u_φ . С учетом этих трех монотонных зависимостей класс $v_\varphi = V(u_\varphi, K_\varphi)$ в периоде φ не уменьшается с уменьшением K_t при $\varphi = t+1, t+\nu$.

Согласно формуле (17) целевая функция Водителя (18) увеличивается при росте текущего и будущих классов v_φ , $\varphi = t, t+\nu$. Тогда из сказанного в предыдущем абзаце следует, что эта целевая функция $\Theta_t(K_t)$ не убывает с уменьшением K_t . А поскольку $K_t \geq k_t$, то $\Theta_t(k_t) \geq \Theta_t(K_t)$, $K_t \in K_t$. Но тогда, по определению (19), $k_t \in \Omega_t$. Отсюда, согласно гипотезе о благожелательности Водителя, $K_t^* = k_t$, и из выражения (13) следует формула (20). $\blacklozenge$

3. МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ КОРПОРАЦИИ

Определение 3. Транспортная корпорация устойчива, если расход топлива в ее подразделении (включая расход топлива КТС) в каждом периоде минимален:

$$d_t^* = a_t, \quad t = 0, 1, \dots \quad \blacklozenge \quad (21)$$

Утверждение 3. Для устойчивости транспортной корпорации, достаточно использовать комплексный механизм $\Sigma = (\Phi, \Pi)$, который включает механизмы $\Phi = (B, P, G)$ и $\Pi = (R, U, V)$.

Доказательство. При механизме $\Phi = (B, P, G)$, согласно утверждению 1, поведение Интенданта устойчиво. По определению 1, это означает,

что при любом заданном расходе топлива КТС c_t расход топлива в подразделении минимален: $d_t^* = f_t$, $t = 0, 1, \dots$

При механизме $\Pi = (R, U, V)$, согласно утверждению 2, поведение Водителя устойчиво. При этом по определению 2 расход топлива КТС в каждом периоде минимален: $c_t^* = l_t$, $t = 0, 1, \dots$. Подставляя последнее равенство в формулу (12) и учитывая, что $f_t = c_t + m_t$, $a_t = l_t + m_t$, получаем выражение (21). ♦

По сути, доказательство утверждения 3 основано на том, что устойчивое поведение сотрудников корпорации – Интенданта и Водителя – обеспечивает устойчивость корпорации в целом. Следовательно, комплексный механизм $\Sigma = (\Phi, \Pi)$ можно назвать организационным механизмом устойчивости транспортной корпорации. Структуру этого механизма иллюстрирует рисунок.

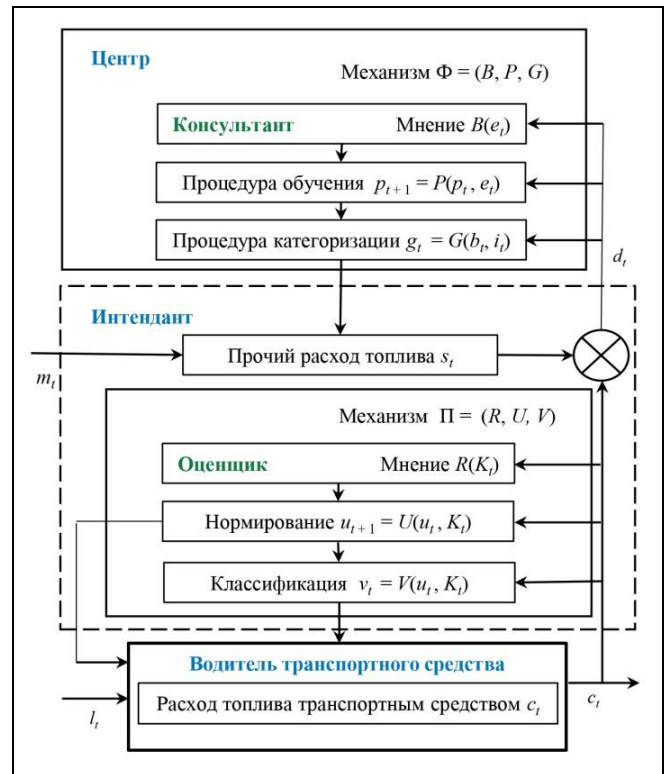
4. ПРИМЕР: МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОРПОРАЦИИ

Крупномасштабные железнодорожные корпорации разрабатывают собственные стратегии устойчивого – экономического и экологичного – развития на основе принципов ESG (см. например, источники [10, 11]). Чтобы привлекать пассажиров и грузоотправителей, им необходимо снижать расход топлива тепловозами. Это ведет к значительному сокращению затрат заинтересованных лиц, одновременно снижая нагрузку на окружающую среду.

Рассмотрим такого рода подход к повышению устойчивости железнодорожной корпорации на примере холдинга «РЖД». Поскольку около 80 % топлива в этом холдинге расходуется тепловозами [10], то на них приходится около 80 % затрат на топливо, а также около 80 % ущерба окружающей среде от выбросов вредных веществ в отработавших газах (в том числе парниковых газов). Поэтому важнейшее значение для устойчивого развития холдинга «РЖД» имеет снижение расхода топлива тепловозами.

Разработке организационных механизмов снижения расхода топлива локомотивами холдинга «РЖД» посвящена статья [18]. В эти механизмы включены процедуры контролируемого обучения сотрудников [19]. Разработка моделей и методов управления созданием и внедрением инновационных средств и технологий снижения расхода топлива локомотивами холдинга представлена в отчете [10]. Результатом этих работ стал механизм снижения расхода топлива, обеспечивающий устойчивое развитие холдинга «РЖД» [10, 18, 19]. Этот механизм является аналогом комплексного механизма, представленного на рисунке.

Рассмотрим аналог комплексного механизма, представленного на рисунке, на региональном уровне. В нем



Организационная структура и механизм устойчивости транспортной корпорации

роль Центра играет работник региональной дирекции тяги железной дороги – филиала ОАО «РЖД», ответственный за снижение расхода топлива на этой железной дороге. В роли Интенданта выступает работник эксплуатационного локомотивного депо (ЭЛД) данного филиала ОАО «РЖД», ответственный за расход топлива в ЭЛД (кратко – менеджер), а в роли Водителя – машинист тепловоза, приписанного к ЭЛД. Указанным ответственным работникам помогают советники (назначаемые, как правило, из числа бывших ответственных работников).

В качестве КТС рассмотрим маневровый тепловоз ТЭМ18ДМ производства Брянского машиностроительного завода, входящего в состав ЗАО «Трансмашхолдинг» (далее кратко – тепловоз) [20]. Только на Октябрьской железной дороге (ОЖД) работают около двухсот тепловозов этой марки. Рассмотрим функционирование организационного механизма $\Pi = (R, U, V)$ применительно к взаимодействию менеджера и машиниста ЭЛД ОЖД при эксплуатации тепловоза данной марки (например, в ЭЛД «Санкт-Петербург-Финляндский» – ТЧЭ-12 [20]).

Согласно утверждению 2 поведение машиниста тепловоза (как Водителя) при механизме $\Pi = (R, U, V)$ устойчиво. Поэтому для сокращения расхода топлива менеджеру ЭЛД (как Интенданту) достаточно использовать данный механизм, например, в процессе ежесдельного контроля расхода топлива в ЭЛД. Именно, будем считать, что машинист сообщает менеджеру по



часовой расход топлива управляемым им тепловозом в среднем за прошлую неделю. Обозначим через t номер недели, $t = 0, 1, \dots$. Указанный почасовой расход топлива маневровым тепловозом ТЭМ18ДМ (c_t) колеблется в пределах 10–12 л/ч [20]. Поэтому, согласно сказанному в п. 1.1, положим $\delta = 10$, $\gamma = 12$, $c_t \in C = [10, 12]$, $t = 0, 1, \dots$

Таким образом, в процессе функционирования механизма $\Pi = (R, U, V)$ менеджер и оценщик используют данные о почасовом расходе топлива в среднем за прошлую неделю (c_t). Следуя формуле (13), вводится безразмерный относительный показатель расхода топлива тепловозом – метрика $K_t = c_t / 12$; $5/6 < K_t \leq 1$, $t = 0, 1, \dots$. Далее, следуя формуле (14), оценщик сообщает менеджеру свое мнение $R(K_t)$ о том, избыточен ли этот расход (и тогда $R(K_t) = 1$) или нет (и тогда $R(K_t) = 0$). После этого менеджер рассчитывает норму u_t расхода топлива тепловозом с помощью процедуры (15). Затем, используя процедуру (16), менеджер определяет класс машиниста v_t .

Процедуры оценки (14), нормирования (15) и классификации (16) и составляют организационный механизм $\Pi = (R, U, V)$, используемый менеджером для снижения расхода топлива машинистом тепловоза. Для проведения модельного расчета предположим, что по окончании недели t в течение квартала (т. е. $t = \overline{0, 11}$) машинист сообщает менеджеру средний почасовой расход топлива управляемым им тепловозом c_t , указанный в верхней строке таблицы. Для расчета величин $R(K_t)$, v_t , u_t по формулам (14)–(16) примем следующие значения параметров механизма $\Pi = (R, U, V)$: $\varsigma = 0,92 \cong 11/12$, $u_0 = 0,90$, $\rho_{01} = 0,5$, $\rho_{10} = 1$, $\varrho_t = 1/(t+10)$, $t = \overline{0, 11}$. При этом формулы (14) и (15) приобретают соответственно вид:

$$R(K_t) = \begin{cases} 1, & \text{если } K_t > 0,92, \\ 0, & \text{если } K_t \leq 0,92, \end{cases} \quad (22)$$

$$t = \overline{0, 11},$$

$$u_{t+1} = \{u_t(t+9) + 1,5[1 - R(K_t)]\} / (t+10),$$

$$u_0 = 0,9, \quad t = \overline{0, 11}.$$

Результаты расчетов величин v_t , $R(K_t)$ и u_t соответственно по формулам (16), (22) и (23) за 12 недель квартала ($t = \overline{0, 11}$) сведены в таблицу.

Рассмотренный пример иллюстрирует простоту и прозрачность разработанного организационного механизма $\Pi = (R, U, V)$, а также применимость доказанного утверждения.

В целях обеспечения устойчивости холдинга «РЖД» в концепцию требований к локомотивам холдинга в области охраны окружающей среды внесено положение об использовании разработанного организационного механизма, в том числе о гибкой настройке нормативов расхода топлива для филиального и деповского уровня иерархии управления тягой, а также для стимулирования причастных работников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы устойчиво развиваться, транспортная корпорация должна снижать как экономические издержки, так и ущерб окружающей среде, наносимый ее деятельностью. Экономия топлива ее транспортными средствами существенно снижает как эксплуатационные издержки корпорации, так и выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду. Поэтому устойчивость транспортной корпорации зависит от эффективности управления расходом топлива КТС.

Тем не менее, на дорогах по-прежнему встречаются стоящие без движения КТС с работающими двигателями. Чтобы избежать этого, транспортная корпорация должна обеспечить устойчивое поведение руководителей среднего звена и водителей, улучшающее ее экономические и экологические показатели.

Предложенный в работе комплексный механизм направлен на обеспечение устойчивого поведения сотрудников транспортной корпорации, заинтересовывая их в повсеместном снижении расхода топлива. Полученные в работе результаты

Расход топлива тепловозом и расчетные величины организационного механизма в течение квартала

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
c_t	10,7	11,1	11,0	11,3	10,9	11,0	11,2	10,8	11,2	10,7	10,6	11,1
K_t	0,89	0,93	0,92	0,94	0,91	0,92	0,93	0,90	0,93	0,89	0,88	0,93
v_t	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
$R(K_t)$	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
u_t	0,90	0,96	0,87	0,92	0,85	0,90	0,94	0,88	0,92	0,87	0,90	0,93

были использованы при разработке концепции требований к локомотивам ОАО «РЖД» в области охраны окружающей среды. Рекомендуются применение полученных результатов и для КТС, используемых корпорациями автомобильного и водного транспорта.

Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут быть связаны:

- с разработкой механизмов устойчивого развития транспортных корпораций с альтернативными процедурами обучения;
- обобщениями полученных результатов для решения других задач устойчивого развития;
- внедрением полученных теоретических результатов на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию* / пер. с англ. под ред. С.А. Евтеева, Р.А. Перелета – М.: Прогресс, 1989. – 248 с. [Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. – New York: United Nations, 1987. – 247 p.]
2. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN General Assembly Resolution A/RES/70/1. – New York: United Nations, 2015. – 35 p. – URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (дата обращения 17.04.2025). [Accessed April 17, 2025.]
3. Caille, A., Al-Moneef, M., Castro, F.B., et al. Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050. – London: World Energy Council, 2007. – 140 p. – URL: <https://web.archive.org/web/20081204051628/http://www.worldenergy.org/publication/s/809.asp> (дата обращения 17.04.2025). [Accessed April 17, 2025.]
4. *About Transportation & Climate Change: Transportation's Role in Climate Change*. – Washington: US Department of Transportation, 2015. – URL: <https://web.archive.org/web/20151031215015/http://climate.dot.gov/about/transportations-role/overview.html> (дата обращения 17.04.2025). [Accessed April 17, 2025.]
5. Kim, M.-K., Park, D., Kim, D.Y. Quantification of the Ecological Value of Railroad Development Areas Using Logistic Regression Analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18, no. 22. – Art. no. 11764.
6. Iliev, S., Stanchev, H., Mitev, E. An Experimental Comparison of Emissions of a Common-Rail Diesel Engine Fueled with Ethanol and Butanol Additives // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2868. – Art. no. 020018.
7. Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, R., et al. Transport and Its Infrastructure / In: *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. – New York: Cambridge University Press. – 2007. – P. 323–386. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/transport-and-its-infrastructure/> (дата обращения 17.04.2025). [Accessed April 17, 2025.]
8. Савосина М.И. Оценка эффективности устойчивого развития транспорта // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 50–66. [Savosina, M.I. Assessment of Effectiveness of Sustainable Transport Development // *World of Transport and Transportation*. – 2020. – Vol. 18, no. 2. – P. 50–66.]
9. Pollman, E. The Making and Meaning of ESG // *Harvard Bus. L. Review*. – 2024. – Vol. 14. – P. 403.
10. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Цыганов В.В. и др. Модели и методы управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных средств и технологий в ОАО «РЖД» // *Отчет о выполнении проекта РФФИ № 17-20-05216*. – М.: ИПУ РАН, 2018. – 148 с. [Burkov, V.N., Yenaleyev, A.K., Strogonov, V.I., et al. Modeli i metody upravleniya razrabotkoy i vnedreniyem innovatsionnykh energoeffektivnykh sredstv i tekhnologiy v ОАО «RZHD» // *Отчет о выполнении проекта РФФИ № 17-20-05216*. – М.: ИПУ РАН, 2018. – 148 с. (In Russian)]
11. Union Pacific: Sustainability. – URL: <https://www.up.com/aboutup/esg/index.htm> (дата обращения 27.07.2025). [Accessed July 27, 2025.]
12. Corral-Verdugo, V., Frías, M., García, C. Introduction to the Psychological Dimensions of Sustainability / In: *Psychological Approaches to Sustainability*. Ed. by V. Corral, C. García, M. Frías. – New York: Nova Science Publishers, 2010. – P. 3–18.
13. Tapia-Fonllem, C., Corral-Verdugo, V., Fraijo-Sing, B. Sustainable Behavior and Quality of Life / In: *Handbook of Environmental Psychology and Quality of Life Research*. Ed. by G. Fleury-Bahi, E. Pol, O. Navarro. – Cham: Springer, 2017. – P. 265–268.
14. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 500 с. [Novikov, D.A. Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami. – М.: LENAND, 2022. – 500 s. (In Russian)]
15. Burkov, V., Kondratiev, V., Korgin, N., Novikov, D. Mechanism Design and Management. Mathematical Methods for Smart Organizations. – New York: Nova Science, 2013. – 187 p.
16. Enaleev, A. Comprehensive Assessment and Incentive Mechanism to Implement Environmental Requirements for Locomotives // *Proceedings of the 6th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency*. – Lipetsk, 2024. – P. 804–809.
17. Цыганов В.В. Стратегическое адаптивное управление транспортом // *Тр. 17-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем»*. – Москва, 2024. – С. 52–62. [Tsyganov, V., Strategic Adaptive Transport Management // *Proceedings of 2024 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD)*. – Moscow, 2024. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/MLSD61779.2024.10739611]
18. Цыганов В.В., Федянин Д.Н. Механизмы наставничества в организационных системах и повышение энергоэффективности железнодорожного транспорта // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. – 2019. – № 2. – № 3 (43). – С. 55–66. [Tsyganov, V.V., Fedyanin, D.N. Mekhanizmy nastavnichestva v organizatsionnykh voprosakh i povyshenii energoeffektivnosti zheleznodorozhnogo transporta // *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. – 2019. – No. 2. – No. 3 (43). – S. 55–66. (In Russian)]
19. Цыганов В.В., Басыров С.К., Ковалев С.М. Механизм обучения энергоэффективности на цифровом железнодорожном транспорте // *Тр. VIII научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование»*. – Москва, 2019. – С. 185–190.



[Tsyganov, V.V., Basyrov, S.K., Kovalev, S.M. Mekhanizm obucheniya energoeffektivnosti na tsifrovom zheleznodorozhnom transporte / Tr. VIII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Intellectual'nyye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoye i matematicheskoye modelirovaniye». – Moscow, 2019. – S. 185–190. (In Russian)]

20. Генкин Д. Новые маневровые // Октябрьская магистраль. – 28.11.2019. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?accessible=true&id=182659> [Genkin, D. Novye manevrovye // Oktjabr'skaja magistral'. – November 28, 2019. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?accessible=true&id=182659> (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии академиком РАН Д. А. Новиковым.

Поступила в редакцию 22.04.2025,
после доработки 20.06.2025.
Принята к публикации 25.06.2025.

Цыганов Владимир Викторович – д-р техн. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва
✉ bbc@ipu.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9274-0548>

© 2025 г. Цыганов В. В.



Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT MECHANISMS FOR A TRANSPORT CORPORATION WITH SUPERVISED LEARNING

V. V. Tsyganov

Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ bbc@ipu.ru

Abstract. Sustainable development of a transport corporation is achieved through a consistent and balanced improvement of its economic and environmental performance indicators. This is largely facilitated by reducing fuel consumption by corporate vehicles, which saves costs and decreases harmful emissions into the environment. In this regard, a three-level structure for managing fuel consumption in a transport corporation is considered under uncertainty caused by both random external factors and the undesirable activity of corporate employees associated with their private goals not coinciding with the goal of the entire corporation. The top level of this structure is the Principal, the middle level is the Intendant, responsible for fuel consumption in a corporate division, and the bottom level is the Driver of a corporate vehicle. The sustainable behavior of corporate employees—the Intendant and Driver—to reduce fuel consumption within their competence is modeled. An organizational mechanism for the Intendant's sustainable behavior is developed, including supervised learning procedures for the Principal and incentive procedures for the Intendant. An organizational mechanism for the Driver's sustainable behavior is also proposed: the Principal provides the Intendant with supervised learning opportunities and delegates his authority to incentivize the Driver. As proven, the integration of these two mechanisms reduces fuel consumption and ensures sustainable development of the transport corporation. In addition, the sustainable behavior of corporate employees—the Intendant and Driver—ensures the sustainability of the entire corporation. The results are illustrated by an example of the fuel consumption management mechanism in JSC Russian Railways.

Keywords: transport, corporation, sustainable development, control, digitalization, supervised learning, sustainable behavior.