

УДК 629.113

# СОВРЕМЕННЫЕ МИРОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПУТИ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РОССИИ

М. В. Нагайцев, ген. дир., к. т. н. / ФГУП «НАМИ»

## ЧАСТЬ 1. ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ В США

Конкурентоспособность современных автотранспортных средств во многом связана с их энергоэффективностью, уровень которой, в свою очередь, зависит от действующей нормативно-правовой базы. Изучение мирового опыта промышленно развитых стран, и в первую очередь США и стран ЕС, позволяет проводить на государственном уровне взвешенную техническую политику и вырабатывать обоснованные перспективные требования к автотранспортным средствам, эксплуатирующимся в России.

США имеют значительный опыт законодательных ограничений по расходу топлива автотранспортными средствами, что требует его анализа и разумного использования. Как известно, нефтяной кризис 1973

года стал в США отправной точкой для осознания проблемы повышения энергоэффективности автотранспорта (на автотранспорт в США приходится около 60 % всей используемой нефти).

В 2009 году по инициативе президента США появилась программа повышения энергоэффективности автотранспорта, которая предполагает введение единых федеральных стандартов на топливную экономичность и выброс парниковых газов. Предполагается, что её реализация потребует вложений в размере 1,7 триллиона долларов и обеспечит проведение широких исследований и разработок в области энергосберегающих технологий, в частности электромобилей и гибридных автотранспортных средств.

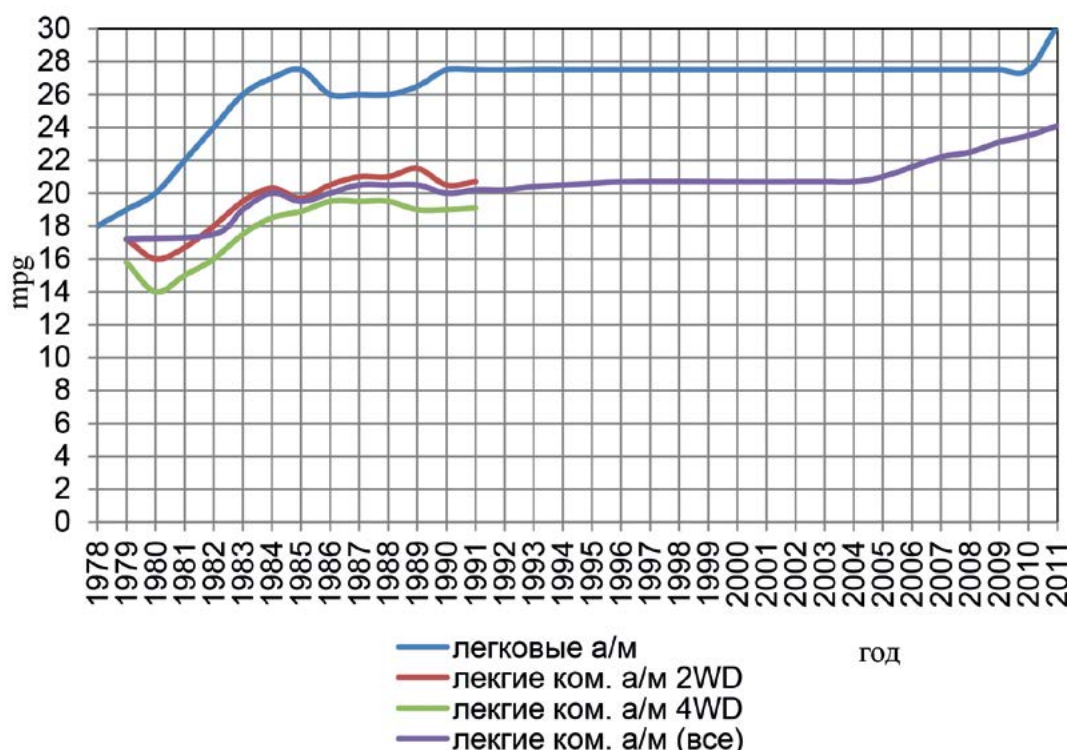


Рисунок 1. Нормы топливной экономичности для автомобилей по годам выпуска, mpg

В настоящее время в США действует система требований энергоэффективности CAFE (Corporate Average Fuel Economy) к легковым и лёгким грузовым автомобилям [1], утверждаемых Национальной администрацией по безопасности дорожного движения (NHTSA). В соответствии с системой CAFE к автотранспортным средствам предъявляются требования по топливной экономичности, измеряемой в милях пробега автомобиля на галлон (mpg) израсходованного топлива. Требования CAFE относятся к парку автомобилей, выпускаемых отдельной корпорацией для реализации на внутреннем рынке США [2, 3]. Средняя по корпорации топливная экономичность  $f_{CAFE}$  определяется по средней гармонической величине топливной экономичности всех автомобилей, продаваемых на территории США данной автомобильной компанией в текущем году [1]:

$$f_{CAFE} = \frac{\sum n_i}{\sum n_i / f_i}, \quad (1)$$

где  $n_i$  — количество автомобилей  $i$ -й модели, продаваемых компанией в течение года;  $f_i$  — топливная экономичность  $i$ -й модели автомобиля, mpg.

Нормативные требования к топливной экономичности легковых и лёгких грузовых автомобилей представлены на рис. 1. Для лёгких грузовых автомобилей до 1991 года существовало деление по типу трансмиссии (привод на одну ось или полный). Производители имели возможность (за исключением 1980 и 1981 годов) выбирать: использовать дифференцированные требования по типу трансмиссии либо единые требования для всех моделей лёгких грузовых автомобилей. Данные нормы действовали до конца 2010 года.

Согласно новой программе повышения энергоэффективности автотранспорта, которая предполагает введение единых федеральных стандартов на топливную экономичность и выброс парниковых газов, предусматривается постепенное существенное ужесточение норм по топливной экономичности, которые к 2016 году должны составить 39 mpg для легковых автомобилей и 30 mpg для лёгких коммерческих автомобилей (в среднем по парку автомобилей, продаваемых в США) [2].

С 2011 года вступила в действие переходная система нормирования топливной экономичности, где учитывается площадь, занимаемая автомобилем (footprint), которая определяется как произведение колёсной базы автомобиля на усреднённую колею [5]. Кроме того, начиная с 2011 года введены новые критерии отнесения автомобиля к классу легковых и лёгких грузовых. К легковым автомобилям относят четырёхколёсные пассажирские транспортные средства, способные перевозить не более десяти

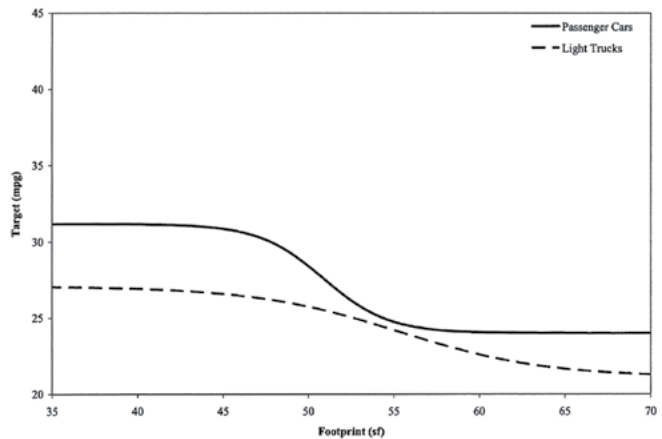


Рисунок 2. Зависимость нормативных значений топливной экономичности в mpg для легковых автомобилей (сплошная линия) и лёгких грузовых автомобилей (пунктирная линия) от занимаемой площади, выраженной в квадратных футах (sf)

пассажирам. К лёгким грузовым относят четырёхколёсные автомобили со снаряжённой массой от 2 722 до 3 856 кг, спроектированные для выполнения одной из следующих функций: перевозки более десяти человек; содержащих временные жилые помещения (например, кемперы); обеспечивающих перевозку грузов на открытой платформе; имеющих отсек для перевозки грузов большего объёма, чем для перевозки пассажиров; салон автомобиля может быть трансформирован в плоскую поверхность для перевозки грузов, а также автомобили повышенной проходимости, включая пассажирские. Под автомобилями повышенной проходимости подразумеваются полноприводные автомобили.

Для определения норм топливной экономичности автомобилей 2011 года выпуска была разработана математическая зависимость в виде логистической функции

$$T = \frac{1}{\frac{1}{A} + \left(\frac{1}{B} - \frac{1}{A}\right) \frac{e^{-x/D}}{1 + e^{-x/D}}}, \quad (2)$$

где  $T$  — целевое значение топливной экономичности, mpg;  $x$  — площадь под автомобилем (footprint), кв. футов;  $A$  — наивысшее целевое значение топливной экономичности, mpg;  $B$  — наименьшее целевое значение топливной экономичности, mpg;  $C$  — коэффициент, определяющий горизонтальную сере-

Таблица 1. Значения коэффициентов логистической функции для различных классов автомобилей 2011 года выпуска

| Класс автомобилей | A     | B     | C     | D    |
|-------------------|-------|-------|-------|------|
| Легковые          | 31,20 | 24,00 | 51,41 | 1,91 |
| Лёгкие грузовые   | 27,10 | 21,10 | 56,41 | 4,28 |



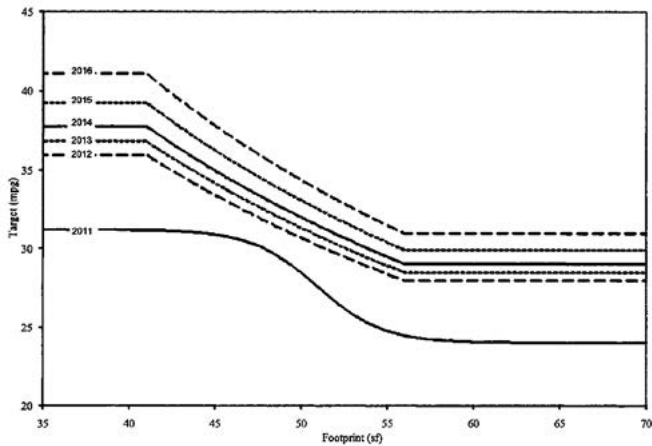


Рисунок 3. Значения нормативной топливной экономичности в mpg для легковых автомобилей в зависимости от занимаемой площади, выраженной в квадратных футах

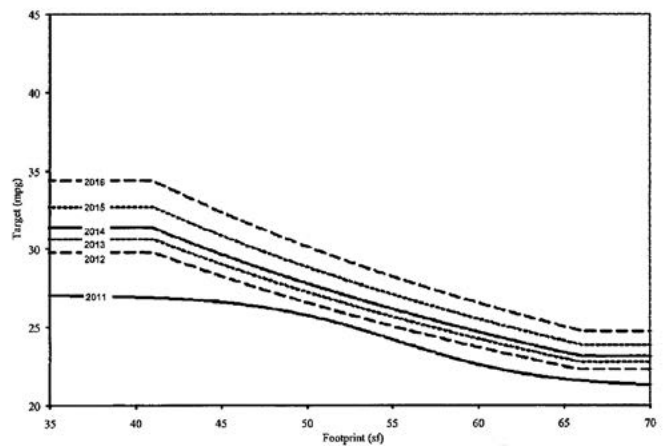


Рисунок 4. Значения нормативной топливной экономичности в mpg для лёгких грузовых автомобилей в зависимости от занимаемой площади, выраженной в квадратных футах

пливной экономичности легковых и лёгких грузовых автомобилей на период с 2012 по 2016 год. Коэффициенты для расчёта по формуле (3) целевых значений топливной экономичности представлены в табл. 2 и 3.

Графики, иллюстрирующие требования к топливной экономичности автомобилей 2012–2016 года выпуска, представлены на рис. 3 и 4. Для сравнения на графики также нанесены значения норм для автомобилей 2011 года.

Введение описанных выше норм должно к 2016 году обеспечить среднюю топливную экономичность по всем реализуемым на территории США легковым автомобилям на уровне 37,8 mpg, а для лёгких грузовых автомобилей — 28,8 mpg, что в среднем по парку должно обеспечить величину 34,1 mpg.

В 2011 году был опубликован проект норм на выбросы парниковых газов и топливной экономичности на период с 2017 по 2025 год [6, 7]. Проект предполагает ежегодное ужесточение норм на выбросы, что должно привести к снижению уровня потребления топлива в среднем в 1,8 раза к 2025 году по сравнению с 2011 годом [8].

В проекте для установления норм топливной экономичности используется тот же принцип, что и ранее: расчёт по математическим зависимостям от площади, занимаемой автомобилем. Для легковых автомобилей форма зависимости осталась неизменной и соответствует формуле (3), изменяются только коэффициенты, они приведены в табл. 4.

Для лёгких грузовых автомобилей в проекте стандарта предложена новая форма математической зависимости определения целевой нормы топливной экономичности:

$$T = \max\left(\frac{1}{\min[\max(c \times x + d, \frac{1}{a}), \frac{1}{b}]}, \frac{1}{\min[\max(g \times x + h, \frac{1}{e}), \frac{1}{f}]}\right), \quad (5)$$

где  $a, b, c, d, x$  соответствуют описанию коэффициентов в формуле (3);  $e$  — наивысшее целевое значение топливной экономичности в нижней части шкалы ординат, mpg;  $f$  — наименьшее целевое значение топливной экономичности в нижней части шкалы ординат, mpg;  $g$  — коэффициент, определяющий крутизну уклона кривой функции в нижней части шкалы ординат, галлоны на милю/кв. фут (gpm/sf);  $h$  — отрезок, отсекаемый кривой в нижней части оси ординат, галлоны на милю (gpm).

Значения коэффициентов для функции (5) представлены в табл. 5.

На рис. 5 и 6 представлены графики зависимостей топливной экономичности от площади, занимаемой автомобилем, на период с 2017 по 2025 год. Для сравнения на графики также нанесены зависимости для периода с 2012 по 2016 год.

Предполагается, что введение новых норм должно обеспечить повышение топливной экономичности до уровня 52,7 mpg для легковых автомобилей и 38,6 mpg для лёгких грузовиков, которые будут реализованы на внутреннем рынке США в 2025 году, что обеспечит средний уровень топливной экономичности автомобилей этих двух классов на уровне 47,0 mpg.

Введение в действие стандартов топливной экономичности CAFE и выбросов CO<sub>2</sub>, по оценкам

Таблица 6. Планируемое повышение топливной экономичности автомобилей за период с 2012 по 2016 год (в среднем по парку США), mpg

| Класс автомобилей | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Легковые          | 32,3 | 33,5 | 34,2 | 35,0 | 36,2 |
| Лёгкие грузовые   | 24,5 | 25,1 | 25,9 | 26,7 | 27,5 |
| Все               | 28,7 | 29,7 | 30,6 | 31,5 | 32,7 |

*Таблица 7.* Планируемое повышение топливной экономичности автомобилей за период с 2017 по 2025 год (в среднем по парку США), mpg

| Класс автомобилей | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Легковые          | 38,8 | 40,6 | 42,7 | 44,6 | 46,1 | 47,2 | 48,8 | 50,5 | 52,7 |
| Лёгкие грузовые   | 29,0 | 30,1 | 31,8 | 33,0 | 34,8 | 35,5 | 36,3 | 37,4 | 38,6 |
| Все               | 34,5 | 36,0 | 38,0 | 39,7 | 41,4 | 42,4 | 43,7 | 45,2 | 47,0 |

*Таблица 8.* Требования стандартов CAFE по повышению топливной экономичности легковых автомобилей для различных корпораций за период с 2011 по 2016 год, mpg

| Изготовитель   | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| BMW            | 30,2 | 33,0 | 33,7 | 34,5 | 35,7 | 37,3 |
| Chrysler       | 29,4 | 32,6 | 33,3 | 34,1 | 35,2 | 36,7 |
| Daimler        | 29,2 | 32,0 | 32,7 | 33,3 | 34,4 | 35,8 |
| Ford           | 29,7 | 32,9 | 33,7 | 34,4 | 35,6 | 37,1 |
| General Motors | 30,3 | 32,7 | 33,5 | 34,2 | 35,4 | 36,9 |
| Honda          | 30,8 | 33,8 | 34,6 | 35,4 | 36,7 | 38,3 |
| Hyundai        | 30,9 | 33,8 | 34,3 | 35,1 | 36,6 | 38,2 |
| Kia            | 30,6 | 33,4 | 34,2 | 35,0 | 36,3 | 37,9 |
| Mazda          | 30,6 | 33,8 | 34,6 | 35,5 | 36,8 | 38,4 |
| Mitsubishi     | 31,0 | 34,2 | 35,0 | 35,8 | 37,1 | 38,7 |
| Nissan         | 30,7 | 33,3 | 34,1 | 34,9 | 36,1 | 37,7 |
| Porsche        | 31,2 | 35,9 | 36,8 | 37,8 | 39,2 | 41,1 |
| Subaru         | 31,0 | 34,6 | 35,5 | 36,3 | 37,7 | 39,4 |
| Suzuki         | 31,2 | 35,8 | 36,6 | 37,5 | 39,0 | 40,8 |
| Tata           | 28,0 | 30,7 | 31,4 | 32,1 | 33,3 | 34,7 |
| Toyota         | 30,8 | 33,9 | 34,7 | 35,5 | 36,8 | 38,4 |
| Volkswagen     | 30,8 | 34,3 | 35,0 | 35,9 | 37,2 | 38,8 |
| В среднем      | 30,4 | 33,3 | 34,2 | 34,9 | 36,2 | 37,8 |

разработчиков этих стандартов, должно гарантировать повышение среднего уровня топливной экономичности на 14 % за период с 2012 по 2016 год и на 36 % за период с 2017 по 2025 год, что по сравнению с 2011 годом обеспечит увеличение в 1,7 раза (см. табл. 6 и 7).

При разработке стандартов CAFE значительное внимание было уделено воздействию принимаемых норм топливной экономичности на производителей автомобильной техники. В рамках технико-экономического обоснования разработанных стандартов был осуществлён расчёт средних корпоративных уровней топливной экономичности для всех автопроизводителей, представленных на внутреннем рынке США. Результаты проведённых оценок представлены в табл. 8 и 9 [4, 6].

За несоответствие требованиям CAFE на автомобильные компании налагаются экономические санкции. В настоящее время взимается штраф за нарушение нормативных требований в размере 55 долларов

*Таблица 9.* Требования стандартов CAFE по повышению топливной экономичности лёгких грузовых автомобилей для различных корпораций за период с 2012 по 2016 год, mpg

| Изготовитель   | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| BMW            | 25,6 | 26,6 | 27,3 | 27,9 | 28,9 | 30,2 |
| Chrysler       | 24,5 | 25,7 | 26,2 | 26,8 | 27,8 | 29,0 |
| Daimler        | 24,7 | 25,6 | 26,3 | 26,9 | 27,8 | 29,1 |
| Ford           | 23,7 | 24,8 | 25,4 | 26,0 | 27,0 | 28,1 |
| General Motors | 23,3 | 24,2 | 24,8 | 25,2 | 26,1 | 27,2 |
| Honda          | 25,7 | 26,9 | 27,5 | 28,0 | 29,1 | 30,4 |
| Hyundai        | 25,9 | 27,0 | 27,6 | 28,2 | 29,3 | 30,7 |
| Kia            | 25,2 | 26,2 | 26,7 | 27,3 | 28,3 | 29,5 |
| Mazda          | 26,2 | 27,6 | 28,4 | 28,9 | 30,1 | 31,5 |
| Mitsubishi     | 26,4 | 27,8 | 28,5 | 29,1 | 30,2 | 31,7 |
| Nissan         | 24,5 | 25,6 | 26,2 | 26,8 | 27,8 | 29,1 |
| Porsche        | 25,5 | 26,3 | 26,9 | 27,5 | 28,5 | 29,8 |
| Subaru         | 26,5 | 27,9 | 28,6 | 29,2 | 30,4 | 31,9 |
| Suzuki         | 26,3 | 27,5 | 28,2 | 28,8 | 29,9 | 31,4 |
| Tata           | 26,2 | 27,4 | 28,2 | 28,8 | 29,9 | 31,3 |
| Toyota         | 24,6 | 25,7 | 26,2 | 26,8 | 27,8 | 29,1 |
| Volkswagen     | 25,0 | 25,8 | 26,4 | 27,0 | 28,0 | 29,2 |
| В среднем      | 63   | 138  | 89   | 870  | 1099 | 948  |

США за 1 mpg с каждого выпущенного автомобиля. Однако для некоторых автопроизводителей этот штраф не является достаточным стимулом для снижения расхода топлива на выпускаемых ими автомобилях. Например, в период с 1983 по 2008 год компания Mercedes-Benz выплачивала штрафы 21 раз, а BMW — 20 раз. В 2006 году Daimler Chrysler Corp. потратила 30,3 миллиона долларов США на штраф за нарушение требований к топливной экономичности, что составило 122 доллара США на каждый проданный автомобиль. В общей сложности за период с 1983 по 2009 год собрано штрафов в размере около 795 миллионов долларов США [12].

Таким образом, проведённый обзор опыта США в области нормирования топливной экономичности автотранспортных средств позволяет сделать следующие выводы.

Американская нормативная база требований к топливной экономичности автотранспортных средств CAFE является сложной и детально прора-



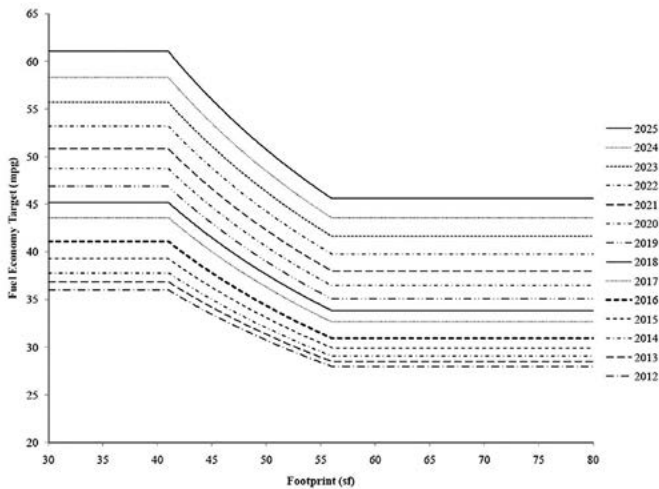


Рисунок 5. Значения нормативной топливной экономичности в трг для легковых автомобилей в зависимости от занимаемой площади, выраженной в квадратных футах

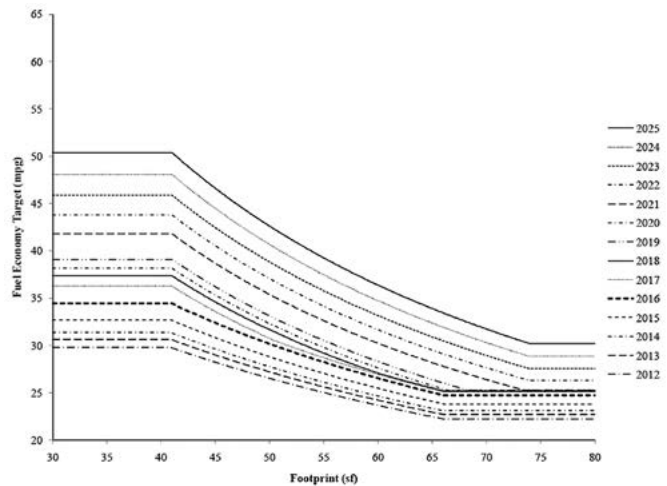


Рисунок 6. Значения нормативной топливной экономичности в трг для лёгких грузовых автомобилей в зависимости от занимаемой площади, выраженной в квадратных футах

ботанной системой нормирования, которая дифференцирована как по классам, так и по геометрическим размерам автотранспортных средств. Наличие интегральной оценки для каждого производителя по всей гамме выпускаемых автотранспортных средств даёт объективную возможность манёвра для выполнения нормативных требований по расходу топлива. Аналогичным образом построены нормативные требования по выбросам углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ).

Требования для легковых автомобилей и лёгких грузовых автомобилей полной массой до 3,8 т проработаны до 2025 года и предполагают повышение топливной экономичности в 2,4 раза в сравнении с уровнем 2010 года. Длительный период перспективного нормирования позволяет производителям обоснованно создавать среднесрочные и долгосрочные программы собственного развития.

Наличие штрафных санкций за нарушение нормативных требований стимулирует производителей проводить глубокие научные изыскания и выполнять прикладные разработки по повышению энергоэффективности производимых автотранспортных средств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update. — ICCT, 2007. — 36 p.
2. Global Overview on Fuel Efficiency and Motor Vehicle Emission Standards: Policy Options and Perspectives for International Cooperation. — UN Department of Economic and Social Affairs, 2011. — 24 p.
3. Global Light-Duty Vehicles: Fuel Economy and Greenhouse Gas Emissions Standards. — ICCT, 2011. — 6 p.
4. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards; Final Rule // Federal Register. — Vol. 75. — № 88. — 2010. — P. 25323-25728.
5. Laboratory Test Procedure For 49 CFR Part 537, Automotive Fuel Economy Attribute Measurements. — NHTSA, 2009. — 47 p.
6. 2017 and Later Model Year Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions and Corporate Average Fuel Economy Standard. — NHTSA, 2011. — 893 p.
7. Draft Joint Technical Support Document: Rulemaking for 2017-2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. — EPA, 2011. — 482 p.
8. 2017-2025 Model Year Light-Duty Vehicle GHG Emissions and CAFE Standards: Supplemental Notice of Intent. — EPA, 2011. — 33 p.
9. Summary of Fuel Economy Performance. — NHTSA, 2011. — 17 p.
10. Comparison of Passenger Vehicle Fuel Economy and Greenhouse Gas Emission Standards Around The World. — Pew Center, 2004. — 36 p.
11. Summary of CAFE Fines Collected. — NHTSA, 2010. — 5 p.