

- [5] Zhdanov L.A., Netjaga A.V. Termodinamichna model' utvorennja oksidnih nemetalevih vkljuchen' u metali shva pri dugovomu zvarjувani pid fljusom // VIII mizhnarodna konferencija molodih uchenih ta specialistiv «Zvarjувannja ta sporidneni tehnologii». – Kiiv: 20-22 travnja 2015 roku. – P. 212.
- [6] L.A. Chernova, G.G. Mihajlov Termodinamika processov vzaimodejstvija kisloroda s metallicheskim rasplavami sistem Fe-V-Cr (Mn)-Si-O-C // Vestnik JuUrGU. – 2005. – № 3. – P. 24-27.
- [7] Cymbal V.P. Matematicheskoe modelirovanie metallurgicheskikh processov. M.: Metallurgija. 1986. – 240 p.
- [8] Konovalov A.V., Kurkin A.S. Teorija svarochnyh processov. –M.: MGTU im. N.Je. Bauman, 2007. – 748 p.
- [9] Zhdanov L.A., Netjaga A.V. Doslidzhennja osoblivostej utvorennja nemetalevih vkljuchen' pri zvarjувani pid fljusami zagal'nogo priznachennja // Vos'ma vseukraïns'ka mizhgaluzeva naukovu-tehnichna konferencija studentiv, aspirantiv ta naukovih spivrobotnikiv „Zvarjувannja ta sporidneni procesi i tehnologii”. – Kiiv: 10-12 chervnja 2015 roku. – P. 51.

УДК 629.7.02

Шаламов А. Н.

GESI GmbH, Германия, г. Гамбург

СРАВНЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОЛЁТОВ A320neo И 737MAX

Проведён анализ топливной эффективности самолётов A320neo и 737MAX. Определен наиболее экономичный самолёт семейств A320neo и 737MAX. Проанализирована и подтверждена возможность использования самолётов семейств A320neo и 737MAX для трансатлантических рейсов с использованием принципа перевозки пассажиров из аэропорта вылета в аэропорт назначения, минуя аэропорты-хабы.

Ключевые слова: пассажирский самолёт; топливная эффективность самолёта; семейство самолётов; узкофюзеляжный самолёт.

1. Введение

В настоящее время к самолётам гражданской авиации предъявляется ряд противоречивых требований конструктивного, технологического, экологического и эксплуатационного характера. Одним из важнейших критериев оценки эффективности пассажирских самолётов является коэффициент топливной эффективности, который выражает количество топлива, необходимое для транспортировки одного пассажира при заданных условиях комфорта в салоне самолёта на заданное расстояние.

На протяжении последних 60 лет производители пассажирских и транспортных самолётов борются за снижение показателей коэффициента топливной эффективности [1], т.е. за более высокую топливную эффективность, которая в свою очередь оказывает существенное значение на стоимость авиационных перевозок.

2. Постановка задачи

Целью настоящей статьи является анализ топливной эффективности самолётов семейства

A320neo и 737MAX и определение наиболее экономичного самолёта этих семейств, а также анализ возможности использования самолётов семейств A320neo и 737MAX для трансатлантических рейсов с использованием принципа перевозки пассажиров из аэропорта вылета в аэропорт назначения, минуя аэропорты-хабы.

3. Изложение основного материала исследования

В период с 2010 года и по настоящее время компании Аэробус и Боинг разработали и ввели в эксплуатацию самолёты нового поколения A320neo (new engine option – «установка нового двигателя») [2] и 737MAX [3].

В рамках программы разработки самолётов семейства A320neo были созданы самолёты A319neo, A320neo и A321neoLR (Long Range – «большой дальности»). При этом преследовалась цель не создания нового самолёта, а модернизации уже существующих самолётов A319-100, A320-200 и A321-200. Прежде всего, при модернизации основное внимание уделялось снижению расхода топлива (т.е. повышению топливной эффективно-



Рис. 1. Самолёт A319neo

сти) и, как следствие, — снижению эксплуатационных затрат. При этом снижение расхода топлива достигалось за счёт установки новых более экономичных двигателей CFM International LEAP-1A или Pratt&Whitney PW1100G, улучшения аэродинамики при помощи установки новых более эффективных крылышек Уитткомба (winglets) и изменённой компоновки пассажирского салона, позволяющей вмещать до 20 пассажиров дополнительно. В целом по утверждению компании Аэробус снижение расхода топлива в расчёте на одного перевозимого пассажира составляет более 20% по сравнению с предыдущим поколением самолётов семейства A320 [2].

Компания Боинг разработала самолёты семейства 737MAX также руководствуясь принципом модернизации самолётов предыдущего поколения 737NG (Next Generation — «следующее поколение»). Программа предусматривает создание самолётов 737MAX7, 737MAX8 и 737MAX9. Основными особенностями этих самолётов являются улучшенная аэродинамика (увеличение площади ламинарной зоны обтекания крыла, снижение аэродинамического сопротивления интерференции крыла и двигателя, а также интерференции крыла и фюзеляжа, установка новых раздвоенных крылышек Уитткомба), использование новых более экономичных двигателей CFM International LEAP-1B. Благодаря этим изменениям самолёты семейства 737MAX являются по заявлениям компании на 14% более экономичными по сравнению с самолётами семейства 737NG и расходуют на 4% меньше топлива по сравнению с самолётами семейства A320neo в расчёте на одного перевозимого пассажира [3].

Внешний вид самолётов A319neo, A320neo, A321neoLR, 737MAX7, 737MAX8 и 737MAX9 представлен на рисунках 1–6. Рисунок 7 даёт представление о внешнем виде самолёта A320-200, а рисунок 8 — о внешнем виде самолёта 737-800.



Рис. 2. Самолёт A320neo



Рис. 3. Самолёт A321neoLR



Рис. 4. Самолёт 737MAX7



Рис. 5. Самолёт 737MAX8



Рис. 6. Самолёт 737MAX9

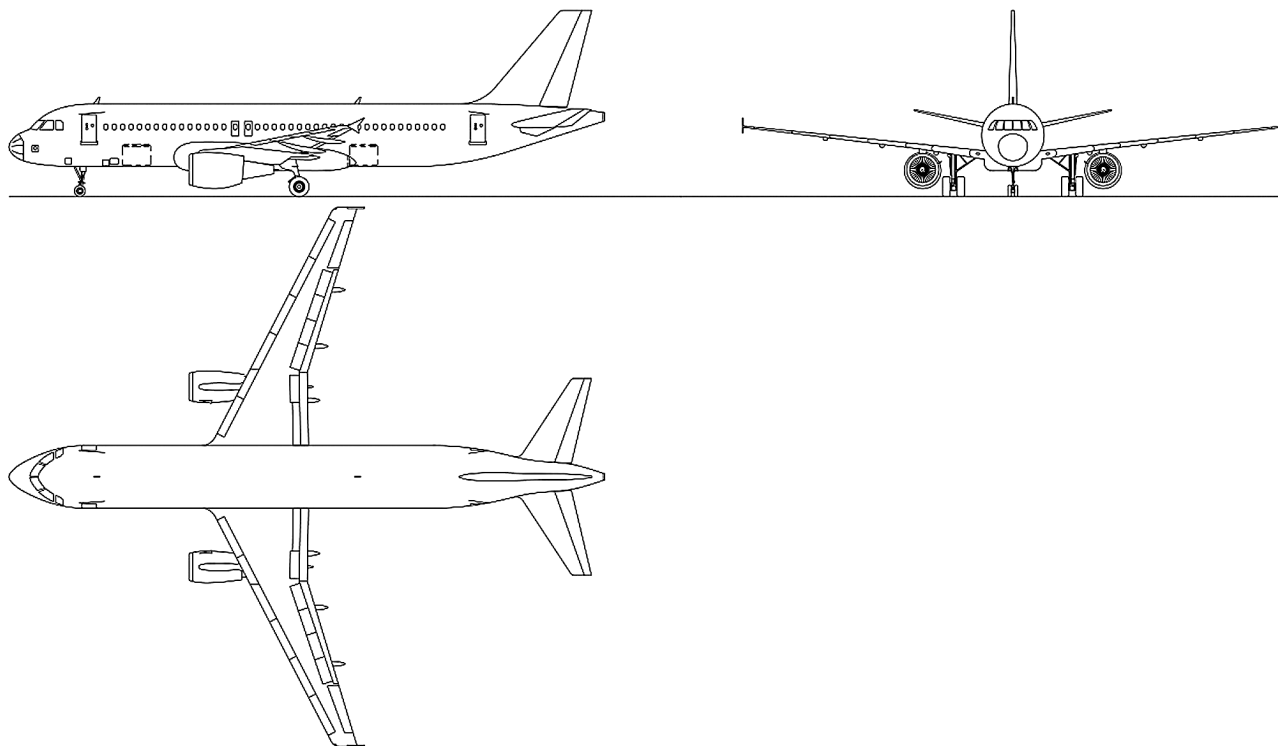


Рис. 7. Самолёт A320-200

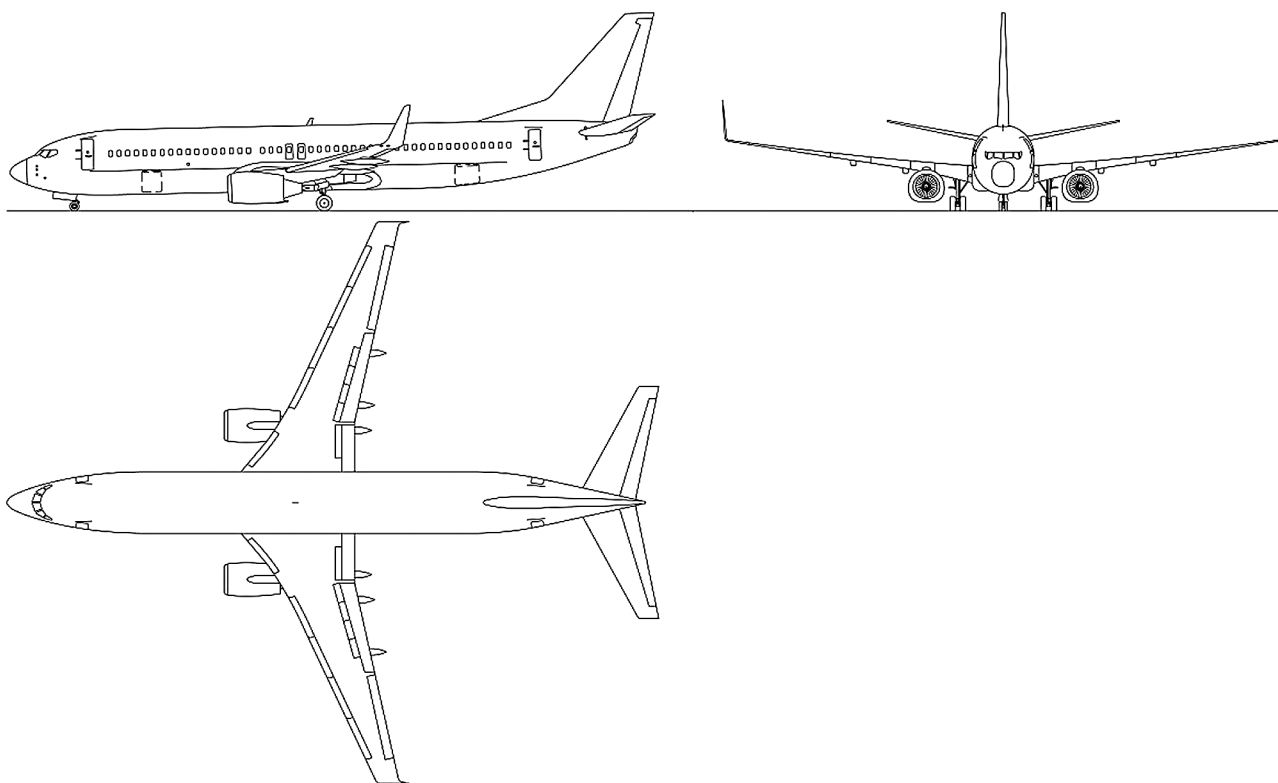


Рис. 8. Самолёт Боинг 737-800

Обращает на себя внимание внешнее отличие крылышек Уитткомба как самолётов семейств A320 и 737NG, так и самолётов семейств A320neo и 737MAX.

Критерием, определяющим топливную эффективность пассажирского самолёта, является коэффициент топливной эффективности пассажирского самолёта:

$$k_{\text{то}} = \frac{Q_{\text{т}}}{n_{\text{пасс}} \cdot L} \quad (1)$$

где:

$k_{\text{то}}$ — коэффициент топливной эффективности пассажирского самолёта, л/(пасс·км);

$Q_{\text{т}}$ — объём топлива, л;

$n_{\text{пасс}}$ — количество пассажиров на борту, пасс.;

L — дальность полёта, км.

Коэффициент топливной эффективности является комплексным показателем, отражающим достижения в области аэродинамики, технологии самолёто- и двигателестроения, проектирования и производства систем самолётов (таких как система управления, топливная, гидравлическая, электрическая и т.д.), а также в области общего проектирования самолётов.

Сравним самолёты семейств А320neo и 737MAX с точки зрения топливной эффективности. Данные для расчётов взяты из [2] и [3]. Результаты расчётов представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Также проведем анализ и сравним самолёты семейств А320 и 737NG между собой. Данные для

расчётов также взяты из [2] и [3]. Результаты расчётов представлены в таблицах 4, 5 и 6.

Кроме того, целесообразно сравнить самолёты семейств А320 и А320neo (таблица 7), а также 737NG и 737MAX (таблица 8).

Результаты проведённых расчётов показывают, что самолёт А319neo превосходит своего предшественника А319-100 на 25.3%, самолёт А320neo превосходит самолёт А320-200 на 18.1%, а самолёт А321neoLR превосходит А321-200 на 26.1%, что в целом соответствует заявлениям компании Аэробус об улучшении топливной эффективности самолётов семейства А320neo на более чем 20% по сравнению с самолётами семейства А320.

Самолёт компании Боинг 737MAX7 превосходит в отношении топливной эффективности самолёт 737-700 на 11.8%, 737MAX8 превосходит 737-800 на 16.8%, а самолёт 737MAX9 превосходит 737-900ER на 24.8%. Результаты расчётов свидетельствуют о том, что заявления компании Боинг об улучшении топливной эффективности самолётов семейства 737MAX по сравнению с самолётами семейства 737NG на 14% в целом соответствуют действительности.

Таблица 1

Анализ топливной эффективности самолётов семейства А320neo в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$Q_{\text{т}}$ [л]	L [км]	$n_{\text{пасс}}$ [пасс]	$k_{\text{топс}}$ [л/(пасс·км)]
А319neo	29659	7800	140	0.0271603
А320neo	29659	6900	165	0.0260509
А321neoLR	32676	7400	206	0.0214353

LR — long range.

Таблица 2

Анализ топливной эффективности самолётов семейства 737MAX в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$Q_{\text{т}}$ [л]	L [км]	$n_{\text{пасс}}$ [пасс]	$k_{\text{топс}}$ [л/(пасс·км)]
737MAX7	25941	7038	126	0.0292528
737MAX8	25941	6704	162	0.0238857
737MAX9	25941	6658	180	0.0216456

Таблица 3

Сравнение топливной эффективности самолётов семейства А320neo и 737MAX в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$k_{\text{то}}$ [л/(пасс·км)]	Самолёт	$k_{\text{то}}$ [л/(пасс·км)]	Разница %
А319neo	0.0271603	737MAX7	0.0292528	7.7
А320neo	0.0260509	737MAX8	0.0238857	9.2
А321neoLR	0.0214353	737MAX9	0.0216456	1

Таблица 4

Анализ топливной эффективности самолётов семейства A320
в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	Q_T [л]	L [км]	$n_{\text{пасс}}$ [пасс]	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]
A319-100	30190	6700	124	0.0363385
A320-200	27200	5700	150	0.0318129
A321-200	30030	5600	185	0.0289865

Таблица 5

Анализ топливной эффективности самолётов семейства 737NG
в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	Q_T [л]	L [км]	$n_{\text{пасс}}$ [пасс]	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]
737-700	26020	6230	126	0.0331473
737-800	26020	5665	160	0.0287070
737-900ER	29660	5925	174	0.0287696

ER — extended range.

Таблица 6

Сравнение топливной эффективности самолётов семейства A320 и 737NG
в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Разница %
A319-100	0.0363385	737-700	0.0331473	9.6
A320-200	0.0318129	737-800	0.0287070	10.8
A321-200	0.0289865	737-900ER	0.0287696	0.8

Таблица 7

Сравнение топливной эффективности самолётов семейства A320 и A320neo
в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Разница %
A319-100	0.0363385	A319neo	0.0271603	25.3
A320-200	0.0318129	A320neo	0.0260509	18.1
A321-200	0.0289865	A321neoLR	0.0214353	26.1

Таблица 8

Сравнение топливной эффективности самолётов семейства 737NG и 737MAX
в двухклассной компоновке пассажирского салона

Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Самолёт	$k_{\text{тэс}}$ [л/(пасс-км)]	Разница %
737-700	0.0331473	737MAX7	0.0292528	11.8
737-800	0.0287070	737MAX8	0.0238857	16.8
737-900ER	0.0287696	737MAX9	0.0216456	24.8

Сравнение конкурирующих моделей самолётов компаний показывает, что самолёт A319neo демонстрирует на 7.7% лучшую топливную эффективность по сравнению с самолётом 737MAX7, самолёт 737MAX8 на 9.2% лучше в отношении топливной эффективности самолёта A320neo, а самолёт A321neoLR на 1% лучше самолёта 737MAX9. В целом слова компании Боинг о превосходстве самолётов семейства 737MAX над самолётами семейства A320neo в части топливной эффективности на 4% подтверждаются только для самолётов A320neo и 737MAX8.

Примечательно то, что самолёты семейства 737NG превосходят самолёты-конкуренты семейства A320 по топливной эффективности. Так, самолёт 737-700 демонстрирует превосходство в 9.6% над самолётом A319-100, топливная эффективность самолёта 737-800 на 10.8% лучше, чем у A320-200, а самолёт 737-900ER на 0.8% превосходит A321-200. Вместе с тем, проведённая модернизация самолётов до уровня A320neo и 737MAX привела к тому, что превосходство в топливной эффективности компания Боинг сумела сохранить только для самолёта 737MAX8.

Также следует отметить то обстоятельство, что при увеличении пассажироместимости самолетов (и как следствие — размеров и взлётной массы) снижается величина коэффициента топливной эффективности, т.е. самолёты становятся более экономичными. Самым экономичным самолётом является A321neoLR с показателем $k_{\text{топ}} = 0.0214353$ л/(пасс·км).

Кроме того, все самолёты семейства A320neo имеют большую дальность полёта по отношению к самолётам семейства 737MAX (7800 км у A319neo против 7038 км у 737MAX7, 6900 км у A320neo против 7038 км у 737MAX8 и 7400 км у A321neoLR против 6658 км у 737MAX7).

При выборе пассажирских самолётов авиакомпании-перевозчики уделяют внимание не только топливной эффективности самолётов и стоимости их обслуживания, но и дальности их полёта. Дальность полёта самолётов семейств A320neo и 737MAX позволяет им выполнять трансатлантические рейсы. Например, расстояние между аэропортами Лондона Хитроу (LHR) и Нью-Йорка (JFK) составляет 5555 км [4]. Учитывая турбулентность атмосферы, возможные неблагоприятные погодные условия, а также загруженность аэропортов, возможно принять необходимую дальность для выполнения рейсов из Лондона в Нью-Йорк как 5800 км. Такие самолёты, как 737-800, A320-200 и A321-200 не в состоянии выполнять рейсы такой протяжённости, тогда как все самолёты семейств A320neo и 737MAX способны на такие беспосадочные перелёты. Таким образом, авиакомпании-перевозчику необязательно из аэропортов с малым и средним пассажиропотоком перевозить пассажи-

ров в аэропорт-хаб региональным или узкофюзеляжным самолётом, затем широкофюзеляжным самолётом через Атлантику в ещё один аэропорт-хаб, и только после этого перевозить пассажиров в конечный аэропорт, снова используя региональный или узкофюзеляжный самолёт. Появляется возможность использовать узкофюзеляжные самолёты для реализации концепции перевозки пассажиров сразу в пункт назначения (point-to-point destination) даже на трансатлантических маршрутах. Такой подход позволит разгрузить крупные аэропорты-хабы и использовать мало- и среднезагруженные аэропорты.

В целом авиакомпании выбирают самолёты для своего парка, основываясь не только на технических характеристиках самолётов и карте своих маршрутов, но и используя принцип однотипности самолётов. Так компания Air France в своём парке узкофюзеляжных самолётов использует только машины производства компании Аэробус [5], в то время как компания KLM эксплуатирует в основном узкофюзеляжные машины производства Боинг [6]. Компания Lufthansa отдаёт предпочтение узкофюзеляжным самолётам Аэробуса [7], а Международные Авиалинии Украины эксплуатируют в основном узкофюзеляжные самолёты Боинга [8]. Такой подход позволяет снизить эксплуатационные затраты, так как затраты на обучение персонала обслуживанию и на само обслуживание самолётов одного типа ниже по сравнению с затратами на обучение персонала обслуживанию и на обслуживание самолётов нескольких типов.

4. Выводы

Проведён анализ топливной эффективности самолётов семейств A320neo и 737MAX. Определен наиболее экономичный самолёт указанных семейств. Проанализирована и подтверждена возможность использования самолётов семейств A320neo и 737MAX для трансатлантических рейсов с использованием принципа перевозки пассажиров из аэропорта вылета в аэропорт назначения, минуя аэропорты-хабы.

Литература

- [1] P.M.Peeters, J.Middel, A.Hoolhorst «Fuel efficiency of commercial aircraft» National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] Интернет сайт www.airbus.com.
- [3] Интернет сайт www.boeing.com.
- [4] Интернет сайт www.travelmath.com.
- [5] Интернет сайт www.airfrance.com.
- [6] Интернет сайт www.klm.com.
- [7] Интернет сайт www.lufthansa.com.
- [8] Интернет сайт www.flyuia.com.

Shalamov A. N.

GECI GmbH. Germany, Hamburg

A320NEO AND 737MAX AIRPLANES FUEL EFFICIENCY COMPARISON

The fuel efficiency analysis and comparison of Airbus A320neo and Boeing 737MAX airplanes are performed. The most fuel efficient airplane of A320neo and 737MAX families is defined. The possibility of non-stop point-to-point destination transatlantic flights of A320neo and 737MAX airplanes is analyzed and proved.

Keywords: passenger airplane; airplane fuel efficiency; airplanes family; narrowbody airplane.

References

- [1] P.M.Peeters, J.Middel, A.Hoolhorst "Fuel efficiency of commercial aircraft" National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] Web sight www.airbus.com.
- [3] Web sight www.boeing.com.
- [4] Web sight www.travelmath.com.
- [5] Web sight www.airfrance.com.
- [6] Web sight www.klm.com.
- [7] Web sight www.lufthansa.com.
- [8] Web sight www.flyuia.com.

УДК 621.791:621.793

Пащенко В. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВА СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНИХ УСТАНОВОК ПЛАЗМОВОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

Проаналізовані перспективи створення мобільних ресурсозберезних установок плазмового нанесення покриттів на основі використання як плазмотворювальних продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згоряння. Показані шляхи керування окислювально-відновним потенціалом плазми. Наведені результати досліджень властивостей отриманих покриттів. Запропонований варіант комплектації установки на базі використання обладнання, яке серійно випускається промисловістю.

Ключові слова: плазмове наплення; мобільна установка; плазма продуктів вихлопу двигунів внутрішнього згоряння; ресурсозбереження; утилізація відходів.

Плазмовенанесення покриттів було і залишається найбільш універсальним інструментом інженерії поверхні через відсутність обмежень на сполучення матеріалів покриття і основи, високу

продуктивність процесу та фізико-механічні характеристики отриманих поверхневих шарів. Певним недоліком методу є невисока мобільність обладнання через необхідність застосування