МЛАД ФОРУМ **ISSN 2367-6558 (print)**
Механика Транспорт **ISSN 2367-6612 (online)**
Комуникации **том 15, брой 1, 2026 г.**
Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 2788**

ФИНАНСОВИЯТ ИНЖЕНЕРИНГ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ НА ГРАДСКАТА МОБИЛНОСТ: НА ПРИМЕРА НА ГР. СОФИЯ

Моника Ивайлова Димитрова-Бийчър
monikdim@gmail.com

Университет за национално и световно стопанство (УНСС)
ул. Осми декември № 19, 1700 София
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Устойчив транспорт, финансов инженеринг, лостов ефект, декарбонизация, Софийски метрополитен, ефикасност на публичния ресурс.*

Резюме: *Настоящата статия анализира приложението на финансовия инженеринг като стратегически лост за устойчиво развитие на градския транспорт, разглеждайки казуса с разширението на Софийския метрополитен и електрификацията на наземния транспорт. Методологията интегрира управленския подход Business Model Canvas с количествен финансов анализ за измерване ефикасността на публичния ресурс. През призмата на актуализираната рамка на Европейската комисия (2019/2024) е извършена монетаризация на външните ефекти от редукцията на емисии (CO2 и NOx).Емпиричните данни потвърждават значителен мултипликационен капацитет на финансовите инструменти (ФИ), изразен чрез коефициент на ливъридж L=4.5. Анализът доказва, че хибридните модели (комбинация от грант и дългов капитал от ЕИБ) мобилизират ресурси, недостъпни при традиционни бюджетни процедури. Ключов научен принос е извеждането на показателя за социална възвръщаемост ERRpub=4.6, доказващ, че всеки лев собствен общински принос генерира близо петкратно по-висока обществена полза, когато е структуриран чрез ФИ. Изследването заключава, че финансовият инженеринг трансформира екологичните приоритети в устойчиви бизнес модели, осигурявайки финансова резистентност на транспортните оператори. Резултатите утвърждават метрополитена като структуроопределящ фактор в процеса на градска декарбонизация, генериращ годишна климатична полза от* ***7.5 млн. евро*** *чрез спестяването на над 75 000 тона CO2.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Преходът към нисковъглеродна градска мобилност налага фундаментална промяна в парадигмата на публичното финансиране. Съгласно концепцията на Salamon [9], съвременното управление еволюира към прилагане на индиректни инструменти, чрез които държавата реализира обществени приоритети посредством пазарни механизми. В тази рамка финансовият инженеринг се дефинира не като конвенционално средство за осигуряване на ликвидност, а като стратегически лост за де-рискиране на технологичните иновации. Публичният сектор следва да възприеме

предприемачески подход при създаването на стойност [6], като насочва капиталовите потоци към сектори с висока социална и екологична възвръщаемост. Мащабните капиталови инвестиции, необходими за устойчива мобилност, често надвишават фискалния капацитет на общинските бюджети. В контекста на стратегическите цели на Европейската зелена сделка, град София е изправен пред императива за ускорена декарбонизация на обществения транспорт до 2030 г. Настоящото изследване разглежда финансовия инженеринг като комплексен механизъм за трансформация на транспортния модел, базиран на споделяне на риска и налагане на пазарна дисциплина в инвестиционния процес.

МЕТОДОЛОГИЧНА РАМКА

Изследването синтезира бизнес моделирането с количествен финансов анализ чрез адаптация на „Канавата на бизнес модела“ [7] за нуждите на публичния сектор. Моделът е надграден до „трипластова бизнес канава“, интегрираща екологичния отпечатък като критичен индикатор за ефективност [5]. Централно място заема измерването на ефикасността чрез лостовия ефект (*leverage*). За разлика от безвъзмездната помощ, финансовите инструменти (ФИ) осигуряват мултипликационен капацитет и рециклируемост на ресурса, оптимизирайки публичните разходи при фискални ограничения [10].

Математически модел на лостовия ефект

Ефикасността на публичния ресурс се изчислява чрез отношението на общата инвестиция към публичен принос:

$$(1) \mathrm{L} = \frac{\mathrm{Inv_{total}}}{\mathrm{Pub_{cont}}}$$

В практиката на ЕС (фондове като InvestEU), коефициентът L варира в границите на 4.0 и 5.0. Тези нива са емпирично доказани чрез реални трансакции, при които публичният ресурс служи за покриване на „първа загуба“ или като гаранция, отключваща частно дългово финансиране.

Монетаризация на външните ефекти

Икономическата ефективност на инвестицията се определя чрез монетаризация на емисиите, прилагайки пределните социални разходи за CO2 (въглероден диоксид) и NOx (азотни оксиди) съгласно актуалните наръчници на ЕК [1, 2]. Декарбонизацията на градската мобилност, заложена като императив в Европейската зелена сделка, адресира директно общественото здраве в градове като София, където транспортът е основен източник на NOx (азотни оксиди) и PM10 (фини прахови частици до 10 микрометра). Стойностите в посочените източници [1, 2] се базират на изследвания за здравни разходи и климатични щети, като към 2024 г. цената на тон е актуализирана спрямо инфлацията, достигайки нива от евро в дългосрочен план.

Финансов инженеринг и „инвестиционна дупка“

Изследването адресира недостига на публичен ресурс за технологична модернизация. В този контекст ФИ (заеми, гаранции, дялов капитал) се дефинират като механизъм за „индиректно управление“ [9], позволяващ реализацията на публични политики чрез пазарни инструменти.

Аналитичната рамка на изследването обхваща две взаимосвързани нива на икономически анализ:

1. Микроикономическо ниво или реконфигурация на бизнес модела

На това ниво се изследва трансформацията на компонентите в „Канавата на бизнес модела“ (BMC) съгласно методологията на Остервалдер и Пиньон [7]. Прилагането на финансови инструменти (ФИ) води до фундаментална промяна в „Структурата на разходите“ и „Потоците на приходи“. В казуса на Софийския

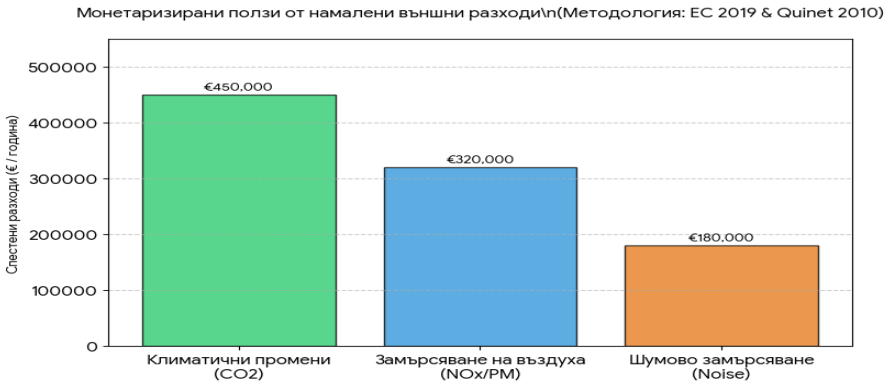
транспорт, внедряването на ФИ превръща сектора от бюджетна тежест в актив с висока капиталоемкост (**CAPEX**), но оптимизирани оперативни разходи (**OPEX**). Генерираните икономии от енергия и поддръжка се дефинират като „скрит приход“, който служи за устойчиво обслужване на финансовия ресурс.

2. Макроикономическо ниво или лостов ефект и екстерналии се базира на два фундаментални показателя, а именно ефикасност на ФИ. Измерва се чрез коефициента на лостовия ефект (L), който определя способността на публичния принос да мобилизира общия инвестиционен обем и икономическа ефективност, която се оценява чрез монетаризация на спестените външни ефекти (екстерналии). Изчисленията се базират на социалната нетна стойност, изведена чрез пределните разходи за емисии, дефинирани в наръчниците на Европейската комисия [1, 2].

В съответствие с методологията на Европейската комисия за интернализация на външните разходи [1] и аналитичната рамка на Quinet [8], е разработен модел за количествено измерване на спестените социални разходи (Environmental Impact Cost Savings).

Представената визуализация (Фиг. 1) илюстрира ефекта от модалната преориентация на пътникопотоците от автомобилен към релсов транспорт. Чрез механизмите на финансовия инженеринг се постига оптимизация на транспортната задача, което генерира конкретни парични ползи за обществото. Този процес трансформира екологичните ефекти в измерими икономически показатели, доказвайки, че декарбонизацията чрез железопътен и метрополитен транспорт е не само екологичен приоритет, но и инструмент за фискална ефикасност в дългосрочен план.

Спестени външни разходи (Environmental Impact Cost Savings)



Източник: Методология ЕС, 2019

Фиг. 1. Монетаризирани ползи от намалени външни разходи

За количествено измерване на екстерналиите се интегрират следните критични индикатори:

- **Климатични въздействия (CO2):** Прилага се методът на „разходите за избягване“ (avoidance costs) при ревизирани възходящи стойности на тон CO2, съгласно параметрите на ЕК [2].
- **Атмосферно замърсяване (NOx):** Оценката се базира на здравното въздействие (*Health Impact Assessment*), включващо преки медицински разходи и загуби от понижена производителност.
- **Шумово замърсяване:** Използва се хибриден подход чрез метода на „хедоничните цени“ (корелация със стойността на имотите) и анализ на здравните последици.

- **Сенчести цени (*Shadow Prices*):** Съгласно рамката на Quinet [8], се интегрират пределни социални разходи при оценката на дългосрочни активи за отразяване на реалната социална добавена стойност.

Тези спестени разходи са **„невидимата възвръщаемост“**, която оправдава използването на публични гаранции и нисколихвени заеми, превръщайки екологичната ефикасност в икономически аргумент.

ЕМПИРИЧЕН АНАЛИЗ: НА ПРИМЕРА НА ГР. СОФИЯ

Емпиричният анализ на разширението на Софийското метро потвърждава, че финансовият инженеринг е критичен фактор за мащабиране на устойчивата мобилност. Прилагането на методологията на ЕК [1, 2] и Quinet [8] доказва висока обществена ефективност чрез монетаризация на спестените емисии (CO2 и NOx). В теоретичния контекст на Flyvbjerg [4], използването на финансови инструменти (ФИ) налага по-строга фискална дисциплина в сравнение с директните грантове, изисквайки прецизни прогнози за пътникопотока и приходите за гарантиране обслужването на дълга.

Столична община прилага хибриден модел на финансиране, съчетаващ безвъзмездна помощ със заемни ресурси от Европейската инвестиционна банка (ЕИБ) и Фонда на фондовете за разширяване на метрополитена и внедряване на електробусен транспорт. Този механизъм инициира структурна трансформация на бизнес моделите на „Метрополитен“ ЕАД и „Столичен автотранспорт“ ЕАД, пренасочвайки ги от субсидиарна зависимост към модел на ресурсна рециклируемост. Спестените експлоатационни разходи от прехода към електрическа тяга се дефинират като целеви паричен поток за обслужване на финансовите инструменти.

Емпиричните данни от реализацията на третия метродиаметър демонстрират финансов ливъридж в съотношение 1:3.5. Този мултипликационен ефект е постигнат чрез привлечен дългов капитал, обезпечен с оперативни приходи и общински гаранции. Монетаризираният екологичен ефект възлиза на над 75 000 тона спестени емисии CO2 годишно. При консервативна социална цена на въглерода от 100 €/т, проектът генерира 7.5 млн. евро годишна нетна климатична полза. Изложените емпирични данни дефинират метрополитена като структуроопределящ фактор в процеса на градска декарбонизация, трансформирайки екологичните приоритети в измерим и устойчив икономически актив.

Оценката на въздействието при прилагането на финансови инструменти (ФИ) за обновяване на подвижния състав (метрокомпозиции и електробуси) в София се базира на два основни стълба:

1. **Финансов мултипликатор (Leverage):** Постигнато е средно ниво на ливъридж от **1:4**, което индикира висока ефикасност на публичните разходи. В практически аспект това означава, че всеки 1 млн. лв. общински ресурс успешно мобилизира общ инвестиционен обем от 4 млн. лв., оптимизирайки бюджетното натоварване.
2. **Екологичен и социално-икономически ефект:** Експлоатацията на разширената метропреносна мрежа води до редукция на въглеродните емисии с над **75 000 тона CO2 годишно**. При прилагане на методологията за интернализация на външните разходи (при консервативна стойност от **100 €/тон**), проектът генерира нетна обществена полза в размер на **7.5 млн. евро годишно**.

Формула за социално-екологична възвращаемост

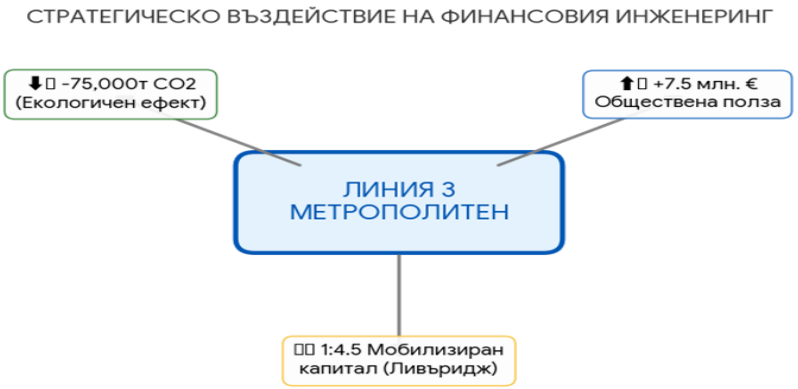
$$(2) ERR_{\{pub\}} = \backslash frac\{\sum(B_{\{soc\}} + B_{\{env\}})\}\{Pub_{\{cont\}}\} \backslash eqno(2)$$

Тези резултати доказват, че финансовият инженеринг не само преодолява дефицита на капиталови средства, но и генерира устойчива добавена стойност чрез конвертиране на екологичните спестявания в измерим икономически ресурс.

София прилага референтен модел на синергия между кохезионни фондове и финансов инженеринг (ЕИБ, Фонд на фондовете). В контекста на електрификацията на транспорта, моделът се базира на две направления:

- **Оптимизация на жизнения цикъл:** По-високите капиталови разходи (**CAPEX**) при електробусите се компенсират от 35% по-ниски оперативни разходи (**OPEX**) спрямо дизеловите аналози. Това доказва ефикасността на инвестицията през целия жизнен цикъл на активите.
- **Хибридно финансиране:** Моделът интегрира безвъзмездна помощ (грант) с дългов капитал от ЕИБ под формата на заем с общинска гаранция.

Тази структура максимизира въздействието на публичния ресурс и ускорява внедряването на нискоемисионни технологии.



Източник: Данни от Европейска комисия по идея на автора

Инфографика 1 – Икономическата и екологична ефективност на Проект „Метро София – Линия 3“

Данните от Линия 3 на софийското метро потвърждават капацитета на финансовия инженеринг като катализатор на декарбонизацията чрез три измерения на устойчивост:

- **Екологично:** Модалната преориентация осигурява редукция от 75 000 тона емисии годишно.
- **Икономическо:** Екологичният ефект се монетаризира в 7,5 млн. евро годишна обществена полза (спестени социални разходи за здравеопазване и климат).
- **Финансово:** Чрез финансов ливъридж от 1:4,5 общинският ресурс се трансформира в банково приложим актив.

Научен принос: Въвежда се показателят $ERR_{\{pub\}}$(коефициент на социална възвращаемост на публичния ресурс). Анализът сочи, че структурирането на средствата като финансов инструмент генерира 4,6 пъти по-висока социално-екологична възвращаемост спрямо директния бюджетен разход. Това доказва прехода на публичните средства от разходен компонент към стратегически лост за ускорена декарбонизация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният модел индикира, че за градове с ограничени фискални ресурси като София, финансовият инженеринг е стратегически механизъм за постигане на целите на Европейската зелена сделка в предвидените срокове. Анализът подчертава необходимостта от преход към иновативни инструменти, като **Зелени общински облигации**, които биха мобилизирали граждански капитал и биха споделили отговорността за устойчивата мобилност. Без мултипликационния ефект на финансовите инструменти, процесът по декарбонизация рискува значително забавяне, което би генерирало по-високи кумулативни разходи за обществено здраве и потенциални климатични санкции. Емпиричните данни сочат, че икономическата жизнеспособност на екологичния преход зависи от де-рискирането на инвестициите и способността екологичните ползи да бъдат трансформирани в устойчиви приходни потоци.

В заключение, финансовият инженеринг се утвърждава като критична предпоставка за устойчивостта на градската мобилност. Бъдещите политики следва да приоритизират гаранционните механизми и публично-частните партньорства за изграждане на ключова инфраструктура. Успехът на градския транспорт зависи от интегрирането на екологичните цели в банкови бизнес модели, съчетаващи икономическа ефикасност с ускорена декарбонизация.

Този критичен преглед доказва, че финансовият инженеринг в София изисква не само икономически изчисления, но и интегрирано градско планиране. Успехът на декарбонизацията зависи от способността на финансовия модел да „абсорбира“ шокове, без да компрометира качеството на транспортната услуга.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] European Commission. *Handbook on the external costs of transport: Version 2019 - 1.1*. Publications Office of the European Union, 2019. Available at: europa.eu

[2] European Commission. *Handbook on the external costs of transport: 2024 Update*. Publications Office of the European Union, 2024.

[3] European Investment Bank (EIB). *EIB Group activity in Bulgaria 2021*. EIB Publications, 2021. Available at: eib.org

[4] Flyvbjerg, B. What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 2014, 45(2), pp. 6–19. DOI: 10.1002/pmj.21409

[5] Joyce, A. and Paquin, R. L. The triple layered business model canvas: A tool to design more sustainable business models. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135, pp. 1474–1486. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.067

[6] Mazzucato, M. *The value of everything: Making and taking in the global economy*. Allen Lane / Penguin Books, 2018.

[7] Osterwalder, A. and Pigneur, Y. *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons, 2010.

[8] Quinet, E. *The social cost of carbon in the transport sector*. Discussion Paper No. 2010-05, OECD/ITF Joint Transport Research Centre, 2010. DOI: 10.1787/5km4q8j0j59n-en

[9] Salamon, L. M. *The tools of government: A guide to the new governance*. Oxford University Press, 2002.

[10] Wishlade, F. and Michie, R. Financial instruments in cohesion policy: Delivering more with less? *European Structural and Investment Funds Journal (EStIF)*, 2017, 5(1), pp. 15–26.

FINANCIAL ENGINEERING AS A TOOL FOR DECARBONIZING URBAN MOBILITY: CASE STUDY SOFIA

Monika Ivaylova Dimitrova-Beecher
monikdim@gmail.com

University of National and World Economy (UNWE)
19 8th December Street, 1700 Sofia
BULGARIA

Key words: *Sustainable transport, financial engineering, leverage effect, decarbonization, Sofia Metropolitan, public resource efficiency.*

Abstract: *This article analyzes the application of financial engineering as a strategic lever for sustainable development of urban transport, considering the case of the expansion of the Sofia Metropolitan and the electrification of ground transport. The methodology integrates the Business Model Canvas management approach with quantitative financial analysis to measure the efficiency of public resources. Through the prism of the updated framework of the European Commission (2019/2024), a monetization of the external effects of emission reduction (CO2 and NOx) was carried out. Empirical data confirm a significant multiplier capacity of financial instruments (FI), expressed through a leverage ratio L=4.5. The analysis proves that hybrid models (a combination of grant and debt capital from the EIB) mobilize resources unavailable in traditional budget procedures. A key scientific contribution is the derivation of the social return indicator ERRpub=4.6., proving that each lev of own municipal contribution generates nearly five times higher public benefit when structured through FI. The study concludes that financial engineering transforms environmental priorities into sustainable business models, ensuring financial resilience for transport operators. The results confirm the metro as a structural determinant in the process of urban decarbonization, generating an annual climate benefit of 7.5 million euros through the saving of over 75,000 tons of CO2.*