

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.6>  
УДК 004.4, 004.6

**Фірсов О. Д.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук  
та інженерії програмного забезпечення  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-9071-8336

**Ульяновська Ю. В.**, кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук  
та інженерії програмного забезпечення  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0001-5945-5251

**Мормуль М. Ф.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук  
та інженерії програмного забезпечення  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-8036-3236

**Пікулін Д. О.**, магістр  
з інженерії програмного забезпечення

## ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

*Робота присвячена питанню проектування веб-додатку для імітаційного моделювання дорожнього руху на перехресті. Проаналізовано загальну схему роботи ділянки транспортної мережі міста та запропоновано шляхи її удосконалення за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Розроблені параметри функціонування імітаційної моделі, складено алгоритми (описові та графічні) вирішення проблеми розробки веб-додатку для моделювання дорожнього руху. Побудовано UML-діаграми кожного етапу роботи застосунку.*

Ключові слова: мережа, пропускна здатність, автомобільний транспорт, імітаційне моделювання, UML проект.

*Firsov O. D., Ulianova Yu. V., Mormul M. F., Pikulin D. O. Web application architecture design for traffic flow management simulation*

*The work is devoted to the issue of designing a web application for simulating traffic at an intersection. The general scheme of the section of the city's transport network was analyzed and ways of its improvement were proposed. Alternative parameters of the functioning of this model have been developed, as well as sequential algorithms (descriptive and graphic) for solving the problem of traffic modeling have been compiled. Detailed flowcharts of each stage were built and the best option for solving the problem was chosen.*

Key words: network, bandwidth, automobile transport, simulation modeling, UML project.

**Постановка проблеми.** Постійне збільшення кількості транспортних об'єктів породжує нові проблеми управління автомобільним трафіком, що вимагає збільшення надійності та безпечності транспортних магістралей. Це зумовлює збільшення витрат в даній галузі на підтримку та розвиток транспортної мережі, які можливо скоротити за рахунок програмного забезпечення.

Транспортна інфраструктура є однією з найбільш важливих складових частин, що забезпечують життя міст і регіонів. Це насамперед проявилось у швидкому зростанні кількості індивідуальних транспортних засобів у великих і значних містах, що, своєю чергою, породило низку транспортних проблем, зокрема таких як перевантаження вулиць транспортом, збільшення витрат часу на поїздки та кількості вимушених зупинок, зростання аварійних ситуацій і дорожньотранспортних пригод, виникнення заторів тощо [1]. Одним з основних інструментів вирішення проблеми є використання імітаційного моделювання. Водночас розвиток комп'ютерних технологій дозволяє розробляти інформаційні системи, які дозволяють вирішити більшість проблем в автоматичному режимі.

© О. Д. Фірсов, Ю. В. Ульяновська, М. Ф. Мормуль, Д. О. Пікулін, 2022

---

Програмне забезпечення імітаційного моделювання транспортних потоків є актуальним напрямком та має велику практичну цінність. Побудова моделей дозволяє виявити слабкі місця транспортних мереж, проектувати транспортну інфраструктуру для оптимізації транспортного потоку міста, скоротивши тим самим витрати на утримання дорожніх мереж та збільшивши безпеку мешканців. За допомогою моделювання транспортних потоків можна визначити майбутні вимоги міста в розширенні транспортної мережі.

У системі управління транспортними потоками об'єктом дослідження є транспортний процес, пов'язаний із дорожньою діяльністю у межах ділянки транспортної мережі міста, але водії автомобілів поведуться на дорозі і реагують на різні події по-різному, не завжди прогнозовано, що ускладнює аналіз такої системи. Програмне забезпечення для управління дорожнім рухом спрямоване на розробку заходів щодо вдосконалення організації дорожнього руху за рахунок підвищення її ефективності та раціональності використання засобів організації дорожнього руху, а також обґрунтування доцільності їх застосування. Важливим аспектом є проектування майбутнього програмного продукту з урахуванням основних аспектів досліджуваного питання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основною метою створення моделей транспортних потоків є визначення та прогноз всіх параметрів функціонування транспортної мережі – інтенсивності руху, обсягів пасажирських перевезень, середніх швидкостей руху, затримок і втрат часу і т.д. Для моделювання та аналізу транспортної мережі застосовуються різні математичні моделі, які відрізняються між собою за напрямками вирішення поставлених завдань, математичного апарату, що застосовується цією і точності опису транспортних процесів. Аналізу методів моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст, виявленню проблем щодо їх використання та впровадження в сучасних умовах розвитку й функціонування міст та забезпечення життєдіяльності його населення присвячена робота [6].

Оптимізація транспортних потоків необхідна, коли організація прагне задовольнити попит своїх споживачів та водночас досягнути бажаного рівня норми прибутку на вкладений капітал, для чого в роботі [2] розглядаються можливості практичного використання задач лінійного програмування для оптимізації транспортних потоків підприємства харчової промисловості. В роботі [3] перевірена можливість та коректність застосування добре опрацьованого і перевіреного часом апарату класичної гідродинаміки для вирішення завдань організації руху міського транспорту. В роботі [4] розроблено метод визначення модельної характеристики транспортного потоку певної ділянки транспортної мережі на основі використання концепції ефективного автомобілю. При цьому процедура пошуку автомобіля з ефективними техніко-експлуатаційними характеристиками розглядається на базі методу аналізу ієрархій Сааті.

Методи імітаційного моделювання широко використовуються при моделюванні зазначених задач. В роботі [1] проводиться аналіз таких імітаційних моделей, як: макроскопічні моделі – описують рух автомобілів, описують рух транспортних потоків аналогічно рухам рідин або газів, кінетичні моделі, які засновані на динаміці фазової щільності потоку, а саме щільності розподілу автомобілів за координатами і індивідуальною швидкістю, мікроскопічні моделі, які призначені для моделювання руху кожного автомобіля, що дозволяє отримувати більш високу точність опису руху автомобіля, мезоскопічні моделі, які поєднують мікроскопічні та макроскопічні підходи. В роботі [5] методи імітаційного моделювання були використані для отримання та аналізу характеристик функціонування системи обслуговування ТЗ в МАПП «Тиса», а також прогнозування даних характеристик після можливих змін. Імітаційне моделювання здійснено за методом Монте-Карло, та проведено розрахунки на основі моделювання підсистем для обслуговування легкових, вантажних автомобілів та автобусів. Перевага використання методів імітаційного моделювання у порівнянні з аналітичним, графічним та графоаналітичним методом відмічається і в роботі [7], автори якої відзначають, що зазначені методи достатньо достовірні, однак при моделюванні складних, багатофакторних процесів вимагають великої кількості вихідних даних та є трудомісткими. На противагу ним імітаційне (динамічне) моделювання позиціонується як найбільш точний метод. Він дає змогу максимально повно та точно змодельовати транспортний процес фактично без обмежень. Водночас автори звертають увагу, що реалізація методу ускладнюється розробкою спеціального програмного забезпечення та потребою у значній кількості оброблених та систематизованих статистичних даних. Саме тому у роботі [8] досліджувалось використання інтелектуальних систем моделювання транспортних потоків та проведено аналіз сучасних програмних продуктів для моделювання транспортних потоків. Моделювання транспортних потоків було здійснено з використанням власної програми «Free way», яка дозволяє відслідковувати завантаженість доріг України на основі аналізу динаміки швидкості на обраних ділянках доріг. Моделювання здійснювалось з застосуванням програмного продукту, що реалізований з використанням системи управління «CMS Drupal», заснований на мові програмування PHP, мові програмування javascript, елементів HTML, та CSS.

В роботі [9] створено загальну методологію імітаційного моделювання та вдосконалено формалізацію методу агентного моделювання. Результати роботи покладені в основу системи імітаційного моделювання транспортних потоків, що дозволяє аналізувати властивості наявних і проєктованих транспортних вузлів. Система реалізована у вигляді програмного комплексу, який може бути використаний в установах державного управління, проєктних організаціях і консалтингових компаніях, що займаються проєктуванням і реорганізацією схем дорожнього руху. Запропонована модель агента може бути використана для більш складних імітаційних моделей організаційно-технічних систем.

Зараз існує декілька програмних засобів, що реалізують імітаційне моделювання транспортних потоків, наприклад: «AIMSUN»; «PTV»; «Bentley Systems»; «Aimsun»; «Actor Pilgrim» та інші.

**Мета статті.** Метою даної роботи є створення архітектури веб-застосунку для імітаційного моделювання дорожнього руху на перехресті та подальшою програмною реалізацією.

**Виклад основного матеріалу.**

На основі проведеного дослідження предметної області було визначено, що веб-застосунок повинен мати такі налаштування:

- 1) кількість автомобілів по напрямленню осі X;
- 2) максимальна затримка автомобілів по напрямленню осі X;
- 3) кількість автомобілів по напрямленню осі -X;
- 4) максимальна затримка автомобілів по напрямленню осі -X;
- 5) кількість автомобілів по напрямленню осі Y;
- 6) максимальна затримка автомобілів по напрямленню осі Y;
- 7) кількість автомобілів по напрямленню осі -Y;
- 8) максимальна затримка автомобілів по напрямленню осі -Y;
- 9) включення рівномірного розподілу автомобілів;
- 10) включення нормального розподілу автомобілів;
- 11) включення спадкового розподілу автомобілів;
- 12) включення наростаючого розподілу автомобілів;
- 13) включення ручного заповнення розподілу автомобілів;
- 14) поля для ручного заповнення розподілу автомобілів;
- 15) час переключення світлофорів.

В результаті використання веб-застосунку повинні бути здобуті наступні дані:

- 16) час виконання;
- 17) максимальна черга автомобілів по напрямленню осі X;
- 18) максимальна черга автомобілів по напрямленню осі -X;
- 19) максимальна черга автомобілів по напрямленню осі Y;
- 20) максимальна черга автомобілів по напрямленню осі -Y;
- 21) розподіл автомобілів по напрямленню осі X;
- 22) розподіл автомобілів по напрямленню осі -X;
- 23) розподіл автомобілів по напрямленню осі Y;
- 24) розподіл автомобілів по напрямленню осі -Y.

З урахуванням зазначеного потрібно побудувати UML проект, згідно з яким у подальшому безпосередньо розробити сам програмний продукт. За рахунок розробленого веб-застосунку провести експерименти з моделями розподілення автомобілів.

У застосунку передбачається моделювання на основі рівномірного розподілу, нормального розподілу, спадаючого розподілу, наростаючого розподілу та розподілу з використанням реальних даних.

Для вирішення поставленої задачі побудуємо UML проект веб-застосунку, який можна було б швидко та легко інтегрувати у вже використовувані системи.

Розробка UML проекту починається з розробки діаграми варіантів використання веб-проекту (рис. 1). З якої можливо побачити всі можливі дії в проекті зі сторони користувача.

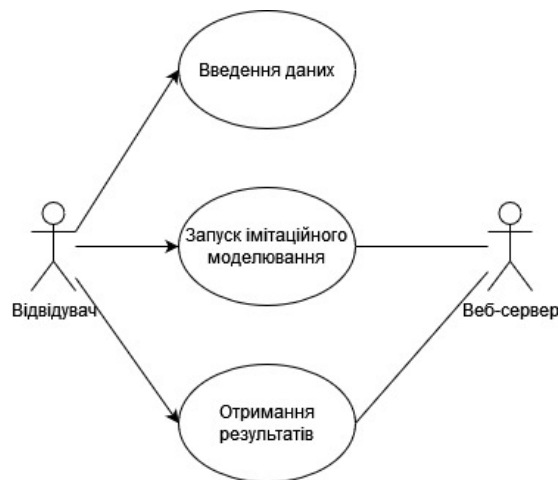


Рис. 1. Діаграма варіантів використання

Для відображення загальної структури класів проекту, їх кооперації, атрибутів, методів та взаємозв'язку між ними побудовано діаграму класів (рис. 2). З якої ми можемо побачити, що основний клас є Crossroads, а усі інші потрібні для його роботи та є класами за замовчанням мови JavaScript.

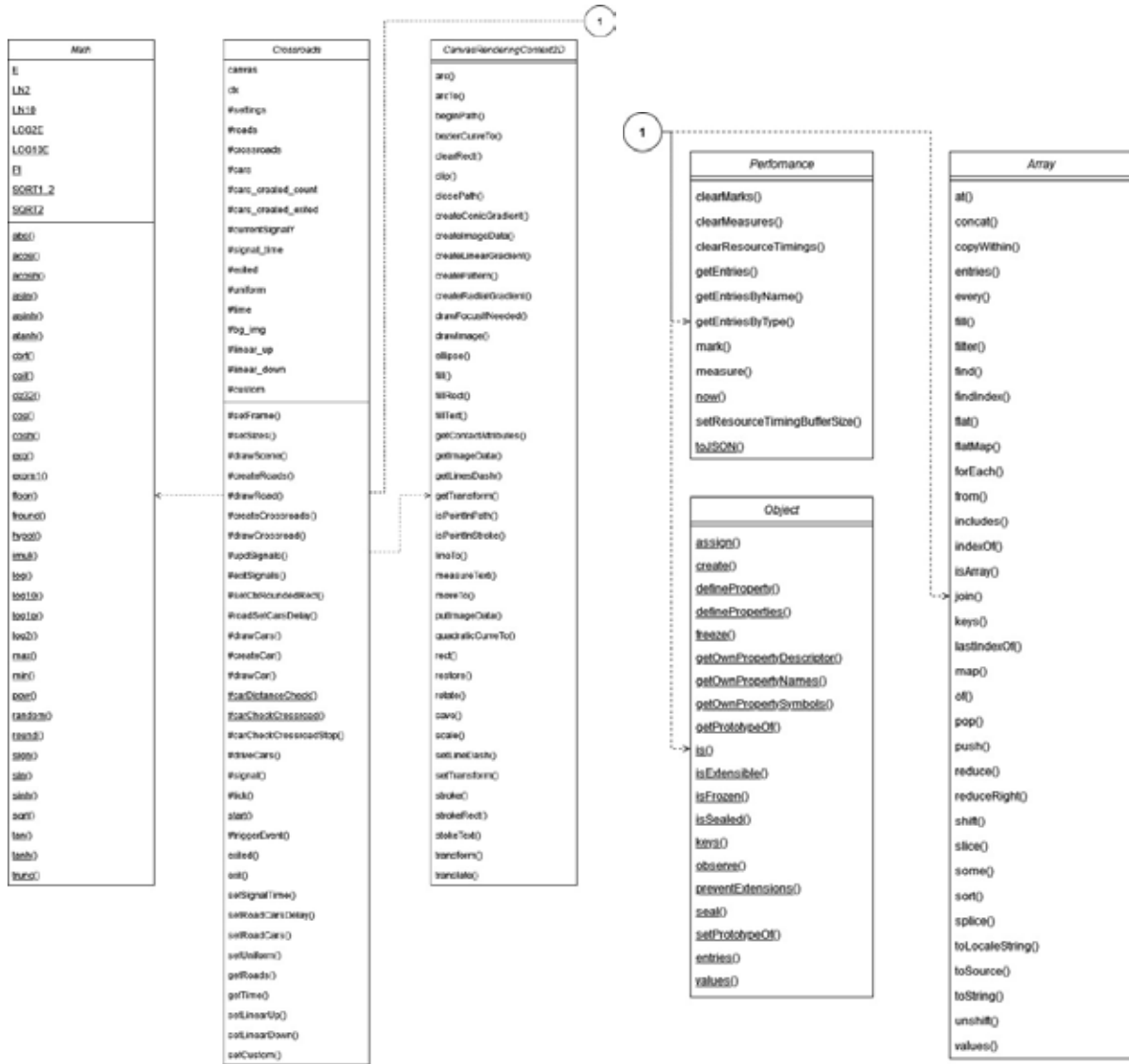


Рис. 2. Діаграма класів

Для відображення роботи веб-сервера та веб-клієнту розроблено діаграму розгортання (рис. 3). З даної діаграми можливо побачити, як взаємодіють компоненти веб-серверу з компонентами веб-клієнту.

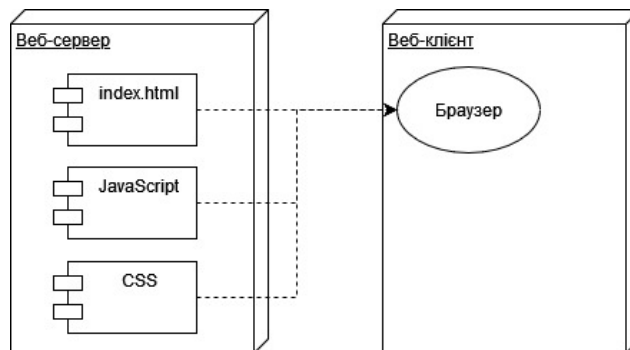


Рис. 3. Діаграма розгортання

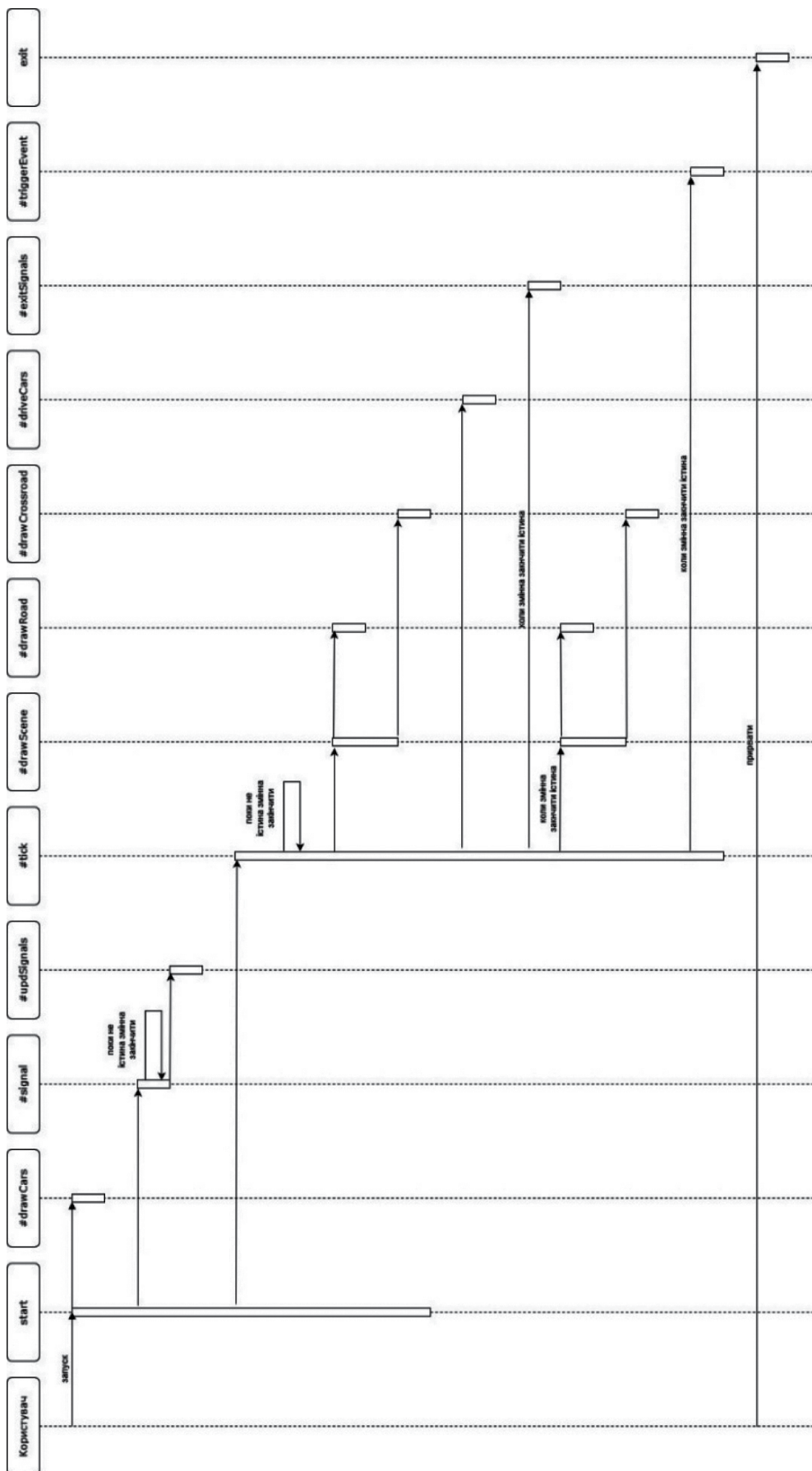


Рис. 4. Повний вигляд діаграми послідовності згідно функції класу

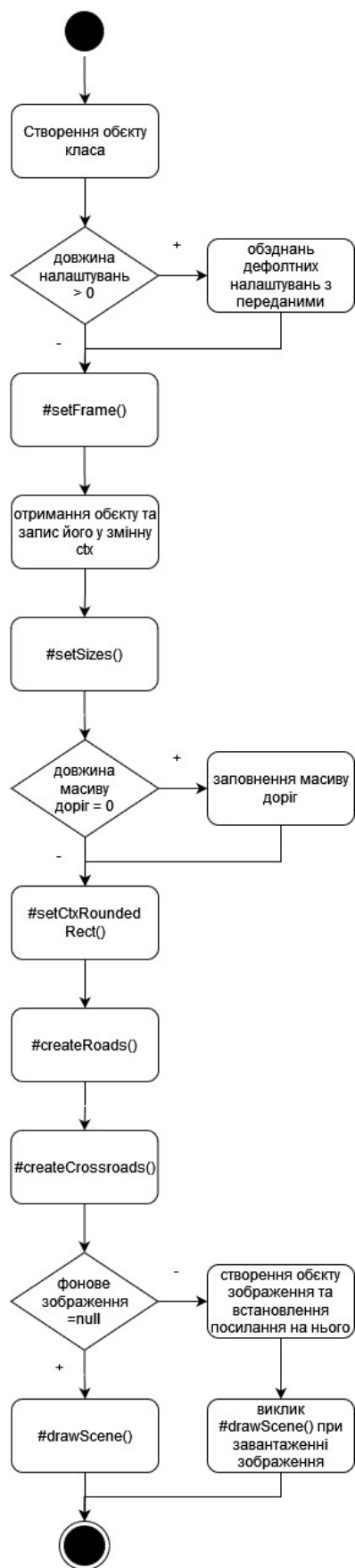


Рис. 5. Діаграма створення об'єкту класу

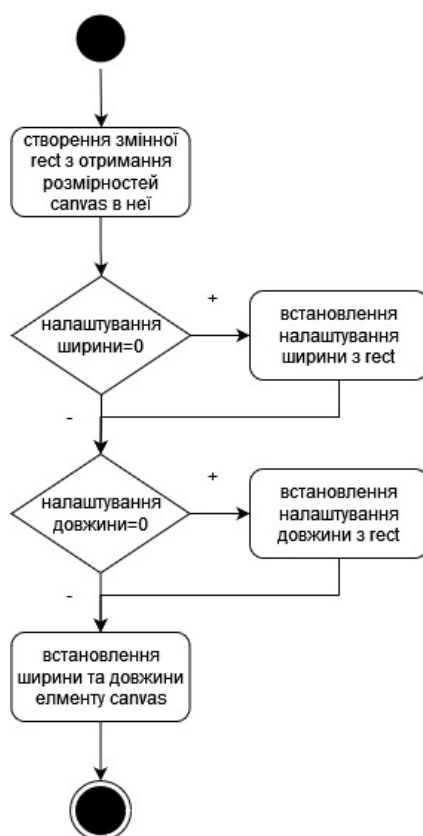


Рис. 6. Діаграма функції #setSizes()

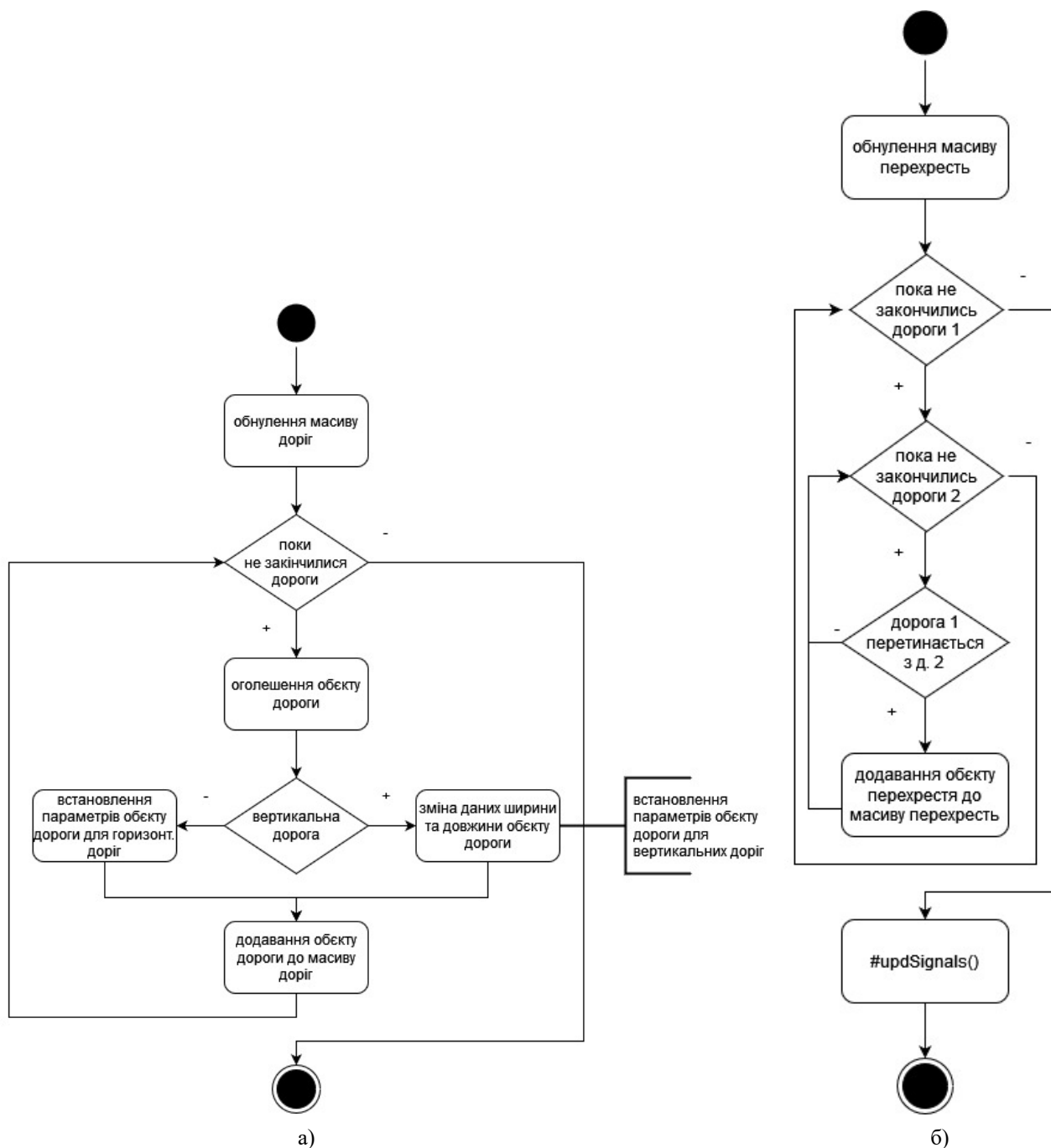


Рис. 7. Діаграми функції: а – #createRoads(), б – #createCrossroads()

Було побудовано діаграму послідовності (рис. 4). Для відображення життєвого циклу об'єкту з боку функції класу.

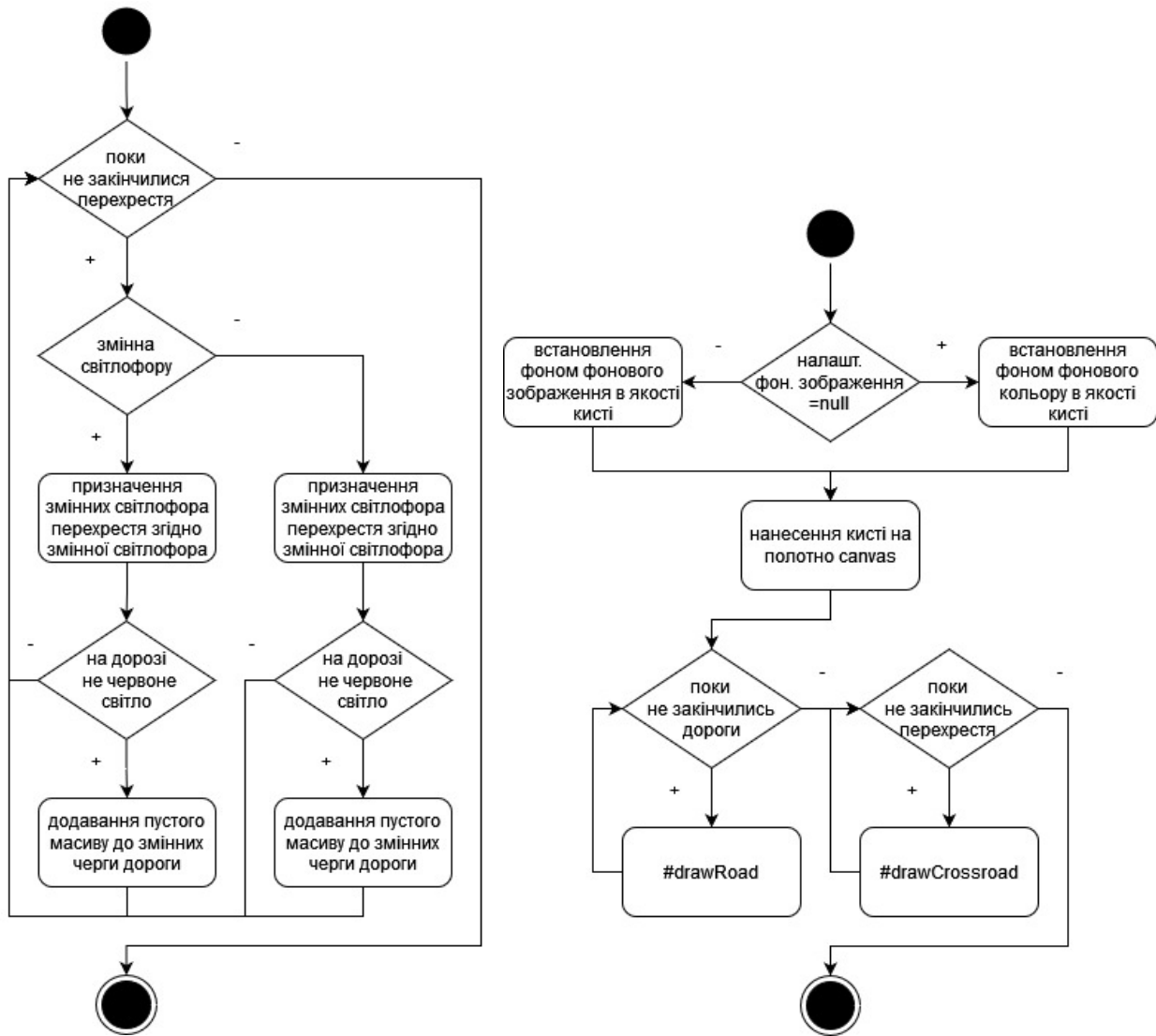
Для відображення роботи класу при створенні об'єкта класу було побудовано діаграму (рис. 5).

Функція #setSize() створена для задавання розмірів використовуваних елементів. Було побудовано її діаграму для відображення процесу роботи цієї функції (рис. 6).

Важливою складовою частиною проектування є створення об'єктів доріг та об'єктів перехресть, для яких передбачалось створення функції #createRoads() (рис. 7а) та #createCrossroads() (рис. 7б).

Переключення кольору світлофорів на перехрестях відбувається за допомогою функції #updSignals(). Для відображення процесу роботи даної функції було побудовано діаграму (рис. 8а). Функція #drawScene() побудована з цілю відображення так званої карти дороги. Процес її роботи зображено на діаграмі (рис. 8б).

Малювання дороги – це окремий процес, і для відображення його роботи було побудовано діаграму (рис. 9). Відбувається даний процес у функції #drawRoad().



а) б)  
Рис. 8. Діаграми функції: а – #updSignals(), б – #drawScene()

При запуску користувачем процесу імітаційного моделювання дорожнього руху на перехресті викликається статична функція start().

Малювання перехрестя – складний процес, який має багато умов. Відбувається це у функції #drawCrossroad() та відображено у діаграмі (рис. 10).

Ще одним зі складних процесів з великою кількістю умов є процес генерації автомобілів (функції #drawCars()) та переключення кольору світлофорів перехрестя по заданому часу (функції #signal()). Для оновлення так званої побудованої карти дороги викликається функція #tick() згідно з кадровою частотою. Роботи даних функції відображено у діаграмі на рис. 11а, рис. 11б та 11с відповідно.

Завдання часу розподілу автомобілів виконується окремою функцією #roadSetCarsDelay(). Її робота відображена у діаграмі (рис. 12).

Було побудовано діаграму для відображення процесу малювання автомобіля у функції #drawCar() (рис. 13).

Одним із найскладніших процесів у веб-застосунку є пересування автомобілів, оскільки для цього потрібно дотримуватися великої кількості умов. Було побудовано діаграму, яка відображає даний процес (рис. 14–18).

Також було побудовано діаграму, яка відображає процес перевірки, чи попереднє авто стоїть на перехресті, та дії при цьому (рис. 19).

Ще одним з відокремлених процесів від пересування авто є процес перевірки попереднього авто, що зображено на діаграмі (рис. 20).



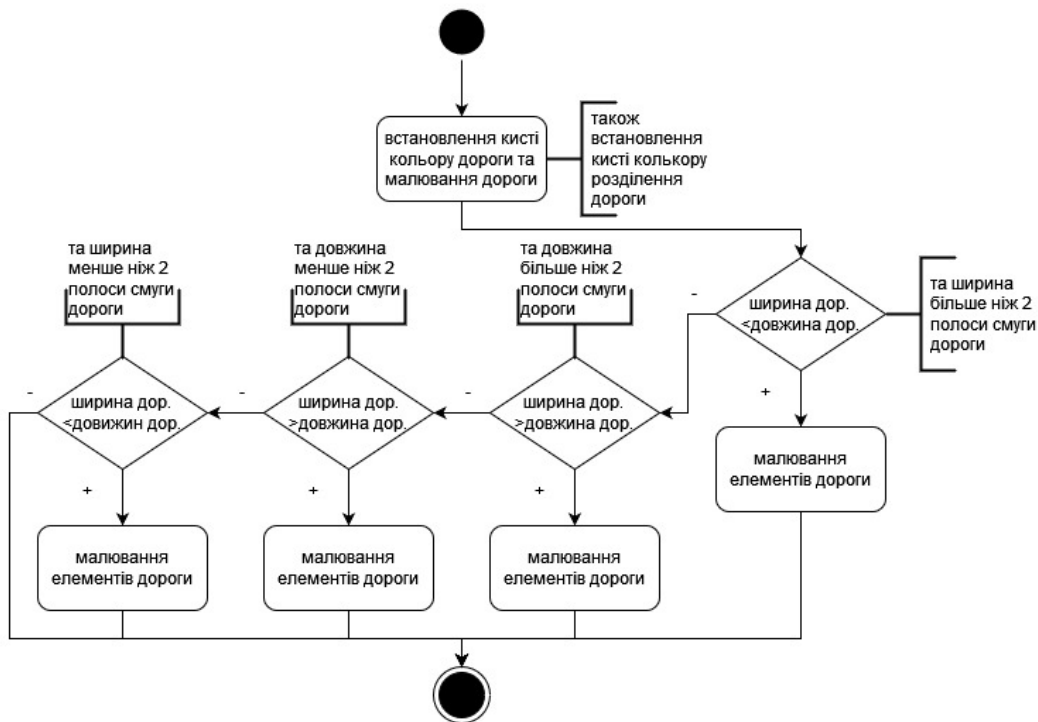


Рис. 9. Діаграма функції #drawRoad()

При закінченні роботи потрібно підрахувати кількість автомобілів у чергах доріг при червоному кольорі світлофора на них. Для цього розроблено функцію #exitSignals(), та процес її роботи зображено на діаграмі (рис. 21).

При програмній реалізації вирішення поставленої задачі буде розроблено єдиний клас «Crossroads», в якому виконуються усі задачі. Завдяки цьому готове рішення буде легко інтегрувати та впроваджувати у вже використовувані системи.

Для створення об'єкта класу потрібно передати HTML елемент «canvas» та необов'язково об'єкт налаштувань.

**Висновки.** Розробка або вдосконалення оптимальних параметрів функціонування вулично-дорожньої мережі на основі імітаційного моделювання є одним із головних завдань ефективності роботи транспортної мережі кожного міста. Розробка програмного застосунку, який дозволяє частково автоматизувати цей процес, важливою практичною задачею. Від урахування усіх особливостей об'єкта автоматизації і досконального проектування процесів функціонування та керування залежить якість кінцевого програмного продукту. З урахуванням того, що застосунок проектувався для імітаційного моделювання, то під якістю у першу чергу треба розуміти здатність адекватно відтворювати умови функціонування об'єкта та відповідні параметри. У даній роботі було детально промодельовано процеси функціонування додатку для імітаційного моделювання дорожньо-транспортного руху на перехресті та побудовані діаграми цих процесів. Запропоновані алгоритми та функції будуть використані при розробці автоматизованої системи управління транспортними потоками на перехресті.

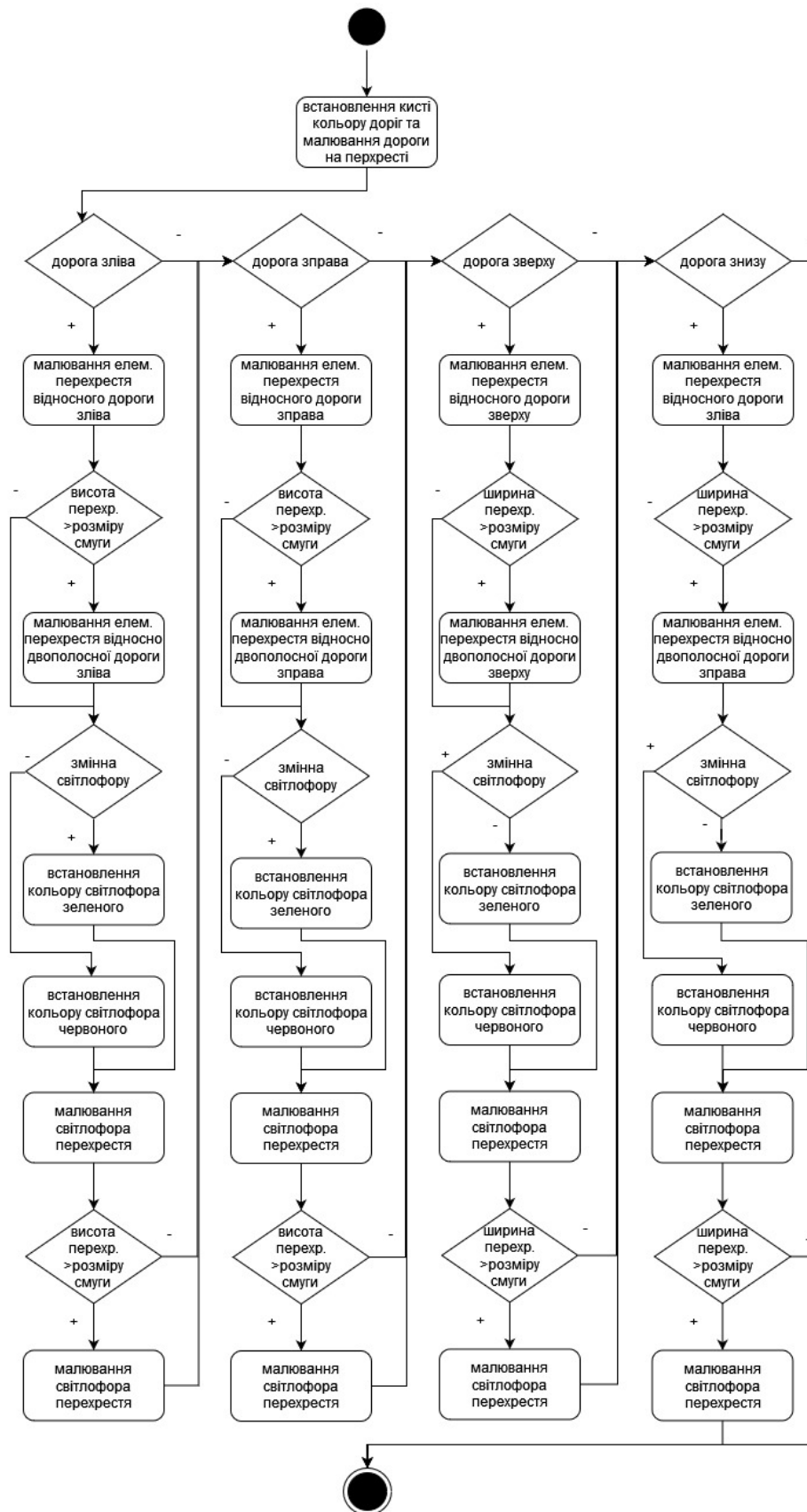


Рис. 10. Діаграма функції #drawCrossroad()

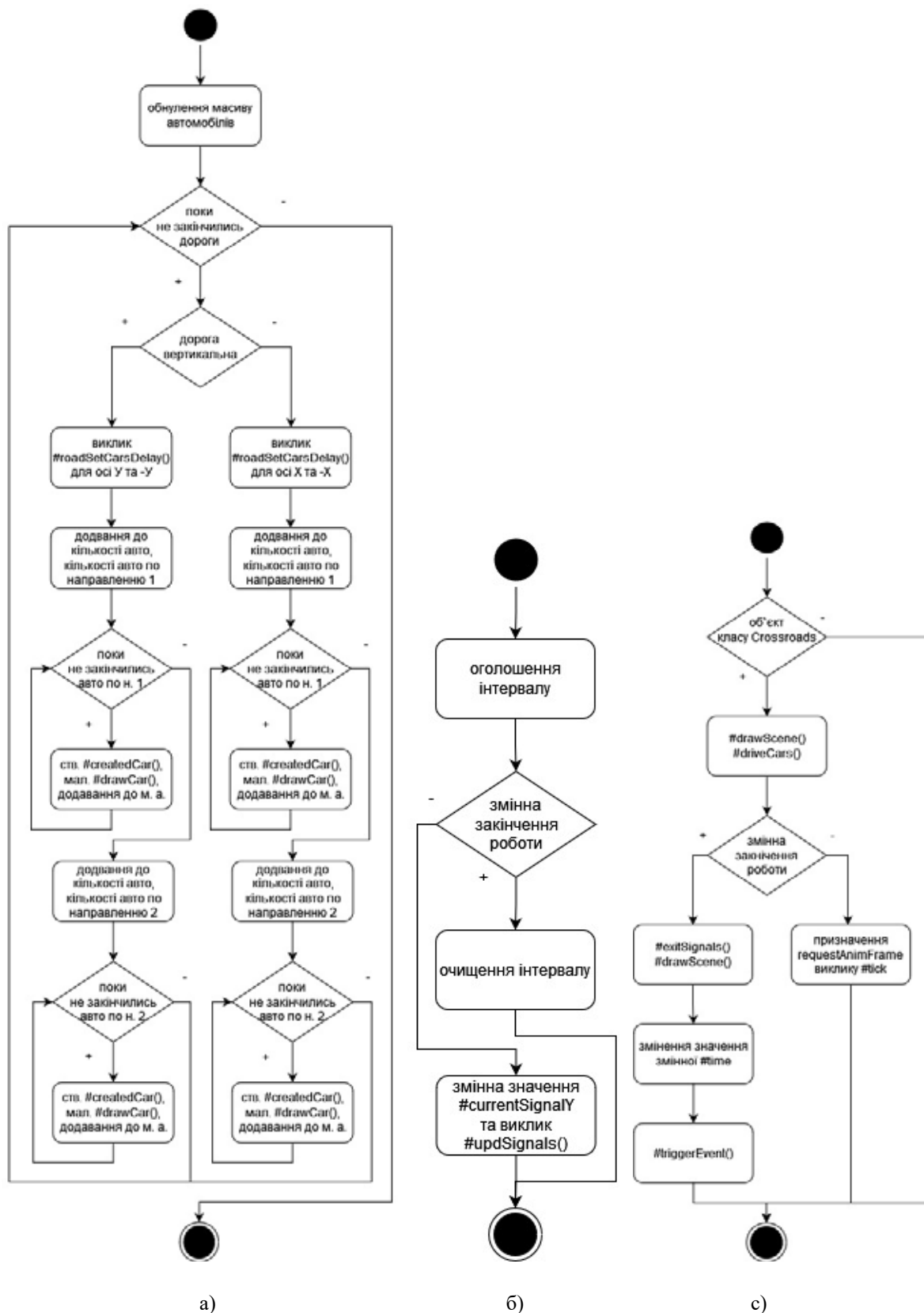


Рис. 11. Діаграми функцій: а – #drawCars(), б – #signal(), с – #tick()

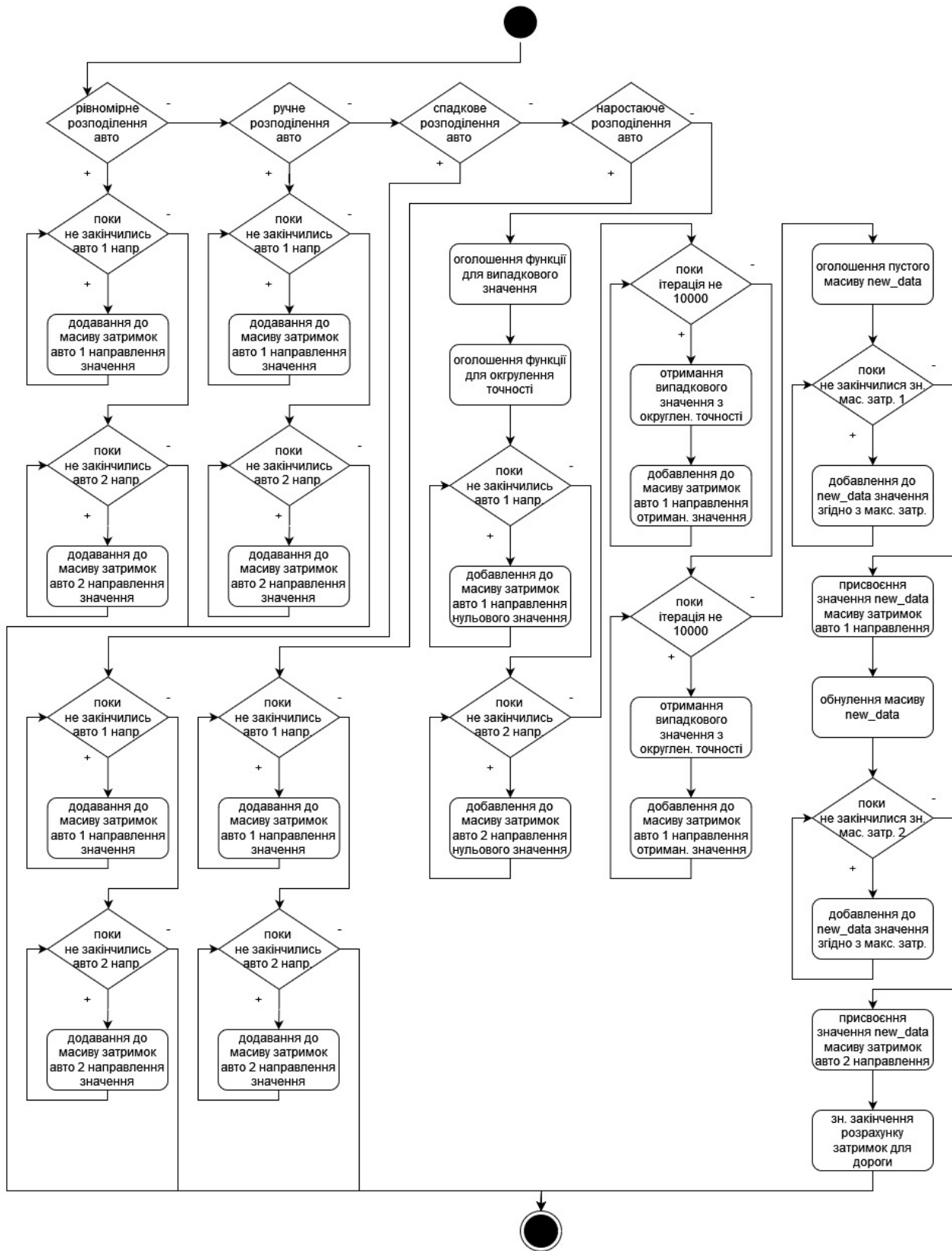


Рис. 12. Діаграма функції #roadSetCarsDelay()

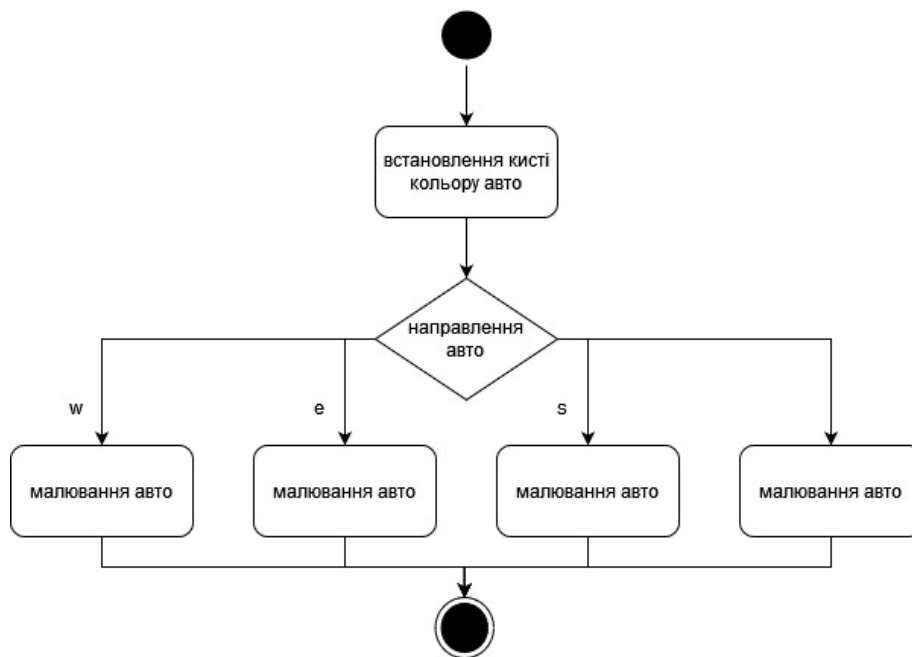


Рис. 13. Діаграма функції #drawCar()

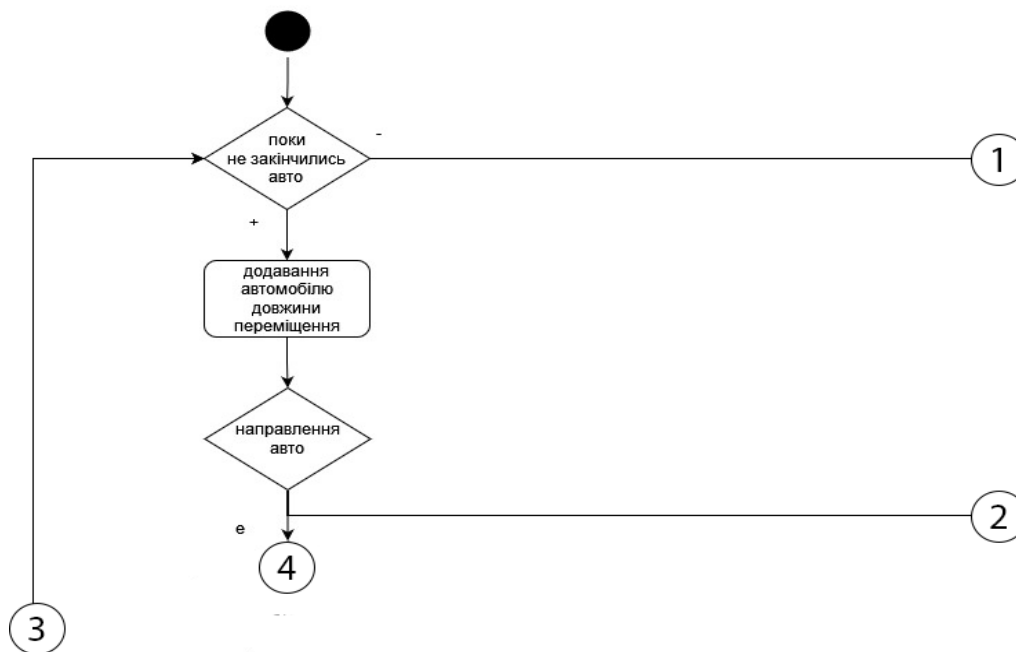


Рис. 14. Початок діаграми функції #driveCars()

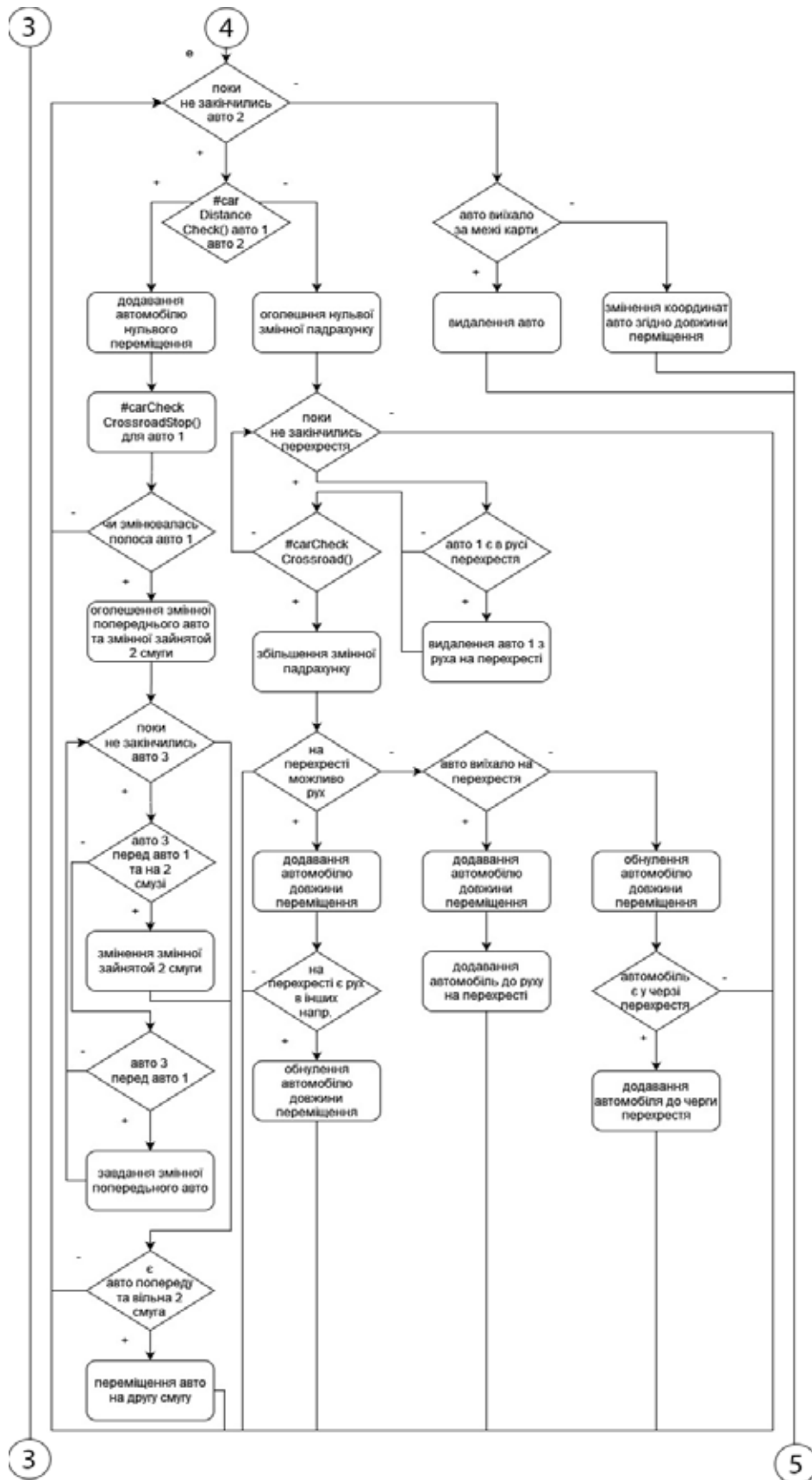


Рис. 15. Продовження діаграми функції #driveCars()







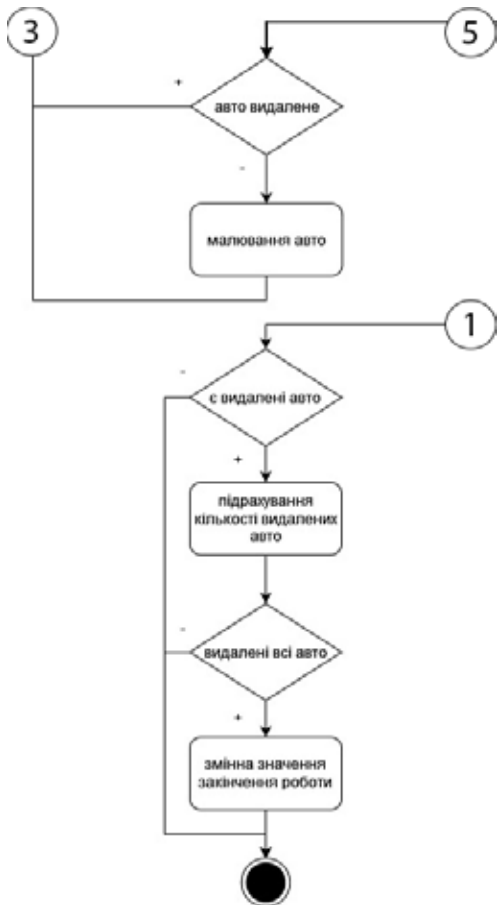


Рис. 18. Продовження діаграми функції #driveCars()

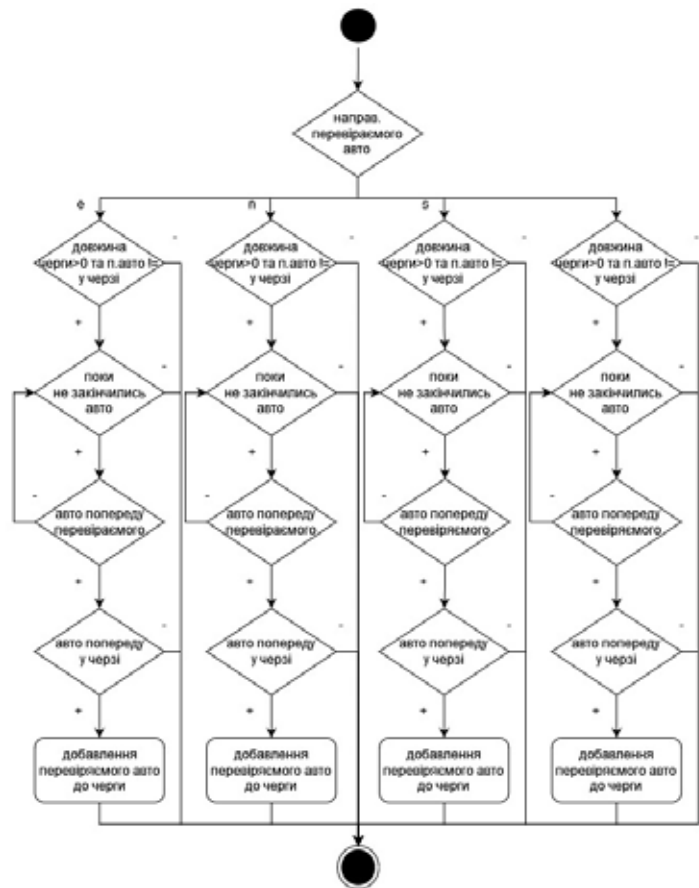


Рис. 19. Діаграма функції #carCheckCrosroadStop()

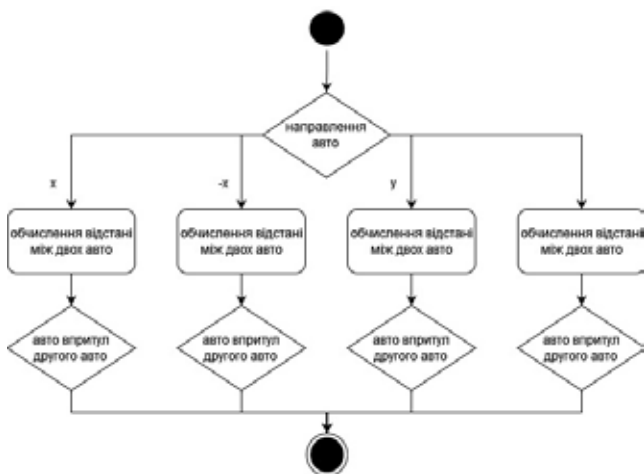


Рис. 20. Діаграма функції #carDistanceCheck()



Рис. 21. Діаграма функції #exitSignals()

---

### Список використаних джерел:

1. Мурований І.С. Методи моделювання транспортних і пасажирських потоків. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2017. № 2. С. 87–93.
2. Танцюра Ю.А., Касьянова Н.В. Оптимізація транспортних потоків підприємства. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління. Сер. Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці*. Випуск 2(19). 2019. С. 434–439.
3. Дьомін М.М. Гідродинамічна модель як макропідхід для управління транспортним потоком. *Місто-будування та територіальне планування*. 2011. Вип. 40(1). С. 386–394.
4. Дмитриченко М.Ф. Використання концепції ефективного автомобіля для моделювання динаміки транспортних потоків у вуличній мережі міста. *Економіка та управління на транспорті*. 2016. Вип. 2. С. 3–8.
5. Халіпова Н.В. Аналіз та моделювання обслуговування транспортних потоків в міжнародному пункті пропуску автомобільного транспорту «Тиса». *Системи та технології*. 2017. № 1. С. 5–21.
6. Степанчук О.В. Особливості використання методів моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста. *Теорія та практика дизайну*. 2022. Вип. 25. С. 110–119.
7. Мироненко В.К. Моделювання транзитних транспортних потоків. *Автошляховик України*. 2012. № 6. С. 17–22.
8. Халіпова Н.В. Аналіз та моделювання обслуговування транспортних потоків в міжнародному пункті пропуску автомобільного транспорту «Тиса». *Системи та технології*. 2017. № 1. С. 5–21.
9. Горбова О.В., Мерзлий О.Д. Дослідження автомобільних потоків засобами імітаційного моделювання. *Наука та прогрес транспорту*. 2021. № 5(95). С. 36–45.

### References:

1. Murovaniy I. S. (2017). Metody modeliuвання transportnykh i pasazhyrskykh potokiv / I. S. Murovaniy, V. P. Onyshchuk // *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*, (№ 2), 87-93. [in Ukrainian].
2. Tantsiura Yu.A., Kasianova N.V. (2019). Optymizatsiia transportnykh potokiv pidpriemstva. *Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia. Ser. Matematychni metody, modeli ta informatsiini tekhnolohii v ekonomitsi*, (Vypusk 2 (19)), 434-439. [in Ukrainian].
3. Domin M. M. (2011). Hidrodynamichna model yak makropidkhid dlia upravlinnia transportnym potokom / M. M. Domin, M. S. Fomenko // *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (Vyp. 40(1)), 386-394. [in Ukrainian].
4. Dmytrychenko M. F. (2016). Vykorystannia kontseptsii efektyvnoho avtomobilia dlia modeliuвання dynamiky transportnykh potokiv u vulychnii merezhi mesta / M. F. Dmytrychenko, O. O. Bakulich // *Ekonomika ta upravlinnia na transporti*, (Vyp. 2), 3–8. [in Ukrainian].
5. Khalipova N. V. (2017). Analiz ta modeliuвання obsluhovuvannia transportnykh potokiv v mizhnarodnomu punkti propusku avtomobilnoho transportu "Tysa" / N. V. Khalipova, M. O. Sivak // *Systemy ta tekhnolohii*, (№ 1), 5-21. [in Ukrainian].
6. Stepanchuk O. V. (2022). Osoblyvosti vykorystannia metodiv modeliuвання transportnykh potokiv na vulychno-dorozhnii merezhi mesta / O. V. Stepanchuk, O. I. Lapenko, O. S. Chernyshova // *Teoriia ta praktyka dizainu*, (Vyp. 25), 110-119. [in Ukrainian].
7. Myronenko V. K. (2012). Modeliuвання tranzytnykh transportnykh potokiv / V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk, H. S. Vysotska, N. M. Aleksiiichuk // *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, (№ 6), 17-22. [in Ukrainian].
8. Khalipova N. V. (2017). Analiz ta modeliuвання obsluhovuvannia transportnykh potokiv v mizhnarodnomu punkti propusku avtomobilnoho transportu "Tysa" / N. V. Khalipova, M. O. Sivak // *Systemy ta tekhnolohii*, (№ 1), 5-21. [in Ukrainian].
9. Horbova O. V., Merzlyi O. D. (2021). Doslidzhennia avtomobilnykh potokiv zasobamy imitatsiinoho modeliuвання // *Nauka ta progres transport*, (№ 5(95)), 36–45. [in Ukrainian].