

УДК 004.416.6

DOI: 10.20998/2411-0558.2018.42.07

*М. В. ДЕРКАЧ*, ст. викл., СНУ ім. В. Даля, Сєверодонецьк,  
*І. С. СКАРГА-БАНДУРОВА*, д-р техн. наук, доц., зав.каф., СНУ  
ім. В. Даля, Сєверодонецьк,  
*В. О. ХИШЕВ*, магістр, СНУ ім. В. Даля, Сєверодонецьк

## **НАЛАШТУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСУ ПРИБУТТЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗУПИНКИ МІСТА**

Стаття присвячена питанню створення IoT-системи для прогнозування та інформування пасажирів про час прибуття транспортних засобів на зупинки міста. Розробка являє собою інтеграцію обчислювальних і комунікаційних систем, спрямованих на полегшення взаємодії між фізичними об'єктами через мережу Інтернет. Наведена базова модель для прогнозування часу прибуття транспортного засобу вздовж маршруту та варіант її настроювання для покращення прогнозу. Наведено результати порівняння практичного застосування моделей в режимі реального часу для тролейбусного парку міста Сєверодонецьк. Визначено загальне відхилення розрахунків прогнозу від дійсного часу прибуття тролейбуса на контрольні точки (зупинки). Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** прогнозування; час прибуття; транспортний засіб; модель; контрольна точка.

**Постановка проблеми.** Сучасна тенденція розвитку міста призводить до збільшення кількості транспортних засобів. У зв'язку з чим зростають вимоги до безпеки і зручності пасажирів, якості послуг і комфорту пересування. Для розв'язання таких проблем останні десятиліття застосовуються інтелектуальні транспортні системи [2], що включають комп'ютерні технології, технології зв'язку, системи позиціонування та автоматизації, різноманітні засоби управління транспортними системами, архітектура яких створює основу ефективного впровадження широкого спектра послуг для користувача. Гнучкість вибору між різними функціями дає тим, хто їх впроваджує, можливість вибору певної технології, що задовольняє місцевим, регіональним або національним потребам. У сфері громадського транспорту використовуються новітні технології, такі як системи автоматичного збору інформації про кількість пасажирів на борту та зупинках, визначення місцеперебування транспортного засобу (ТЗ), ідентифікація автомобіля, тощо [3]. Розробляються апаратно-програмні комплекси, призначені для інформування про час прибуття громадського транспорту на зупинки міста. Такі системи ефективно працюють у багатьох країнах світу таких, як Канада [4], Китай [5, 6], Індія, Швеція, Чехія, Румунія [7],

© М.В. Деркач, І.С. Скарга-Бандурова, В.О. Хишев, 2018

Пакистан та інші. Більшість з них, для прогнозу часу прибуття транспортного засобу використовують моделі, засновані на середніх показниках руху; регресивні моделі; моделі машинного навчання на основі штучних нейронних мереж і методу опорних векторів; моделі на основі фільтра Калмана та динамічні моделі.

В Україні впровадження таких систем все ще знаходиться на стадії розвитку. Реалізовано тестові проекти в Києві, Одесі, Львові, Дніпрі та Харкові, що являють собою спеціалізовані системи автоматизованого управління і контролю за роботою транспорту, диспетчерського управління і надання городянам інформації про рух транспорту. Однак, в містах середнього та малого розміру зі змішаним трафіком, або декількома транзитними маршрутами, що проходять уздовж одного сегменту дороги, такі системи відсутні.

Крім того, попри те, що останні технології значно покращили рівень надійності транзиту, все ще існує значний розрив між запланованим часом та фактичним часом прибуття громадського транспорту. Час прибуття ТЗ на певну контрольну точку невизначений і важко передбачуваний, оскільки інші ТЗ впливають на загальну динаміку транспортної системи [8]. Тому у порівнянні з графіком, фактичний час прибуття ТЗ при зупинках може значно коливатися. Така ситуація викликає потребу в пошуку оптимальної моделі прогнозування та інформування пасажирів про час прибуття транспортних засобів на зупинки міста з використанням фактичних даних про рух з акцентом на простоту рішення та мінімальні витрати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для вирішення задачі прогнозування в роботі [9] запропонований алгоритм, що поєднує дані про місцеперебування в режимі реального часу з приймачів системи глобального позиціонування з середньою швидкістю руху на окремих сегментах маршруту з урахуванням історичної швидкості руху. Схема прогнозування прибуття транспортного засобу у роботі [10] базується на розташуванні в реальному часі ближнього автобуса та відповідному залишковому запланованому часу пересування. Запропонований у [11] підхід поєднує аналіз кластеризації та фільтр Калмана з загальною моделлю сегментів маршрутів, щоб отримати більш точні прогнози часу прибуття. Метод [12] являє собою гібридну схему, яка поєднує в собі нейронну мережу, яка виводить правила рішення з історичних даних з фільтром Калмана, який запобігає розрахункам прогнозування за допомогою поточних вимірювань GPS. Модель для прогнозування часу прибуття [13] використовує метод К-найближчих сусідів, регресію ядра та набір функцій. Разом з тим, питання покращення результатів прогнозування все ще залишається відкритим. Так, в [14] авторами було

запропоновано базову модель для прогнозування часу прибуття транспортного засобу на основі середніх показників, однак вимога отримання кращих прогнозів ставить задачу перевірити роботу моделі на даних, отриманих в режимі реального часу та здійснити її налаштування шляхом урахування фактичного часу перебування транспортного засобу на певних контрольних точках.

**Метою статті** є висвітлення результатів практичного застосування моделей прогнозування, порівняння базової та перенастроюваної моделей та оцінка загального відхилення розрахунків прогнозу від дійсного часу прибуття тролейбуса на контрольні точки.

**Основний зміст роботи.** Як тестовий майданчик, обрано тролейбусні маршрути міста Сєвєродонецьк. На даний момент весь тролейбусний парк міста оснащений GPS-датчиками. Тролейбусні перевезення в місті здійснюються за чотирма маршрутами загальною протяжністю 91,5 км, за якими в робочі дні курсують 27 транспортних засобів. За день виконується близько 300 оборотних рейсів. Протяжність контактної мережі становить 54,5 км. Для реалізації системи прогнозування, виконано наступні кроки:

1. Забезпечено віддалений доступ до глобальної системи позиціонування для отримання просторових та тимчасових координат транспортного засобу.

2. Зібрано тестовий набір даних від датчиків про місцєперебування та швидкість руху усіх тролейбусів міста, який збережено в базі даних.

3. Обчислено прогноз часу прибуття транспортних засобів, закріплених за маршрутами міста для зазначених тролейбусних зупинок.

4. Для відображення на інформаційному табло часу прибуття тролейбуса на зупинку міста береться прогноз найближчого транспортного засобу.

Для розрахунку прогнозу часу прибуття використовується Wialon, в якості системи спостереження GPS, що дозволяє контролювати такі параметри, як швидкість руху, напругу, температуру і багато іншого. Вхідними змінними є швидкість і місце розташування ТЗ. Ці змінні використовуються:

1) для оцінки відстані, що залишилося пройти транспортному засобу до прибуття на необхідну зупинку по формулам гаверсинусів:

$$d = \Delta\sigma \cdot R, \quad (1)$$

де  $d$  – відстань між двома точками;  $R$  – радіус Землі;  $\Delta\sigma$  – кутова різниця,

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right\}, \quad (2)$$

де  $\varphi_1, \lambda_1; \varphi_2, \lambda_2$  – широта та довгота двох точок відповідно;  $\Delta\lambda$  – різниця координат за довжиною;  $\Delta\sigma$  – кутова різниця;

2) для отримання показника середньої швидкості руху транспортного засобу:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}. \quad (3)$$

Вихідною змінною є час прибуття на контрольну точку якщо пересування починається в нульовий момент часу.

$$T_{pr} = \frac{d}{s}, \quad (4)$$

де  $T_{pr}$  – прогнозний час прибуття транспортного засобу;  $d$  – відстань між двома точками;  $s$  – усереднена швидкість руху транспорту.

Фактично, це представлення базової моделі (рис. 1, а) отримання прогнозу часу прибуття ТЗ, згідно з якою можливо здійснювати розрахунок за формулами (1) – (4), як для окремих сегментів (рис. 2, а), так і вздовж усього маршруту (рис. 2, б).

Для базової моделі на реальних даних було проведено розрахунок прогнозного часу прибуття ТЗ для існуючого маршруту міста, отримані результати показали, що відхилення від фактичного часу перебування ТЗ на зупинці складає понад 7%. Що є непоганим результатом, але точність прогнозу, може бути покращена. Тому запропоновано провести настроювання моделі (рис. 1, б), а саме, отримувати прогноз тільки на ділянці дороги, яку транспортний засіб подолає, здійснюючи рух після перебування на контрольній точці (рис. 2, б).

У такому випадку, час прибуття  $T_{pr}$  складається з реального часу відправлення  $T_{rt}$  транспортного засобу з зупинки та отриманого по базовій моделі прогнозного часу  $T_{pr}$ :

$$T_{pr} = T_{rt} + T_{pr}. \quad (5)$$

Для отримання порівняльних результатів на тих самих даних було проведено розрахунок часу прибуття тролейбусів на зупинки міста з використанням перенастроюваної моделі (рис. 1 б). Для використання такої моделі обчислення середньої швидкості проводилось для кожного сегменту окремо, без урахування середньої швидкості попередніх сегментів.

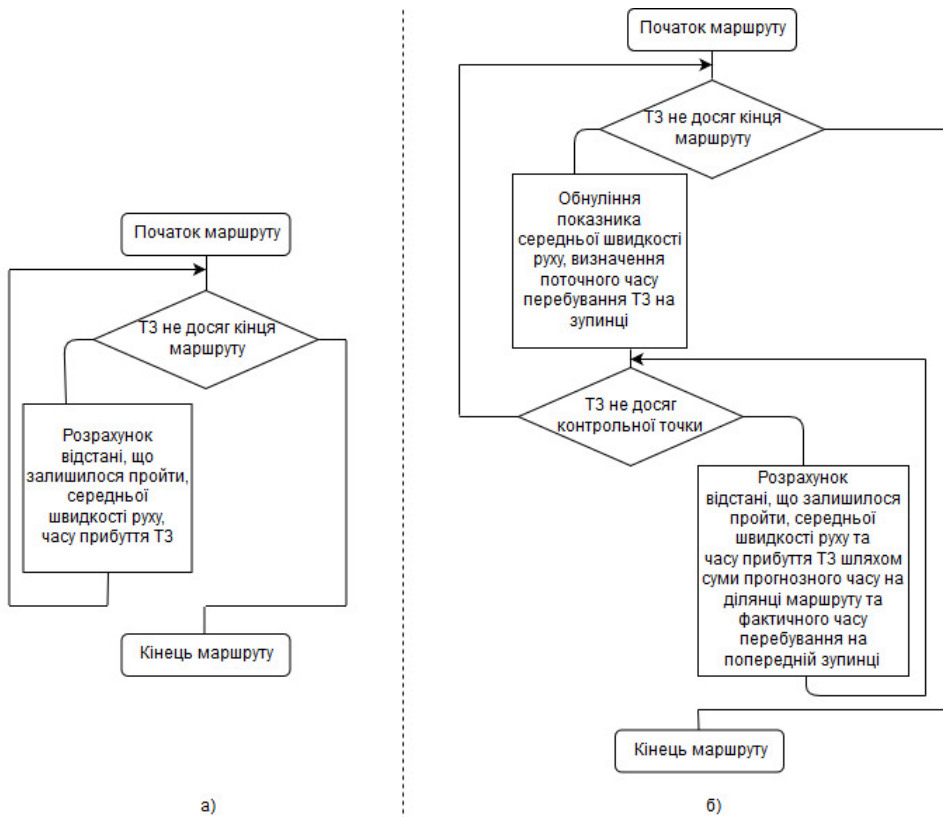


Рис. 1. Моделі прогнозу часу прибуття ТЗ: а) базова, б) після настроювання

Тому у табл. 1 показані основні характеристики кожного сегменту наявного маршруту міста. Маршрут складається з початкової, двох контрольних та кінцевої точки, тобто з трьох дорожніх сегментів.

Таблиця 1  
Характеристики сегментів маршруту

Номер сегменту	Довжина, м	Швидкість руху тролейбуса, м/с
1	4294	5,57
2	1987	4,06
3	1228	3,77

З отриманих результатів (табл. 2) можливо зробити висновок, що дійсно, настроювання моделі прогнозування часу прибуття

транспортного засобу, дає менше відхилення від фактичного часу прибуття транспортного засобу, а саме цей показник складає 4,47%.

Такий результат можна пояснити тим, що прогноз отримується завдяки складанню фактичного часу відправлення з попередньої зупинки з часом, отриманим по базовій моделі, на шляху, що залишилось подолати транспортному засобу, тим самим не враховуючи швидкість руху ТЗ на попередньому сегменті (рис. 2).

Таблиця 2

Результати порівняння базової та моделі після настроювання

Назва моделі для прогнозу часу прибуття	Базова модель		Модель після настроювання		Час прибуття ТЗ через, с
	Прогноз, с	Відхилення, %	Прогноз, с	Відхилення, %	
Сегмент 1	771	5,98	771	5,98	820
Сегмент 2	489	5,78	533	2,7	519
Сегмент 3	326	9,44	377	4,72	360
Загальне відхилення %	7,07		4,47		

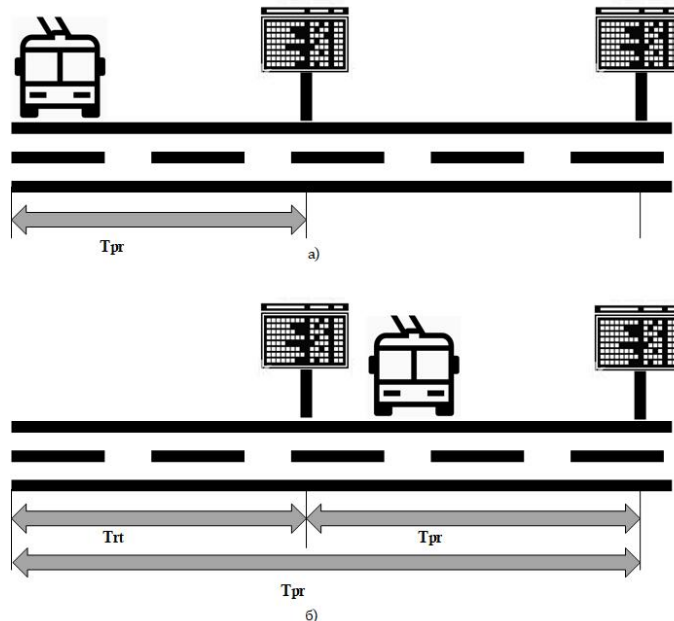


Рис. 2. Схема отримання прогнозу часу прибуття:

а) для окремих сегментів, б) вздовж усього маршруту

$T_m$  – час перебування транспортного засобу на зупинках;  $T_{pr}$  – прогнозний час руху транспортного засобу

**Висновок.** В роботі представлено модель, на основі середніх показників, проведено настроювання базової моделі, перевірено роботу двох моделей на даних в режимі реального часу, отримано результат, де відхилення моделі після настроювання на 2,6% менше у порівнянні з відхиленням базової моделі від фактичного часу перебування ТЗ на зупинці міста. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації маршрутів і реструктуризації графіку руху. Наступним кроком буде оцінка роботи моделі для довгих маршрутів. Іншим завданням на майбутнє є реалізація системи обліку та урахування кількості пасажирів в середині транспортних засобів та на зупинках міста.

**Список літератури:**

1. *Keramidas G.* Components and Services for IoT Platforms: Paving the Way for IoT Standards / *G. Keramidas, N. Voros, M. Hübner* (Eds) // Springer International Publishing Switzerland. – 2017. – 383 p.
2. *Biswas A.* Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications / *A. Biswas, G. Pilla, B. Tamma* // IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS). – 2013. – P. 327-332.
3. *Hua X.* Bus arrival time prediction using mixed multi-route arrival time data at previous stop / *X. Hua, W. Wang, Y. Wang, M. Ren* // Transport. – 2018. – Vol. 33 (2). – P. 543-554.
4. *Chung E.-H.* Expected time of arrival model for school bus transit using real-time global positioning system-based automatic vehicle location data / *E.-H. Chung, A. Shalaby* // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2007. – Vol. 11 (4). – P. 157-167.
5. *Bai C.* Dynamic Bus Travel Time Prediction Models on Road with Multiple Bus Routes [Електронний ресурс] / *C. Bai, Z.-R. Peng, Q.-C. Lu, J. Sun* // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2015. – Режим доступу: [www. URL: <http://www.hindawi.com/journals/cin/2015/432389/>](http://www.hindawi.com/journals/cin/2015/432389/) – 21.09.2018 p.
6. *Hua X.* Bus arrival time prediction using mixed multi-route arrival time data at previous stop / *X. Hua, W. Wang, Y. Wang, M. Ren* // Transport. – 2018. – Vol. 33 (2). – P. 543-554.
7. *Covaciu D.* Data acquisition system based on GPS technology, for vehicle dynamics analysis / *D. Covaciu, I. Preda, G. Ciolan, O.-V. Câmpian* // Conference: CONAT 2010 – International Automotive Congress. – 2010. – Vol. 4006. – P. 31-36.
8. *Horning J.* Estimating Running Time and Demand for a Bus Rapid Transit Corridor / *J. Horning, A.M. El-Generdy, J. Hourdos* // Report No CTS 09-24. – 2009. – 69 p.
9. *Sun D.* Predicting Bus Arrival Time on the Basis of Global Positioning System Data / *D. Sun, H. Luo, L. Fu, W. Liu, X. Liao, M. Zhao* // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2007. – № 2034. – P. 62-72.
10. *Cats O.* Real-Time Bus Arrival Information System – An Empirical Evaluation / *O. Cats, G. Loutos* // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2016. – №. 20 (2). – P. 138-151.
11. *Sun F.* Real-time and Predictive Analytics for Smart Public Transportation Decision Support System / *F. Sun, Y. Pan, J. White, A. Dubey* // 2nd IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP 2016). – 2016.
12. *Zaki M.* Online Bus Arrival Time Prediction Using Hybrid Neural Network and Kalman filter Techniques / *M. Zaki, I. Ashour, M. Zorkany, B. Hesham* // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). – 2013. – Vol. 3(4). – P. 2035-2041.
13. *Baker C.B.* Predicting Bus Arrivals Using One Bus Away Real-Time Data / *C.B. Baker, A.C. Nied* // Journal of Public Transportation. – 2014. – Vol. 18(1).

**14.** Скарга-Бандурова І.С. Дослідження ефективності використання фільтру Калмана для прогнозування часу прибуття міського транспорту / І.С. Скарга-Бандурова, М.В. Деркач // Вісник ХНТУ. – 2017. – № 4 (63). – С. 193-199.

**References:**

1. Keramidas, G., Voros, N., and Hübner, M. (Eds) (2017), *Components and Services for IoT Platforms: Paving the Way for IoT Standards*, Springer International Publishing, Switzerland, 383 p.
2. Biswas, A., Pilla, G., and Tamma, B. (2013), "Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications", *IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, pp. 327-332.
3. Hua, X., Wang, W., Wang, Y., and Ren, M. (2018), "Bus Arrival Time Prediction Using Mixed Multi-Route Arrival Time Data at Previous Stop", *Transport*, Vol. 33 (2), pp. 543–554.
4. Chung, E.-H., and Shalaby, A. (2007), "Expected Time of Arrival Model for School Bus Transit Using Real-Time Global Positioning System-Based Automatic Vehicle Location Data", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 11 (4), pp. 157–167.
5. Bai, C., Peng, Z.-R., Lu, Q.-C., and Sun, J. (2015), "Dynamic Bus Travel Time Prediction Models on Road with Multiple Bus Routes", *Computational Intelligence and Neuroscience*, available at: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2015/432389/> (Accessed 21 Sept 2018).
6. Hua, X., Wang, W., Wang, Y., and Ren, M. (2018), "Bus Arrival Time Prediction Using Mixed Multi-Route Arrival Time Data at Previous Stop", *Transport*, Vol. 33 (2), pp. 543-554.
7. Covaciu, D., Preda, I., Ciolan, G., and Câmpian, O.-V. (2010), "Data Acquisition System Based on GPS Technology, for Vehicle Dynamics Analysis", *Conference: CONAT 2010 - International Automotive Congress*, Vol. 4006, pp. 31-36.
8. Horning, J., El-Geneidy, A.M., and Hourdos, J. (2009), "Estimating Running Time and Demand for a Bus Rapid Transit Corridor", *Report No CTS 09-24*, 69 p.
9. Sun, D., Luo H., Fu, L., Liu, W., Liao, X., and Zhao, M. (2007), "Predicting Bus Arrival Time on the Basis of Global Positioning System Data", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2034, pp. 62–72.
10. Cats, O., and Loutos, G. (2016), "Real-Time Bus Arrival Information System – An Empirical Evaluation", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, No. 20 (2), pp. 138-151.
11. Sun, F., Pan Y., White, J., and Dubey, A. (2016), "Real-time and Predictive Analytics for Smart Public Transportation Decision Support System", *2nd IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP 2016)*.
12. Zaki, M., Ashour I., Zorkany M., and Hesham B. (2013), "Online Bus Arrival Time Prediction Using Hybrid Neural Network and Kalman filter Techniques", *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol. 3(4), pp. 2035-2041.
13. Baker, C.B., and Nied, A.C. (2014), "Predicting Bus Arrivals Using One Bus Away Real-Time Data", *Journal of Public Transportation*, Vol. 18(1).
14. Skarga-Bandurova, I.S., and Derkach, M.V. (2017), "Investigation of the efficiency of using Kalman filter to predict the arrival time of local transport", *Herald KHNTU*, No. 4(63), pp. 193-199.

*Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" О.А. Серков*

*Надійшла (received) 11.10.2018*



Derkach Maryna, senior lecturer  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University  
59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400  
tel./phone: (064) 522-89-97, e-mail: gln459@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0001-8977-2776

Skarga-Bandurova Inna, Dr. Sci. Tech., Assoc. Professor, Professor  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University  
59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400  
tel./phone: (064) 522-89-97, e-mail: skarga\_bandurova@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0003-3458-8730

Hyshev Vlad, master  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University  
59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400  
tel./phone: (064) 522-89-97, e-mail: green.wrapper@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0003-4974-4687

УДК 004.416.6

**Налаштування моделі прогнозування часу прибуття громадського транспорту на зупинки міста / Деркач М.В., Скарга-Бандурова І.С., Хишев В.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2018. – № 42 (1318). – С. 138 – 147.**

Стаття присвячена питанню створення IoT-системи для прогнозування та інформування пасажирів про час прибуття транспортних засобів на зупинки міста. Розробка являє собою інтеграцію обчислювальних і комунікаційних систем, спрямованих на полегшення взаємодії між фізичними об'єктами через мережу Інтернет. Наведена базова модель для прогнозування часу прибуття транспортного засобу вздовж маршруту та варіант її настроювання для покращення прогнозу. Наведено результати порівняння практичного застосування моделей в режимі реального часу для троллейбусного парку міста Северодонецьк. Визначено загальне відхилення розрахунків прогнозу від дійсного часу прибуття троллейбуса на контрольні точки (зупинки). Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** прогнозування; час прибуття; транспортний засіб; модель; контрольна точка.

УДК 004.416.6

**Настройка модели прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановки города / Деркач М.В., Скарга-Бандурова И.С., Хышев В.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2018. – № 42 (1318). – С. 138 – 147.**

Статья посвящена вопросу создания IoT-системы для прогнозирования и информирования пассажиров о времени прибытия транспортных средств на остановки города. Приведена базовая модель для прогнозирования времени прибытия транспортного средства вдоль маршрута и вариант ее настройки для улучшения прогноза. Представлены результаты сравнения практического применения моделей в режиме реального времени для троллейбусного парка города Северодонецк. Определено общее отклонение расчетов прогноза от действительного времени прибытия троллейбуса на контрольные точки (остановки). Ил.: 2. Табл.: 2. Библиогр.: 14 назв.

**Ключевые слова:** прогнозирование; время прибытия; транспортное средство; модель; контрольная точка.

UDC 004.416.6

**Model Adjustment to Improving Arrival Time Prediction of Public Transport on City Bus Stops / Derkach M.V., Skarga-Bandurova I.S., Hyshev V.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2018. – №.42 (1318). – P. 138 – 147.**

The paper is devoted to the problems of the developing IoT-system for forecasting arrival time for public transport to the city bus stops. The development is an integration of computing and communication systems aimed at facilitating the interaction between physical objects through the Internet. The basic model and its modification are presented. The results of comparison these models after their of practical implementation for the trolleybus park in Severodonetsk city are presented. The general deviation of the forecast calculations from the actual time of arrival of the trolleybus to checkpoints (stops) is determined. Figs.: 2. Tabl.: 2. Refs.: 14 titles.

**Keywords:** prediction; arrival time; vehicle; model; checkpoint.