

УДК 65

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260319.102.412

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕХНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА АВТОМОБІЛЬ

САКНО О. П.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЛЕСНИКОВА Т. М.², канд. техн. наук, доц.,

ОЛЛО В. П.³, канд. пед. наук

^{1*} Кафедра експлуатації та ремонту машин, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (050) 295-51-16, e-mail: sakno-olga@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4672-6651

² Кафедра експлуатації та ремонту машин, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (095) 225-52-53, e-mail: tnk1403@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8568-4688

³ Кафедра продовольчого та речового забезпечення, Військова академія, вул. Фонтанська дорога, 10, Одеса, Україна, 65009, тел. +38 (099) 053-71-93, e-mail: ollopv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1799-2299

Анотація. Постановка проблеми. Як свідчить досвід передових країн світу, тенденції розвитку конструкції автомобілів за останні роки значно змінилися, отже виникає необхідність розробки пропозицій щодо їх ефективної технічної експлуатації. Робота зі створення особливостей системного моделювання щодо створення технологій технічного обслуговування (ТО) автомобілів потребує нові підходи. Один з головних принципів організації ТО автомобілів за кордоном та в Україні полягає в тому, що відповідальність за організацію ТО і ремонту протягом всього періоду експлуатації автомобілів несе, як правило, автомобілебудівна фірма-виробник. **Мета.** Системне моделювання для створення технологій ТО автомобілів. Актуальність досліджень пов'язана з необхідністю узагальнити сучасні технології для ТО автомобілів. **Висновок.** Завдяки синтезу сучасних технологій ТО автомобілів можна послідовно проводити технічні впливи для підтримки надійності АТЗ, створювати системи ТО (обсяг робіт) заданого рівня складності. Основна особливість синтезу технології є реалізація на основі рекурентної послідовності. Розроблена структурна модель континуума автомобіля, яка дозволяє вивчити вплив його кількісних та якісних параметрів. Розроблена модель системи технологічних перетворень (модель технології ТО) може розглядати питання аналізу, синтезу, реалізації, функціонування, еволюції, модифікації, удосконалення ТО та утилізації автомобілів. В процесі моделювання систем аналіз та синтез реалізується на базі рекурентних зв'язків.

Ключові слова: технічні впливи; технологія; технічне обслуговування; автомобіль; технологічний процес

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АВТОМОБИЛЬ

САКНО О. П.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЛЕСНИКОВА Т. Н.², канд. техн. наук, доц.,

ОЛЛО В. П.³, канд. пед. наук

^{1*} Кафедра эксплуатации и ремонта машин, ДВНЗ «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24 а, Дніпро, Украина, 49600, тел. +38 (050) 295-51-16, e-mail: sakno-olga@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4672-6651

² Кафедра эксплуатации и ремонта машин, ДВНЗ «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, Дніпро, Украина, 49600, тел. +38 (095) 225-52-53, e-mail: tnk1403@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8568-4688

³ Кафедра продовольственного и вещевого обеспечения, Военная академия, ул. Фонтанская дорога, 10, Одеса, Украина, 65009, тел. +38 (099) 053-71-93, e-mail: ollopv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1799-2299

Аннотация. Постановка проблемы. Как показывает опыт передовых стран мира, тенденции развития конструкции автомобилей за последние годы значительно изменились, следовательно, возникает необходимость разработки предложений по их эффективной технической эксплуатации. Работа по созданию особенностей системного моделирования по созданию технологий технического обслуживания (ТО) автомобилей требует новые подходы. Один из главных принципов организации ТО автомобилей за рубежом и в Украине заключается в том, что ответственность за организацию ТО и ремонта в течение всего периода эксплуатации автомобилей несет, как правило, автомобилестроительная фирма-производитель. **Цель.** Системное моделирование для создания технологий ТО автомобилей. Актуальность исследований связана с необходимостью обобщить современные технологии для ТО автомобилей. **Вывод.** Благодаря синтезу современных технологий ТО

автомобилей можно последовательно проводить технические воздействия для поддержания надежности АТС, создавать системы ТО (объем работ) заданного уровня сложности. Основная особенность синтеза технологии является реализация на основе рекуррентной последовательности. Разработана структурная модель континуума автомобиля, которая позволяет изучить влияние его количественных и качественных параметров. Разработана модель системы технологических преобразований (модель технологии ТО) может рассматривать вопросы анализа, синтеза, реализации, функционирования, эволюции, модификации, усовершенствования ТО и утилизации автомобилей. В процессе моделирования систем анализ и синтез реализуется на базе рекуррентных связей.

Ключевые слова: *технические воздействия; технология; техническое обслуживание; автомобиль; технологический процесс*

SIMULATION OF THE SYSTEM OF THE TECHNOLOGY OF TECHNICAL INFLUENCES ON VEHICLE

SAKNO O.P.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.)*, *Ass. Prof.*,
KOLESNIKOVA T.M.², *Cand. Sc. (Tech.)*, *Ass. Prof.*,
OLLO V.P.³, *Cand. Sc. (Pedag.)*

^{1*} Department of Operation and Maintenance of Machines, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (050) 295-51-16, e-mail: sakno-olga@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4672-6651

² Department of Operation and Maintenance of Machines, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (095) 225-52-53, e-mail: tnk1403@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8568-4688

³ Department of Food and Supplies, Military Academy (Odesa), 10, Fontanska Doroha St., Odesa, Ukraine, 65009, tel. +38 (099) 053-71-93, e-mail: ollopv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1799-2299

Abstract. Problem statement. As the experience of the advanced countries of the world shows, the trends in the structure of vehicles have changed significantly in recent years, therefore, it is necessary to develop proposals for their efficient technical operation. The work on the creation of features of system simulation to create technologies for vehicle maintenance requires new approaches. One of the main principles of the organization of the maintenance of vehicles abroad and in Ukraine lies in the fact that the responsibility for the organization of maintenance and repair during the entire period of operation of vehicles is, as a rule, the automobile manufacturer. **Purpose.** System simulation to create technology for vehicle maintenance. The relevance of the research is connected with the need to summarize modern technologies for the maintenance of vehicles. **Conclusion.** In virtue of the synthesis of modern technologies for vehicle maintenance, it is possible to consistently carry out technical influences to maintain the reliability of the vehicle, create maintenance systems (volume of service) of a given level of complexity. The main feature of the synthesis technology is the implementation based on the recurrent sequence. The structural model of a vehicle continuum has been developed, it allows to study the influence of its quantitative and qualitative parameters. The model of the system of technological transformations (model of maintenance) can consider the questions of analysis, synthesis, implementation, operation, evolution, modification, improvement of maintenance and utilization of vehicles. Analysis and synthesis are implemented on the basis of recurrent relationships in the process of simulation of systems.

Keywords: *technical influence; technology; maintenance; vehicle; technological process*

Постановка проблеми. Як свідчить досвід передових країн світу, тенденції розвитку автомобілів за останні роки значно змінилися, отже виникає необхідність розробки пропозицій щодо їх ефективної технічної експлуатації. Робота зі створення особливостей системного моделювання щодо створення технологій технічного обслуговування (ТО) автомобілів потребує нові підходи.

Аналіз публікацій. Сталість є пріоритетом розвитку міст країн. Отже, наприклад, скорочення викидів енергії та

вуглекислого газу стає все більш значним у автотранспортних засобах (АТЗ). Проте АТЗ є складними системами і залежать від соціальних, економічних та екологічних факторів [1].

Швидке зростання попиту на АТЗ призведе до надмірних викидів двоокису вуглецю та енергетичної кризи [2]. Відповідно до ключової світової енергетичної статистики, сукупний енергетичний попит на глобальну транспортну систему збільшився з 23 % (1973 р.) до 28 % (2012 р.).

Аналіз останніх досягнень і публікацій свідчить про зростання уваги до питань створення нових технологій для ТО автомобілів [3–5]. Отже, для створення технологій для обслуговування АТЗ необхідно створювати їх системне моделювання.

Мета статті. Системне моделювання для створення технологій технічного обслуговування АТЗ. Актуальність досліджень пов'язана з необхідністю узагальнити сучасні технології для ТО автомобілів.

Виклад матеріалу. Один з головних принципів організації ТО автомобілів за кордоном та в Україні полягає в тому, що відповідальність за організацію ТО і ремонту протягом всього періоду експлуатації автомобілів несе, як правило, автомобілебудівна фірма-виробник.

На рисунку 1 надана схема синтезу технологій, в якій основна особливість синтезу технології є реалізація на основі рекурентної послідовності за сьома стадіями синтезу. При цьому на основі того, що технологія може структуруватися на базі двох систем (типи «технологічний процес» та «технічна система»), дана схема реалізується по двох основних напрямках. Між стадіями та напрямками даної схеми реалізуються зв'язки на основі рекурентної послідовності виконання технічного сервісу АТЗ. Це дозволяє послідовно, з урахуванням попередньої стадії, а також можливості повернення та уточнення результатів підтримки надійності АТЗ створювати системи заданого рівня складності.

Для вивчення впливу кількісних та якісних параметрів АТЗ (компонентів, агрегатів тощо) всілякого ієрархічного рівня на створювану технологію розроблена структурна модель континуума (лат. *continuum* – неперервний, суцільний) об'єктів АТЗ (рис. 2), яка має потужність $(n+1)$ об'єктів. На кожному рівні ієрархії структура конструкції АТЗ містить свої визначені кількісні та якісні характеристики.

В структурній моделі континуума об'єктів АТЗ кожний об'єкт a_i є оператором, коли він впливає на інші об'єкти, та

операндом, коли на нього діють інші об'єкти. В теорії технічних систем умовно прийнято, що коли об'єкт впливає на сусідній об'єкт, його називають оператором, а об'єкт, який отримав ці впливи – операндом.

Відношення між об'єктами F моделі (рис. 2) на кожному ієрархічному рівні моделюються за допомогою впливів, що реалізуються потоками матеріального, енергетичного та інформаційного типів:

$S_i^j(t_k)$ – матеріальний вплив i -го об'єкту на j -й об'єкт в момент часу t_k ;

$E_i^j(t_k)$ – енергетичний вплив i -го об'єкту на j -й об'єкт в момент часу t_k ;

$I_i^j(t_k)$ – інформаційний вплив i -го об'єкту на j -й об'єкт в момент часу t_k .

Підтримка стану даного об'єкту реалізується відношеннями F_i^j за рисунком 2 за допомогою петель, котрі можуть бути реалізовані потоками матеріального, енергетичного та інформаційного типів:

$$F_i^j = F_i^j(t_k) = S_i^j(t_k) \parallel E_i^j(t_k) \parallel I_i^j(t_k) \quad (1)$$

Структурна модель на рисунку 2 є відкритою до розвитку тому, що потужність (загальна кількість) об'єктів автомобіля $N_R = (n+1)$ на кожному ієрархічному рівні R може змінюватися відповідно до збільшення об'єму задіяних ресурсів, систем (технологій). Кожна система (технологія) завжди прагне до збільшення розмірності різноманіття об'єктів (ієрархії по типу або класу АТЗ) та різноманіття об'єктів (ієрархії за складом АТЗ).

При збільшенні числа об'єктів системи (компонентів), кожний об'єкт АТЗ отримує допоміжні впливи або зв'язки від цих об'єктів, але і він повинен також сам діяти на них. Це забезпечує виникнення допоміжних ступенів свободи моделі на даному ієрархічному рівні. Для цього необхідно залучати допоміжні об'єми ресурсів.

При порушенні прямих зв'язків між об'єктами, що взаємодіють, процес їх розвитку сповільнюється із-за відсутності взаємодій. Однак взаємні впливи цих

об'єктів проявляються через інші об'єкти і зв'язки системи.

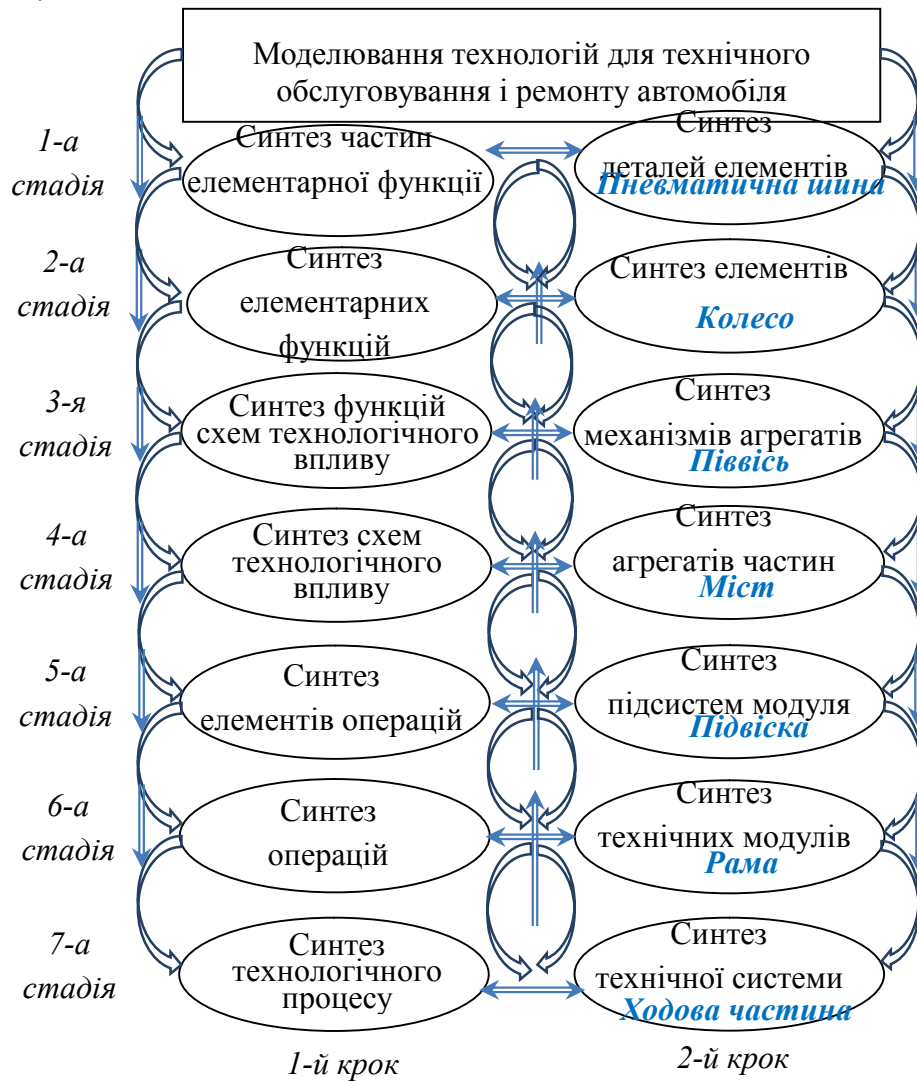


Рис. 1. Особливості синтезу елементів технології для ТО автомобілів / Fig. 1. Features of the synthesis of elements of technology for vehicle maintenance

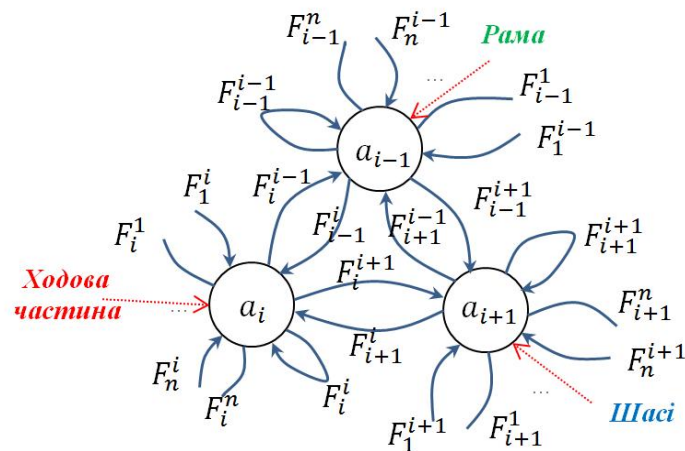


Рис. 2. Структурна модель континуума автомобіля / Fig. 2. Structural model of the continuum of vehicle

Коли усі зв'язки з якимись об'єктом рвуться, то він знаходиться в ізоляції та розвиток реалізується через вплив F_i^j , який забезпечує підтримку технічного стану АТЗ. При зменшенні числа об'єктів і зв'язків системи її поведінка має регресивний розвиток аж до утилізації АТЗ. Але це може викликати створення і розвиток нової системи (нового АТЗ) найбільш з високим якісним рівнем структури і параметрів.

Модель системи технологічних перетворень (модель технології ТО) надана на рисунку 3. Це базова модель технології ТО і є a_i елементом (АТЗ) моделі рисунку 2. За допомогою цієї моделі (рис. 3) можна

розглядати питання аналізу, синтезу, реалізації, функціонування, еволюції, модифікації, удосконалення ТО та утилізації АТЗ. Вона дає можливість комплексно рішення завдання створення прогресивних технологій нового покоління. Використання наданих моделей дозволяє рішення завдання систематики технологій в техніці, їх еволюції та модифікації. Ці моделі забезпечують можливість досліджувати процеси, виявляти взаємозв'язки і визначати характеристики технології, що досліджується, на різних рівнях абстрагування АТЗ.

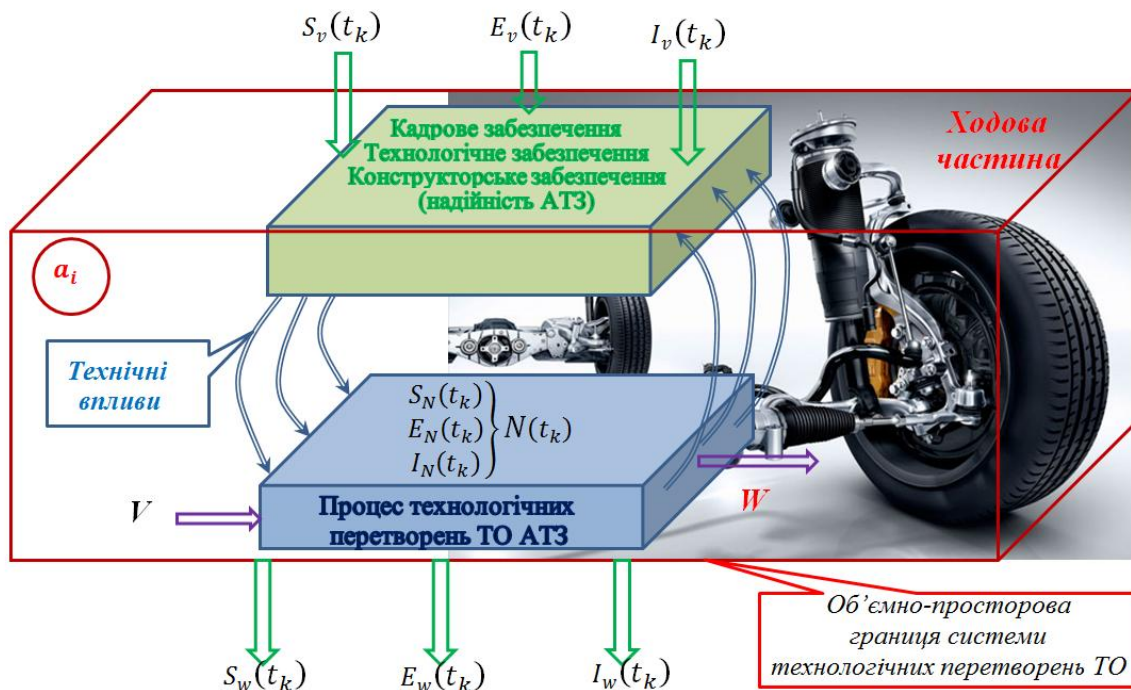


Рис. 3. Модель системи технологічних перетворень (базова модель технології ТО) / Fig. 3. System model of technological transformations (base model of technology of vehicle maintenance): $S_N(t_k)$ – матеріальний вплив на технічний стан об'єкту (АТЗ) / material impact on the technical condition of the object (ATZ); $E_N(t_k)$ – енергетичний вплив / energy impact; $I_N(t_k)$ – інформаційний вплив / information influence; V – вхідні параметри / input parameters; W – вихідні параметри / output parameters; $N(t_k)$ – заданий технологічний вплив / given technological impact

Модель системи технологічних перетворень ТО (рис. 3) складається з об'єктів (АТЗ, компонент, підсистема тощо) визначеного ієрархічного рівня, що є одночасно операторами і операндами системи. Основні фактори, що впливають на модель – кадрове забезпечення (рівень кваліфікації персоналу), технологічне

забезпечення (засоби ТО та ремонту автомобілів), конструкторське забезпечення (надійність АТЗ). Вони здійснюють заданий технологічний вплив $N(t_k)$ матеріального $S_N(t_k)$, енергетичного $E_N(t_k)$ і інформаційного $I_N(t_k)$ типів на підтримку роботоздатного стану АТЗ та реалізують процес технологічних перетворень АТЗ

(компонент, підсистема тощо) в стан, що має вхід V і вихід W . Модель реалізує функцію φ [4] технологічного перетворення ТО безліч входів операндів $V = \{V_s\}$ в безліч виходів операндів $W = \{W_t\}$, яка описується як:

$$\varphi: \begin{matrix} \{V_s\} \\ \{W_t\} \end{matrix} \quad (2)$$

Система технологічних перетворень ТО має зворотний зв'язок з об'єктами системи. Зворотній зв'язок дозволяє отримати інформацію про кількісні й якісні параметри процесу технологічних перетворень ТО та ремонту АТЗ, дає можливість багаторазово використовувати засоби технологічних впливів.

Усі об'єкти системи АТЗ технологічних перетворень ТО функціонують в просторі й в часі (пробігу), тому між ними діють просторово-часові відносини. Обмежені об'єкти моделі просторово-часовою границею, яка визначає цю систему як функціональну одиницю або об'ємно-просторову виробничий елемент.

Вплив, що впливає на систему технологічних перетворень ТО та ремонту АТЗ з боку двох систем, можуть бути представлені як:

$$F^i = \{F_1^i, F_2^i, \dots, F_n^i\} = S_V(t_k) // E_V(t_k) // I_V(t_k) \quad (3)$$

де F^i – вектор узагальненого входу; $S_V(t_k)$ – вхідні узагальнені впливи матеріального типу в момент часу t_k (пробігу АТЗ); $E_V(t_k)$ – вхідні узагальнені впливи енергетичного типу в момент часу t_k ; $I_V(t_k)$ – вхідні узагальнені впливи інформаційного типу в момент часу t_k (пробігу).

Вхідні впливи чинять різні дії на систему технологічного перетворення ТО. Основні завдання вхідних впливів F^i наступні: забезпечити необхідну структуру АТЗ, реалізація заданого рівня надійності компонентів АТЗ, відновлення компонентів (елементів, деталей тощо).

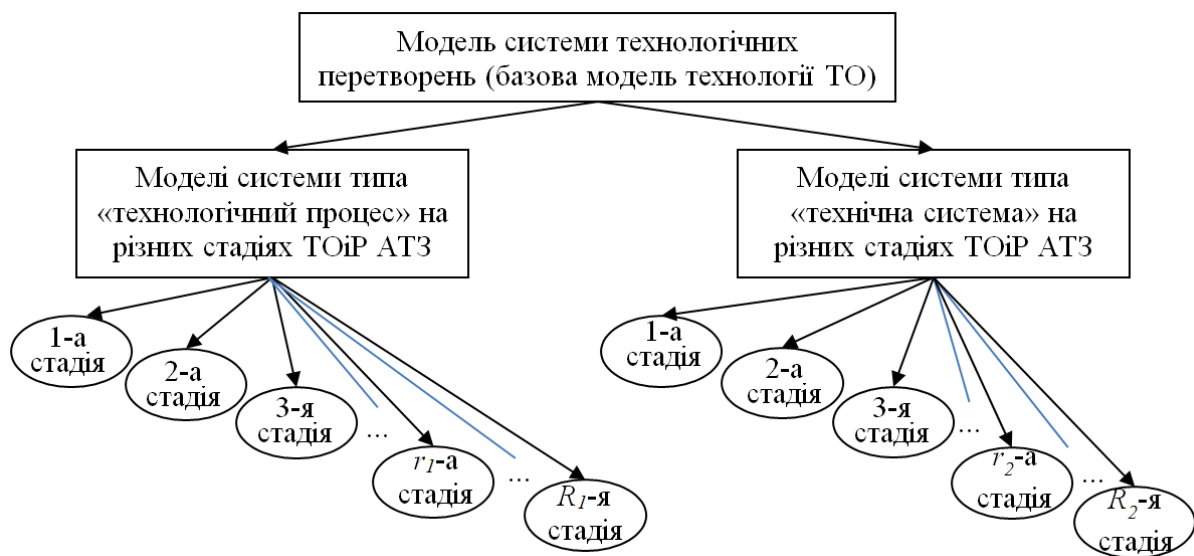


Рис. 4. Ієрархічні рівні моделей системи технологічних перетворень ТОіР АТЗ /
 Fig. 4. Hierarchical levels of system models of technological transformations of vehicle maintenance

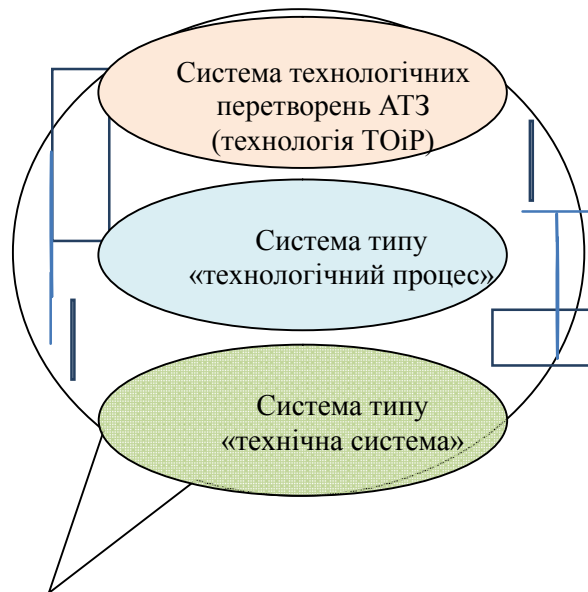


Рис. 5. Ієрархічні рівні систем та їх зв'язки в процесі синтезу /
Fig. 5. Hierarchical levels of systems and their links in the process of synthesis

Вплив, який реалізує система технологічних перетворень ТО на інші системи, має наступний вид:

$$F_i = \{ F_i^1, F_i^2, \dots, F_i^n \} = S_w(t_k) // E_w(t_k) // I_w(t_k) \quad (4)$$

де F_i – вектор узагальненого виходу системи; $S_w(t_k)$ – вихідні узагальнені впливи матеріального типу в момент часу t_k (пробігу АТЗ); $E_w(t_k)$ – вихідні узагальнені впливи енергетичного типу в момент часу t_k ; $I_w(t_k)$ – вихідні узагальнені впливи інформаційного типу в момент часу t_k .

Вхідні й вихідні узагальнені впливи мають як основні потоки різних типів, що направлені на прогресивний розвиток системи, так і побічні (шкідливі, супутні), що негативно впливають на надійність розвитку АТЗ.

Модель системи технологічних перетворень (модель технології ТО), що надана на рис. 3, структурується на базі моделей системи типів «технологічний процес» і «технічна система» (рис. 4). При такому моделюванні система типу «технологічний процес» може реалізовуватися на різних етапах ТО і ремонту (ТОiP) АТЗ 1, 2, 3, ..., r_1 , ..., R_1 , система типу «технічна система» – 1, 2, 3, ..., r_2 , ..., R_2 .

Процес моделювання систем різних типів (рис. 5) має декілька ієрархічних рівнів. В процесі моделювання систем аналіз та синтез реалізується на базі рекурентних зв'язків. На верхньому ієрархічному рівні знаходиться «Система технологічних перетворень» (технологія ТОiP АТЗ), нижче – система типу «технологічний процес», а ще нижче – система типу «технічна система». Ці особливості необхідно враховувати в процесі проведення ТОiP АТЗ та вести їх аналіз і синтез в неперервному взаємозв'язку.

Висновок. Таким чином, завдяки синтезу сучасних технологій ТО автомобілів можна послідовно проводити технічні впливи для підтримки надійності АТЗ, створювати системи ТО (обсяг робіт) заданого рівня складності. Основна особливість синтезу технології є реалізація на основі рекурентної послідовності. Розроблена структурна модель континуума автомобіля, що дозволяє вивчити вплив його кількісних та якісних параметрів. Розроблена модель системи технологічних перетворень (модель технології ТО) може розглядати питання аналізу, синтезу, реалізації, функціонування, еволюції, модифікації, удосконалення ТО та утилізації АТЗ. В процесі моделювання систем аналіз та синтез реалізується на базі рекурентних зв'язків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cheng Y.-H. Urban transportation energy and carbon dioxide emission reduction strategies / Y.-H. Cheng, Y.-H. Chang, I.J. Lu // *Applied Energy*. – 2015. – Vol. 157. – Pp. 953–973.
2. Brown J. Ultra-High Efficiency Electric Motor Generator / J. Brown // *Sustainable Automotive Technologies*. – 2012. – Pp. 187–191.
3. Wilberforce T. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars / T. Wilberforce, Z. El-Hassan, F.N. Khatib et al. // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – Vol. 42 (40). – Pp. 25695-25734.
4. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения : монография / А. Н. Михайлов. – Москва : Машиностроение, 2009. – 346 с.
5. Ivanovich V. Software for Management of Maintenance System for Truck, Passenger Car, Coach and Work Machines / V. Ivanovich, R. Mitrovich, D. Jovanovich // *Sustainable Automotive Technologies*. – Springer, London, 2012. – Pp. 267–273.

REFERENCES

1. Cheng Y.-H., Chang Y.-H. and Lu I.J. Urban transportation energy and carbon dioxide emission reduction strategies. *Applied Energy*. 2015, vol. 157. pp. 953–973.
2. Brown J. Ultra-High Efficiency Electric Motor Generator. *Sustainable Automotive Technologies*. 2012, pp. 187–191.
3. Wilberforce T., El-Hassan Z., Khatib F.N. et al. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017, vol. 42 (40), pp. 25695-25734.
4. Mihaylov A. N. *Osnovyi sinteza funktsionalno-orientirovannyih tehnologiy mashinostroeniya* [Basics of the synthesis of function-oriented engineering technologies]. Moscow : Mashinostroyeniye, 2009, 346 p. (in Russian).
5. Ivanovich V., Mitrovich R. and Jovanovich D. Software for Management of Maintenance System for Truck, Passenger Car, Coach and Work Machines. *Sustainable Automotive Technologies*. Springer, London, 2012, pp. 267–273.

Надійшла до редакції: 19.01.2019 р.