

**УДК 631.372**

**МЕТОД УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ РУХОМОГО СКЛАДУ  
ПРИ ОПЕРАТИВНОМУ (ПОТОЧНОМУ) ТА ДОВГОСТРОКОВОМУ  
ПЛАНУВАННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**Аулін В.В., д.т.н., проф.,  
Лисенко С.В., к.т.н., доц.,  
Гриньків А.В., к.т.н.,  
Чуж Д.О., ст.,  
Тирса Я.В., ст.,  
Сидоренко І.В., ст.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Abstract**

Strategies and tactics of maintenance and repair of rolling stock of the motor transport enterprise and also a number of problems which arise at the same time are considered. Possible ways to solve these problems are substantiated. Mandatory preventive, control and diagnostic works and forecasting of service life and troubleshooting are defined. Inhomogeneous Markov models of functional reliability of cars taking into account emergency repair and preventive maintenance are offered. The information graph of manufacturing of a detail or assembly of knot, system of maintenance of operational reliability of cars is constructed.

**Key words:** strategy, tactics of maintenance and repair, car, technical condition, diagnostic model.

**Вступ**

Планово-запобіжна система (ПЗС) обслуговування і ремонту, що діє на автотранспорті, поряд з позитивними сторонами характеризується і рядом недоліків. Деякі з них пов'язані з переважним розвитком автотранспорту екстенсивним шляхом, що призвело до значного відставання забезпеченості виробничо-технічної бази (ВТБ) автотранспортного підприємства (АТП) від норм, які існували, а також затримки практичної реалізації системи підтримання працездатності парку рухомого складу на основі діагностичної інформації.

Сутність діючої системи ТО і ремонту автомобілів полягає в наступному. Технічні обслуговування (щоденне – ЩО, ТО-1, ТО-2 і сезонне – СО) виконуються примусово у плановому порядку через встановлені пробіги, а ремонтні роботи - в міру потреби, після відмов або виявлення несправностей, а також за планом через певний пробіг, тобто профілактичний ремонт.

Під час ЩО після роботи або перед виїздом на лінію проводиться загальний контроль систем, які гарантують безпеку руху, а також мийні і заправні роботи. Під час ТО-1 і ТО-2 виконується обов'язковий перелік контрольно-діагностичних, мастильних, кріпильних і регулювальних робіт. СО виконується навесні і восени.

Під час ПР в АТП виконують контрольно-діагностичні, розбірні, регулювальні, слюсарно-механічні і ряд інших спеціалізованих операцій з окремих видів робіт.

Крім того, за «Положенням про технічне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту» 1994 р. (далі - «Положення») передбачаються загальна Д-1 і поглиблена Д-2 діагностики. Під час Д-1 визначають технічний стан вузлів і механізмів, які гарантують безпеку руху і придатність автомобіля до експлуатації, а під час Д-2 уточнюють обсяги ТО і потребу в ремонті.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Реалізувати систему ТО і ремонту можна різними методами: спеціалізованих і комплексних бригад, кількома різновидами агрегатного (дільничним, зональним, вузловим), операційно-постовим, методами комплексного і єдиного обслуговування тощо. Проте всі вони будуються на планово-профілактичній основі і відрізняються між собою в основному номенклатурою технічних обслуговувань, ступенем механізації технологічних процесів ТО і ремонту, наявністю фонду оборотних агрегатів і рядом інших факторів.

Аналіз методів обслуговування і ремонту автомобілів показав, що ступінь їх використання в АТП різний і це зумовлюється рядом об'єктивних і суб'єктивних факторів. До перших належать структура і чисельність рухомого складу, стан ВТБ, кваліфікація ремонтно-обслуговуючого персоналу та ін., а до других – ставлення до методів ТО і ПР з боку керівництва АТП і т.д. Головне ж полягає в тому, що зберігається основний недолік попередніх систем - технічна політика на автомобільному транспорті будується на застарілій системі обслуговування і ремонту за напрацюванням автомобілів із зазначенням певного переліку робіт під час ТО-1 і ТО-2 і при недосконалих методиках класифікації умов експлуатації та коригування нормативів на технічні обслуговування. Особливо це стосується питань діагностики.

Враховуючи значний розвиток у країні протягом майже трьох останніх десятиріч теоретичних досліджень з діагностики і активне впровадження в АТП практичних розробок діагностичного устаткування, можна було очікувати прояву нової тенденції і в основоположному документі для працівників автотранспорту. Проте питання діагностики в «Положенні» дістали декларативне вираження, зокрема не було подано конкретних нормативів періодичності і трудомісткостей діагностування. Крім того, в ньому зазначено, що контроль (діагностування) є технологічним елементом технічного обслуговування і ремонту рухомого складу. На думку авторів, діагностування є важливим елементом усієї системи управління технічним станом автомобілів.

Ще одним недоліком існуючих методів ТО і ремонту згідно з «Положенням» є використання середньостатистичних норм пробігів і трудомісткостей на кожний конкретний автомобіль. Передбачені для компенсації даного недоліку коефіцієнти не можуть повністю розв'язати користування питання, оскільки не враховується вся різноманітність умов експлуатації, та й самі умови експлуатації для багатьох автомобілів не лишаються сталими навіть протягом одного робочого дня. На технічний стан автомобілів можуть істотно впливати якість запасних частин та інших експлуатаційних матеріалів, кваліфікація і практичні навички водіїв, обсяг

виконаної транспортної роботи та інші фактори.

Прийняті в «Положенні» коефіцієнти коригування також мають недоліки, головним чином у суті їх вихідних першоджерел і обґрунтування. Наприклад, коефіцієнтом K1, призначеним для коректування нормативів ТО і ремонту залежно від умов експлуатації, тільки наближено характеризується справжній вплив умов роботи автомобіля на зміну його технічного стану. Розроблені практичні рекомендації дають можливість істотно поліпшити значення цього важливого фактору.

В разі використання коефіцієнта K2 який характеризує модифікацію рухомого складу і організацію його роботи, не враховується маса автомобіля, ступінь використання його вантажопідйомності і пробігу з вантажем, тим часом як ці показники значною мірою впливають на спрацювання агрегатів та їх довговічність.

Подібні зауваження можна зробити і щодо інших коефіцієнтів.

Отже, діюче «Положення», не враховуючи повною мірою переваг прогресивної системи профілактичного обслуговування і ремонту рухомого складу на базі діагностичної інформації і яку широко використовують на різних видах транспорту в зарубіжних країнах та достатньо розробленої в нашій країні, гальмує розвиток технічної експлуатації автомобілів.

### **Постановка проблеми**

У різних АТП застосовують три тактики технічного обслуговування і ремонту рухомого складу: за напрацюванням, за станом і мішану, що поєднує в собі елементи перших двох, які базуються на принципово відмінних ідеологіях - середньостатистичній і діагностичній. Перша наближена. Вона придатна для планування і зовсім не прийнятна для кожного автомобіля зокрема. Друга точніша. Вона базується на індивідуальному підході до транспортних засобів. За її даними можна мати будь-які середньостатистичні показники, а тому діагностична ідеологія більш загальна і інформативніша. Вона відрізняється від середньостатистичної і структурним змістом. Замість традиційних технічних обслуговувань ЩО, ТО-1, ТО-2 та ПР, кожне з яких базується в різних співвідношеннях на обов'язкових, контрольньо-діагностичних, регулювальних і ремонтних операціях, введено три види інтегральних обслуговувань, які включають у себе всі обов'язкові роботи, контрольньо-діагностичні і всі роботи по усуненню виявлених несправностей.

Обидві ідеології мають позитивні і негативні особливості. Середньостатистична простіша за формою, але через значні затрати на підтримання автомобілів у працездатному стані її застосовують тільки для спеціальних машин, окремих вузлів та механізмів, від яких і залежить безпека руху. При застосуванні цієї ідеології значна частина ресурсу агрегатів не використовується. Якість виконуваних робіт внаслідок незадовільного контролю низька. Збільшується витрата запчастин, палива та інших матеріалів.

Діагностична ідеологія дешевша, але для реалізації цієї тактики (технології) треба вміти вимірювати безперервно або періодично контрольовані (діагностичні) параметри, потрібна вища культура праці, сучасне контрольньо-діагностичне устаткування (станції для діагностування і прогнозування стану

автомобіля).

Мінімізація трудових і матеріальних затрат при заданому (розрахунковому) рівні експлуатаційної надійності рухомого складу забезпечується тільки за умови реалізації на практиці суворо індивідуального підходу до кожного автомобіля, його агрегатів під час визначення фактичного технічного стану і виконання ремонтних робіт в міру потреби.

### Мета та завдання

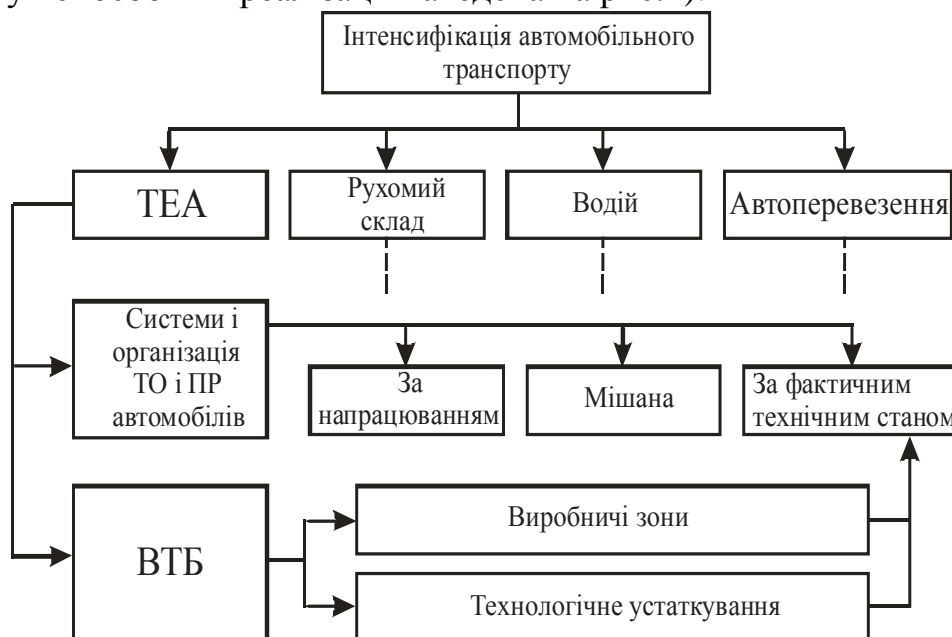
Метою даної роботи є управління технічним станом рухомого складу при оперативному та довгостроковому плануванні ТОіР.

Для реалізації поставленої мети розв'язували наступні завдання:

1. Виявлення можливих шляхів вирішення проблеми ТОіР рухомого складу.
2. Запропонувати метод управління технічним станом рухомого складу.
3. Теоретичне обґрунтування принципів управління працездатністю рухомого складу.

### Результати вирішення основних завдань

Фрагмент схеми основних напрямів інтенсифікації автомобільного транспорту і способів їх реалізації наведена на рис.1).



**Рисунок 1 Фрагмент схеми інтенсифікації автомобільного транспорту за управлінням технічного стану рухомого складу.**

Важливу роль відведено вдосконаленню технічної експлуатації автомобілів (ТЕА), до якої належать: система та організація ТО і ремонту, виробничо-технічної бази (ВТБ), ефективність роботи персоналу, система постачання і резервування, рухомий склад і умови експлуатації.

Технічне обслуговування і ремонт автомобілів в АТП мають виконуватись за умови організації замкнутої системи управління (регулювання) із зворотним зв'язком, що складається з об'єкта управління, датчика, органу управління та виконавчого органу. Якщо в даній системі здійснюється лише одна функція – контроль (об'єкт-датчик-керуючий орган) або управління (керуючий орган-виконавчий орган-об'єкт), то система буде розімкнута, що

характерно для багатьох АТП, які не мають відповідної ВТБ і не забезпечені необхідною інформацією про технічний стан автомобілів.

На відміну від розглянутої раніше система обслуговування і ремонту автомобілів залежно від фактичного стану розподіляється на три види робіт (рис.2): обов'язкові профілактичні роботи (ОР), контрольно-діагностичні роботи і прогнозування ресурсу працездатності (Д) й усунення несправностей (УН). ОР та Д – планові, УН – профілактичні. Обов'язкові роботи (кріпильні, мастильні, заправні та очисні) поділяються на ОР-1 (залежно від обсягу ТО-1) та ОР-2 (залежно від обсягу ТО-2), діагностичні – на Д-1 та Д-2.

До контрольно-діагностичних належать такі роботи: загальне діагностування (ЗД) – оцінка працездатності автомобіля (агрегату, системи); поглиблене діагностування (ПД) – виявлення і локалізація дефектів, що спричинили непрацездатний стан об'єкта діагностування; прогнозування (П) залишкового ресурсу працездатного стану за узагальнюючим діагностичним параметром.

Під час Д-1 виконується ЗД систем, агрегатів та приладів, які впливають на безпеку руху; під час Д-2 – ЗД всіх систем та агрегатів автомобіля, що визначають його працездатність. Залежно від результатів ЗД під час Д-1 та Д-2 провадиться П або ПД тієї системи, яка перебуває в непрацездатному стані.

Крім того, в разі потреби поза планом виконують;  $D_p$  – заявочне ПД системи (агрегату і т. п.), в якій сталася відмова під час експлуатації;  $D_k$  – вибіркоче контрольне ЗД системи (агрегату) після УН. До УН належать регулювання, заміни та інші заходи, виконувані для – відновлення працездатності об'єкта (автомобіля, агрегату, системи тощо).

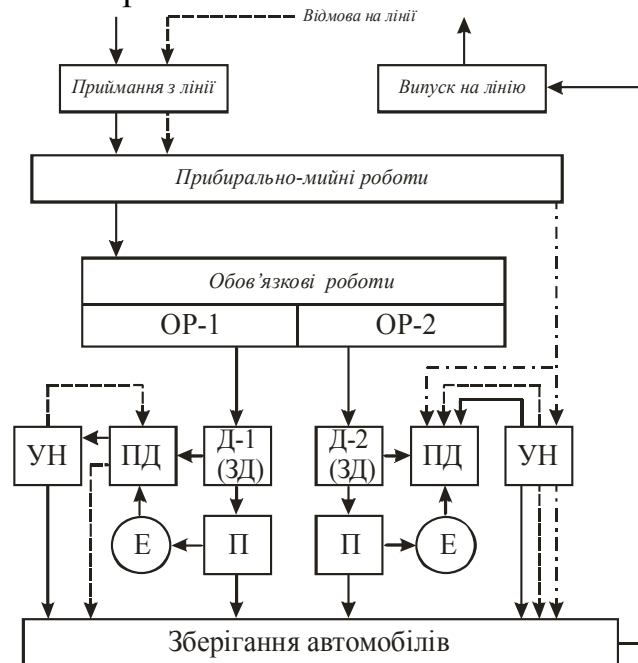
Технологічний процес в разі організації системи обслуговування і ремонту залежно від технічного стану (системи ОР-Д-УН) будується так (рис.2). Автомобіль, який надходить на планове обслуговування, піддають ОР та ЗД (Д-1 або Д-2). Якщо результат ЗД позитивний, тобто автомобіль працездатний, виконують П, щоб встановити, чи збережуть усі узагальнюючі параметри допустимі значення до наступного планового ЗД. В разі позитивного прогнозу автомобіль ставлять на стоянку, а в разі негативного диспетчер виробництва планує ПД і УН для даного автомобіля *m* найближчий зручний день, до якого триває експлуатація автомобіля (Е).

Якщо під час ЗД виявлено непрацездатний стан бодай за одним параметром, виконують ПД систем (агрегатів, приладів), параметри яких вийшли за допустимі межі, встановлюють відповідне завдання і автомобіль переводять у зону УН (якщо дефект не впливає на безпеку руху, автомобіль може працювати до моменту постановки його на УН). Якщо необхідне значення параметра працездатності не гарантується технологією виконання УН, то після завершення УН автомобіль знову надходить у зону діагностики для контрольного діагностування, а в окремих випадках і для остаточного регулювання.

У випадку відмови на лінії автомобіль в разі потреби ставлять у зону діагностики, де поглибленим діагностуванням уточнюють причину відмови, після чого автомобіль переміщують у зону УН для виконання ремонту.

Відремонтований автомобіль може бути повернутий у зону Д для контрольного діагностування  $D_k$ .

Іноді одночасно з УН виконують операції ОР, а разом з  $D_k$  – операції ЗД. Якщо зона діагностики має резерв робочого часу, окремі операції УН можна виконувати безпосередньо на постах цієї зони (наприклад, регулювання гальмових механізмів, систем живлення і запалювання, кутів установа фар). Не допускається виконувати в зоні діагностики операції УН, пов'язані з тривалими простоями несправних автомобілів.



**Рисунок 2 Система ТО і ПР автомобілів залежно від технічного стану (система ОР-Д-УН)**

Суцільною лінією позначено основний технологічний маршрут, штриховою можливий технологічний маршрут.

Розглянемо два рівні керування технічним станом рухомого складу: довгострокове планування - при проектуванні нових чи реконструкції діючих підприємств автотранспорту, при розрахунку річних виробничих програм; оперативне (поточне) планування - для визначення конкретного терміну постановки автомобіля на профілактичні впливи.

Для довгострокового планування вимагаються основні нормативи, необхідні для виконання технологічного розрахунку, пробіг до капітального ремонту, періодичність технічних впливів обов'язкових і діагностичних робіт, трудомісткість ОР, Д і УН; тривалість простою рухомого складу в ТО і ремонтах. Вихідними даними для їхнього визначення для конкретних типів і моделей рухомого складу є нормативні значення ТО, ПР і КР по другим частинам "Положення-94" чи по окремих автомобілях по рекомендаціях заводів-виготовлювачів.

При оперативному плануванні норми пробігу до КР і періодичності ТО встановлюються в літрах палива, що витрачається, трудомісткості ОР і Д приймаються орієнтовно такими ж, як і при довгостроковому плануванні, значення нормативів трудомісткості УН повинні визначатися за результатами

діагностування.

Принциповим питанням, що викликає іноді зауваження, є питання оперативного планування профілактичних впливів по сумарній витраті палива замість пробігу в км. При цьому автори зауважень посилаються на "більш складні розрахунки при використанні витрати палива, їхня громіздкість, поява додаткових труднощів, необхідність значних матеріальних і людських витрат". Усе відзначене не відповідає дійсності, оскільки це суб'єктивні думки без практичної перевірки запропонованої методики.

Зазначені зауваження обумовлені недостатньою інформацією по суті нової системи ТО і ремонту рухомого складу і її практичному використанню, відсутністю нормативно-технічної бази і нечіткістю викладу окремих питань по коректуванню нормативів ТО і ремонту автомобілів. Насправді пропоновані методики оперативного планування профілактичного обслуговування по сумарній витраті палива в літрах є значно простіше й об'єктивніше, враховують реальні умови експлуатації автомобілів за кожний день їхньої роботи.

Норми пробігу до КР, ТО-2 і ТО-1 у "Положенні-94" і його других нормативних частинах приведені для першої категорії умов експлуатації. Однак при цьому не зазначено, для яких навантажень на автомобіль (порожній, навантажений на 50 чи 100%) і яких значень коефіцієнтів використання вантажопідйомності і пробігу вони встановлені, хоча сама логіка однозначно визначає подібний взаємозв'язок. Більшість автомобілів протягом дня, тижня і місяця експлуатуються в різних дорожніх умовах з різними швидкостями і навантаженнями. При тому самому пробігу автомобіля зміна технічного стану чи прискорюється затримується в залежності від кількості роботи, виконаної його агрегатами і вузлами. На цю роботу, крім відзначених вище факторів, впливають також температура навколишнього середовища, сили тертя в механізмах і вона забезпечується тільки за рахунок згорання палива. Тому визначати оптимальні періодичності впливів у км для кожного автомобіля практично неможливо, а усереднення пробігів приводить до грубих помилок.

У результаті виконаних теоретичних досліджень удалося установити дуже просту, але дуже цінну для практики залежність між пробігом автомобіля і витратою палива в даних умовах експлуатації. Ця залежність у загальному виді запишеться так:

$$L_{ТВ} \cdot H_{п} = A_{ТВ}, \quad (1)$$

де  $L_{ТВ}$  – пробіг автомобіля до технічного впливу;  $H_{п}$  – норма витрати палива в л/100км;  $A_{ТВ}$  – постійна для даного автомобіля величина, що досить просто і точно розраховується. Наприклад, при визначенні пробігу до капремонту ЗИЛ-431410 вона дорівнює  $95,9 \cdot 10^5$  л.

При визначенні пробігу до ТО-2 (ОР-2)  $A_{ТО-2}=4360$  л, при визначенні пробігу до ТО-1 (ОР-1)  $A_{ТО-1}=1090$  л. Фізичний зміст приведених формул полягає в наступному: якщо автомобіль витратить  $95,9 \cdot 10^5$  л палива, його треба відправляти в капремонт. Якщо витратить 4360 л - у ТО-2, якщо 1090 л - у ТО-1.

У запропонованому методі відпала необхідність вводити спеціальні коефіцієнти коректування умов експлуатації, як це передбачено в "Положенні-94". Витрата палива є діагностичним параметром і побічно показує фактичний

технічний стан автомобіля.

Таким чином, для цього автомобіля  $L_{кр} = 95,9 \cdot 10^5 / \text{Нт км}$ . Якщо автомобіль без вантажу працює на дорогах 1 рік ( $H_{п} = 28 \text{ л/100 км}$ ), то

$L_{кр} = 300000 \text{ км}$ . Якщо автомобіль буде працювати у важких дорожніх умовах з повним навантаженням ( $H_{п} = 60 \text{ л/100 км}$ ), його пробіг до капремонту зменшиться до 140 тис. км.

Цей метод науково обґрунтований, є оригінальним і може знайти широке практичне застосування не тільки в Україні, але й в інших країнах. Користуючись приведеною формулою, можна прогнозувати залишковий ресурс автомобіля і його агрегатів для різних умов експлуатації.

Таким чином, витрата палива є інтегральним показником, що враховує різноманіття факторів, що впливають на технічний стан автомобілів: експлуатаційні умови перевезень, навантаження на агрегати, кваліфікацію водія і т.п.

При широкому впровадженні обчислювальної техніки виконання обліку фактичної витрати палива і пробігів до технічних впливів стане звичайною бухгалтерською операцією. ПК буде інформувати про необхідність виконання того чи іншого технічного впливу на конкретний автомобіль, що працює у визначених умовах експлуатації.

Запропонований метод дозволяє при дуже обмеженій інформації про нормативну базу автомобілів іноземних фірм установлювати норми витрати палива і періодичності технічних впливів для різних умов експлуатації.

На перехідному етапі доцільно поряд з новою методикою визначення періодичності по витраті палива зберегти і стару методику в км (аналогічно тому, як визначається, наприклад, потужність двигуна в кВт і л. с.).

Нормативи пробігу до КР і періодичності ТО для довгострокового планування встановлюються для еталонних умов експлуатації (першої категорії). Якщо технологічний розрахунок буде вироблятися для випадку експлуатації рухливого складу в інших категоріях, то дані нормативи необхідно коректувати. Для коректування пробігів використовується тільки один коефіцієнт, отриманий через відношення нормативних значень витрати палива; для коректування трудомісткості ОР і Д також застосовується один коефіцієнт, що враховує число технологічно сумісного рухомого складу; для коректування трудомісткості УН, крім зазначених коефіцієнтів, необхідно враховувати спосіб збереження рухливого складу і пробіг автомобілів з початку експлуатації.

Оперативне (поточне) планування засноване на тім, що для конкретного автомобіля, як уже відзначалося, добуток пробігу до даного технічного впливу в км на норму витрати палива в л/100 км є величина постійна. Напрямок автомобіля на відповідне профілактичний вплив повинний здійснюватися при досягненні ним установлених (розрахункових) значень сумарної витрати палива. При цьому відпадає необхідність у використанні коефіцієнтів коректування періодичності, тому що це відбувається автоматично через сумарну витрату палива, фіксовану наростаючим підсумком з моменту виконання попереднього впливу.

Періодичності впливів у літрах витраченого палива зазначені для першої

категорії умов експлуатації, однак при оперативному плануванні коректувати їх для інших категорій немає необхідності (тобто вони ті самі для будь-яких умов роботи рухомого складу). При відхиленні кожного з показників, що характеризують умови експлуатації, у гіршу сторону – дорожніх, атмосферно-кліматичних, транспортних, неправильного вибору водієм режиму руху і т.д. буде збільшуватися витрата палива і швидше наступить день чергового обслуговування. Таким чином, система коректування нормативів по ТОіР автомобілів значно простіше, що діяла в "Положенні-94".

Умови експлуатації пропонується оцінювати по середній технічній швидкості. Так, у відмінних умовах експлуатації (1 категорія) ця швидкість змінюється в межах 60...48; для 2-гої – 48...37; для 3-тьої – 37...31; для 4-тої – 31...27 і 5-тої – 27...23 км/год.

Щоб точно визначити середню технічну швидкість, треба знати час "чистого" руху. Для цього на автомобілях варто встановлювати лічильники часу руху (лічильники моточасів). Ці прості і недорогі прилади можуть замінити дорогі і дуже складні електронні імпорتنі тахографи. Що стосується трудомісткості виконуваних робіт, то нова нормативна база повинна бути приведена для довгострокового планування. Фактична трудомісткість повинна визначатися індивідуально за результатами діагностування агрегатів і систем даного автомобіля. У зв'язку з цим створенню і розвитку сучасних методів і засобів діагностування необхідно приділяти особливу увагу. Його розвиток – застава справного технічного стану автомобілів, безпеки руху, економії палива і зниження токсичності на автотранспорті.

Початкова працездатність є деякою постійною величиною, що характеризує технічний стан транспортного засобу. У процесі експлуатації відбувається старіння під впливом цілого ряду факторів:

$$R = R_n [f(r_c, r_p, r_o, r_e)], \quad (2)$$

де  $r_c$  – вплив навколишнього середовища;  $r_p$  – вплив спектра робочих режимів автомобілів;  $r_o$  – протидія старінню (зношуванню) прийнятої системи профілактики й ремонту;  $r_e$  – вплив кваліфікації водія, ремонтного персоналу й культури експлуатації.

У загальному виді цільова функція завдання управління початкового рівня працездатності при проектуванні й виготовленні автомобіля виражається

$$R_n = f(M, K, T), \quad (3)$$

де  $f(M, K, T)$  – деяка функція, що відбиває вплив властивостей матеріалу  $M$ , конструктивного рішення  $K$  і технології виробництва  $T$ .

Комплексне забезпечення працездатності автомобіля реалізується за двома напрямками: конструкційно-технологічним й організаційно-технічним. Перший є пріоритетом підприємств автомобілебудування; ефективність рішення його характеризується показниками, закладеними в тягачі й причіпний склад на перших етапах життєвого циклу – проектування, технологічна підготовка до виробництва, виробництво. Другий – завдання сфери реалізації й експлуатації (оцінюються ефективністю моделей, методів і форм управління

працездатністю транспортних машин засобами автотранспортних підприємств).

Існуюча дотепер система технічного обслуговування й ремонту рухомого складу автомобільного транспорту, що базується на помилкових концепціях середньостатистичних оцінок і гаданої відсутності протиріч у ній, досягла бар'єра ефективності, стала економічно не вигідною й не відбиває вимог сьогодення. Причиною даного становища є відсутність науково обґрунтованих методів індивідуального управління працездатністю рухомого складу, що базуються на теорії живучості складних систем. Необхідна кардинальна зміна філософії забезпечення працездатності: не як "вилікувати", а як домогтися того, щоб рухомий склад був постійно "здоровим" за інтенсивною технологією, що характеризується такими основними особливостями:

- контролепридатною конструкцією рухомого складу, що забезпечує на етапі експлуатації швидке одержання інформації про зміну технічного стану;
- компенсаторним характером, що полягає у відновленні робочих функцій регулюваннями сполучень, вузлів і механізмів експрес-замінами елементів, що відмовили, і діагностичним налагодженням (тренувальною активацією);
- постсиндромною профілактикою усунення декількох несправностей, ушкоджень або назриваючих відмов, режими й методи, що не завжди співпадають із застосовуваними (на відміну від симптоматичного управління, коли впливи спрямовані на усунення одного симптому зниження працездатності);
- багатоспрямованістю управління, що усуває всі ланки з непрацездатним станом.

У цій проблемі важливу роль відіграють два основні завдання, властиві сферам виробництва й експлуатації транспортних засобів. Одне складається з виявлення найменш надійних агрегатів, вузлів і деталей, розробки й здійснення рекомендацій з удосконалення їхньої конструкції та якості виготовлення з метою підвищення надійності знову створюваної продукції. Інше завдання полягає в удосконаленні технічної експлуатації автомобілів з метою підтримки високої працездатності рухомого складу в процесі його тривалої роботи за оптимальних матеріальних і трудових витрат. Таким чином, завдання сфер виробництва й експлуатації в проблемі управління надійністю автомобілів тісно пов'язані між собою. Вони доповнюють одне одного й спрямовані на єдину мету – підвищення надійності й ефективності їхньої роботи.

Динаміка зміни технічного стану автомобілів цілком визначається впливом агресивних факторів умов експлуатації. Тому загальна методологія вирішення проблеми підвищення ресурсу й надійності рухомого складу автомобілів з урахуванням реальних режимів й умов експлуатації може застосувати системний підхід, базуючись на марковській моделі динамічного програмування. Модель включає спектр властивостей автотранспортних засобів і навколишнього середовища  $\{E, Y, Q, \text{и}, W\}$ , де  $E$  – безліч станів за весь період експлуатації (з урахуванням рівня проектування, якості виготовлення й міжремонтного ресурсу);  $Y$  – безліч припустимих керувань (впливу обслуговуючого персоналу);  $Q$  – сімейство умовних розподілів на  $E \times Y \times E$ , що

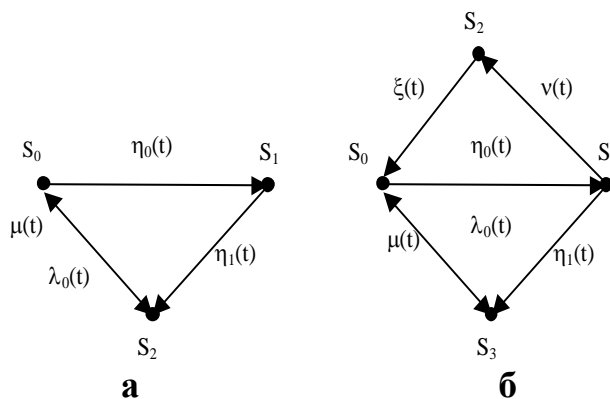
описують динаміку прийнятих рішень (вплив прийнятої системи технічного обслуговування й ремонту);  $\eta$  – параметри середовища (умови експлуатації), функціонал  $W: E \times Y \rightarrow R^+$ , що оцінює безпосередню корисність прийнятих рішень (на всіх етапах життєвого циклу автотранспортних засобів). За допомогою даної моделі чисельно вирішується багато завдань управління працездатністю й пошуком оптимальної експлуатації автомобілів.

З огляду на те, що процес використання автомобілів є випадковим і визначається впливом випадкових факторів і параметрів середовища, розглянуто імовірнісний метод аналізу працездатності автомобілів.

Досліджено дві неоднорідні марковські моделі функціональної надійності автомобілів, що працюють у випадковому нестандартному режимі. У першій моделі враховується аварійний ремонт (АР) експрес-заміною деталі, що відмовила, або вузла, а в другій, більше загальній, додатково враховується й профілактичне обслуговування. У першій моделі, обумовленій графом із трьома станами (рис. 3), при кратних інтенсивностях марковських процесів відомі:

$$\lambda_0(\ell) = \lambda_0 S(\ell), \quad \eta_0(\ell) = \eta_0 S(\ell), \quad \eta_1(\ell) = \eta_1 S(\ell) \quad \text{і} \quad \mu_0(\ell) = \mu_0 S(\ell). \quad (4)$$

Необхідно знайти моменти й закони розподілу характеристик функціональної надійності відновлюваних вузлів: імовірність справної роботи  $P_n(\ell)$ , імовірність простою автомобілів в АР  $P_p(\ell)$ , коефіцієнти готовності  $K_r$  й простою  $K_p$ .



**Рисунок 3** Графи відновлюваного – а, обслуговуючого – б вузла

Графу на рис. 3,а відповідає система стохастичних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами:

$$P_0'(\ell) = -(\eta_0 + \lambda_0)S(\ell)P_0(\ell) + \mu S(\ell)P_2(\ell); \quad (5)$$

$$P_0'(\ell) = \eta_0 S(\ell)P_0(\ell) - \eta_1 S(\ell)P_1(\ell). \quad (6)$$

Якщо після експрес-заміни вузла виконується й профілактика, то в цьому випадку в моделі враховується інтенсивність виведення автомобілів на

обслуговування  $\nu(\ell) = \nu S(\ell)$  й інтенсивність профілактики  $\xi(\ell) = \xi S(\ell)$  (граф моделі показано на рис.3, б). Динаміка випадкового процесу описується системою рівнянь, розв'язуючи які при  $P_i(0) = P_i$  й  $i = \overline{0,3}$ , в остаточному підсумку одержуємо граничні значення ймовірностей: справної роботи  $P_u(\ell) = P(\ell) + P_1(\ell)$ ;  $K_r = z_0 + z_1$ ; простою автомобілів на профілактиці  $P_n(\ell) = P_2(\ell)$ ,  $K_u = \eta_0 \nu z_0$ ; простою

під час ремонту  $P_p(\ell) = P_3(\ell)$ ;  $K_p = 1 - z_0 - z_1 - \eta_0 \nu z_2$ .

Важливою обставиною для розробки системи забезпечення експлуатаційної надійності автомобілів є можливість моделювання взаємодії елементів автомобілів, тому що його стан у більшості випадків визначається саме цим явищем. Модель управління працездатністю автомобілів відносять до числа керованих систем, що включають керовану  $S_1(X)$  і керуючу  $S_2(R)$  системи. Між ними існує два зв'язки  $X$  і  $R$  - вектори стану відповідно керованої й керуючої систем. Модель структури системи управління має вигляд

$$S = S(U, X, Y, V, R), \quad (7)$$

у якій модель функціонування зображується як

$$Y = \Phi(U, X, V), \quad (8)$$

де  $\Phi(U, X, V)$  – оператор, відповідно до якого керована система перетворить входи й виходи.

Математичні моделі структури (5) і функціонування (6) системи є вихідними для розробки математичних моделей керування розвитком і функціонуванням. З огляду на те, що структурна ієрархічна модель має ряд недоліків, автомобілів розглянуто як семантичну структурну модель, динамічна система й стохастична еволюція якої описується марковським процесом з кінцевою безліччю станів.

Модель включає безліч внутрішніх відносин і зовнішніх зв'язків  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ , що істотно впливають на експлуатаційну надійність автомобілів (параметри технічного стану, комплекси обслуговування й ремонту, устаткування, персонал), що утворюють підмножини станів  $F = F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_n$ .

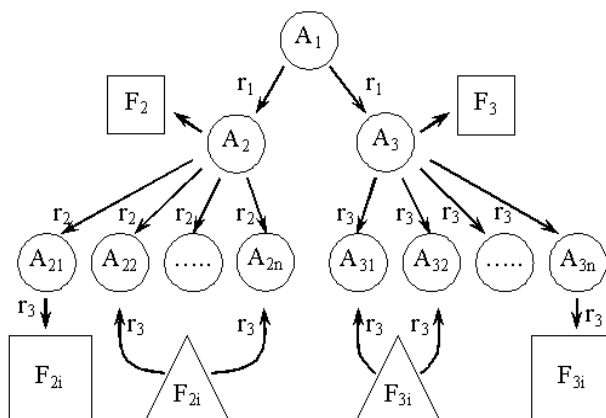
У семантичній структурній моделі автомобілів (рис.4) вершини представляють деякі сутності (об'єкти, процеси), а дуги – відносини між сутностями, які вони зв'язують. Окружностями представлені елементи, що відповідають об'єктам реальної конструкції автомобілів, квадратами – властивості елементів, що характеризуються параметрами технічного стану, трикутниками – розмірні ланцюги. Дуги відзначені відношеннями  $r_i$  внутрішнього середовища й зовнішніх впливів. Модель буде задаватися у вигляді мережі  $S(E, R)$ , що має безліч елементів  $E$ , пов'язаних відношеннями  $R$ . Структурна модель  $S$ , що складається з  $A$  елементів з підмножиною станів  $F$ , має

$$E = A \cup F = A \cup F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_n \dots \quad (9)$$

Між різними класами елементів  $E$  структурної моделі (5) виникає деяка підмножина відносин  $R_i$  з  $R$ . Наприклад, серед  $A$  елементів виникає підмножина відносин  $R_A$ , серед  $F$  станів –  $R_F$  і т.д. Звідси семантична структурна модель може мати вигляд

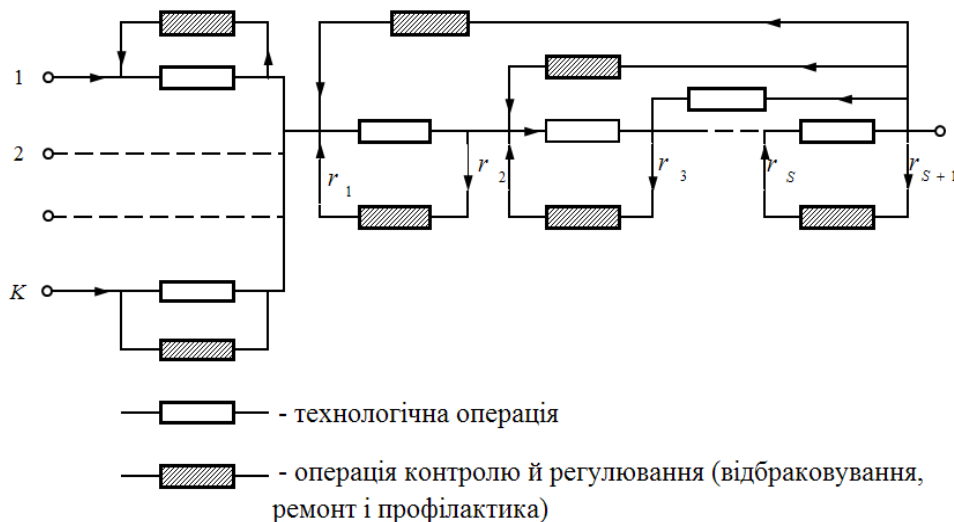
$$S(E, R) = S(A, R_A) \cup S(F_i, R_{Fi}) \cup \dots \cup S(F_n, R_{Fn}), \quad (10)$$

де  $S(A, R_A)$  - модель справного стану;  $S(F_i, R_{Fi})$  – модель  $i$ -го стану.

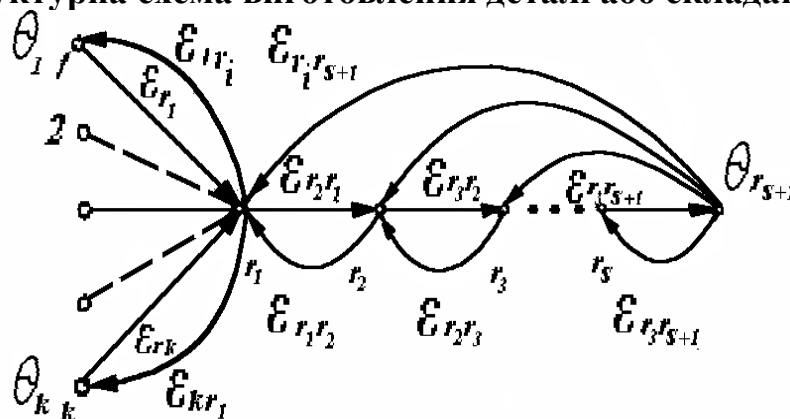


**Рисунок 4 Семантична структурна модель автомобіля :  $A_1$  – автомобіль;  $A_2$  – автомобіль-тягач;  $A_3$  – причіпний склад;  $A_{2n}, \dots, A_{3n}$  – елементи структури автомобіля**

На рівні виробництва управління формуванням працездатності причіпного складу визначається технологічним процесом виготовлення й складання, що може вважатися джерелом дефектних деталей (вузлів), що піддавалися відбраковуванню за результатами спостереження інформаційно-вимірювальних систем контролю й діагностики. Технологічний процес представляється у вигляді сукупності структурних схем виготовлення кожної деталі або складання вузла – рис. 5 й еквівалентного їм інформаційного графа (рис. 6).

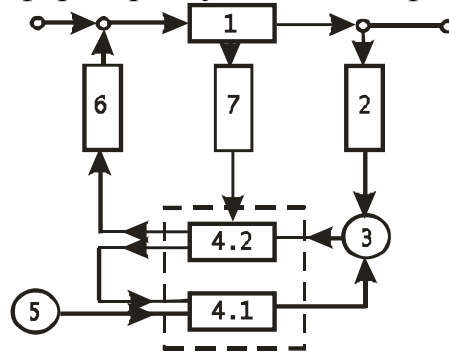


**Рисунок 5 Структурна схема виготовлення деталі або складання вузла**



**Рисунок 6 Інформаційний граф виготовлення деталі або складання вузла**

Розроблено моделі надійності технологічного процесу виготовлення й складання, урахування оперативно складних умов (у вигляді обмеження на ймовірності операції), алгоритми оптимального визначення ймовірностей використовуються в системі управління (рис. 7), що включає підсистеми контролю й діагностування 7, обчислювальний комплекс 4 з підсистемами нагромадження, обробки, аналізу, прийняття й видачі керуючого впливу 4.1 й 4.2, підсистеми складання, ідентифікації оперативної інформації про технологічний процес 2 - 3, а також зовнішньої (експертної або рекламційної) інформації зі сфери експлуатації 5. Вимоги до підсистем 2 й 3 принципово відмінні від вимог до традиційних систем збору даних про відмови. Вони є основою для визначення форми прояву відмов (дефектів), установлення їхніх технологічних причин з метою напрацювання заходів щодо їхнього попередження. На підставі переліку ознак дефектів, що відповідають вимогам вірогідності й повноти, розроблено засоби контролю й системи діагностування, а також чіткий класифікатор форм прояву відмов і дефектів.



**Рисунок 7** Схема системи управління технологічним процесом виробництва автомобільних тягачів і причепів

Система контролю й діагностування стає замкнутою і діючою, комплексно вирішує цільові завдання тільки у тому випадку, коли забезпечується вирішення проблеми діагностування на всіх етапах життєвого циклу виробів. При цьому велике значення мають глибина й ймовірність діагностування з урахуванням підвищення контролепридатності транспортних засобів завдяки використанню устаткування, убудованих датчиків й апаратури. Виходячи із цього, на етапі проектування доцільно рекомендувати: проектувати весь автомобіль із урахуванням контролепридатності; документацію на систему технічного діагностування зробити складовою частиною проектної документації на автомобіль; вивчити як сам об'єкт діагностування, так і його дефекти, їхні ознаки, прояви, симптоми; розглянути модель справного об'єкта, модель несправних модифікацій, що виникають у результаті технологічних порушень на стадії виробництва й експлуатаційних ситуацій; розробити систему діагностування, алгоритм, технологію.

При виробництві система управління технологічними процесами контролю має передбачати чотири контури. За першим контуром контролюються геометричні параметри й розміри виготовлених на заводі деталей, а також здійснюється вхідний експрес-діагноз вузлів, що надходять від постачальників. Завдання цього контуру - не допустити до складання браковані деталі з відхиленнями від технічних умов. Другий контур має здійснювати

діагностичний контроль зварених вузлів, що надходять зі стапелів. За третім контуром необхідно контролювати складальні вузли. Діагностичне настроювання експлуатаційних якостей гальмової й ходової системи виконується на стендах з біговими барабанами за четвертим контуром. Між контурами здійснюється зворотний зв'язок для оперативного усунення несправностей, компенсації спрацювань і налагодження технологічного оснащення й устаткування. Етап експлуатації автомобіля передбачає тісний зв'язок системи сервісу з виробником рухомого складу (рис. 8).



**Рисунок 8 Система забезпечення експлуатаційної надійності автомобілів**

Використовуючи бортові системи контролю технічного стану, виконується процес обов'язкових робіт, що передбачають кріпильні, мастильні й діагностичні роботи. Наявність зовнішніх комп'ютерних систем має забезпечувати процес пошуку несправностей і можливих відмов у різних елементах агрегатів, вузлів і систем автомобіля. Повна інформація про стан і робочі процеси автомобіля збирається в банк даних на діагностичних комплексах сервісу, що використовують стаціонарні комп'ютеризовані системи. З огляду на складні умови експлуатації автомобілів і різні режими роботи, процес виконання обов'язкових робіт прогнозується по бортовим комп'ютерам і перевіряється стаціонарним комплексом сервісу. Рухомий склад, конструкція якого не передбачає бортових систем контролю, обслуговується за інформацією стаціонарних сервісних систем з урахуванням рекомендацій заводів-виробників.

### Висновки

1. Основні пропозиції по коректуванню структури "Положення-94" повинні бути спрямовані на більш чітке обґрунтування його призначення, логічну побудову розділів і підрозділів відповідно до технології нової системи ТО і ремонту автомобілів, введення додаткового матеріалу по контролю-

діагностичному устаткуванню, що є основою для одержання діагностичної інформації.

2. При удосконалюванні змісту "Положення-94" необхідно уточнити принципи питання нової концепції побудови системи профілактичного обслуговування і ремонту рухливого складу автотранспорту; розмежувати питання довгострокового й оперативного планування ТО і ремонту; привести приклади розрахунків по коректуванню нормативів ТО і ремонту рухомого складу з указівкою всіх необхідних коефіцієнтів; привести інформаційні і метрологічні вимоги до контрольно-діагностичного устаткування.

3. Для широкого впровадження нової системи ТО і ремонту автомобілів повинні використовуватися методики вибору раціонального варіанта організації діагностичних робіт для конкретних підприємств, форм розвитку виробничо-технічної бази для реалізації на них нових технологічних процесів.

4. Впровадження системи підтримки рухомого складу в працездатному стані на базі діагностичної інформації дозволить підвищити безпеку руху, скоротити витрату палива і знизити токсичність газів, що відробили, зменшити потребу в кваліфікованій робочій силі і витрати на запасні частини.

#### **Література**

1. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.36-41.

2. Аулін В.В., Головатий А.О., Сандул В.В. Оптимальність та перспективність застосування основних стратегій технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С.95-96.

3. Аулін В.В., Гриньків А.В., Бруцький О.П. Прогнозування діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів. Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 202-206.

4. Аулін В.В., Гриньків А.В. Формування раціональної кількості діагностичних параметрів засобів транспорту, що експлуатуються у сільськогосподарському виробництві. Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 23-25 жовтня 2017 р.: збірник наукових праць. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С.18-21.

5. Аулін В.В., Замота О.М. Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування. Актуальні задачі сучасних технологій. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листопада 2017 р.). Том III. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. – С.16-17.

6. Аулін В.В., Гриньків А.В. Метод визначення тенденцій зміни

технічного стану засобів транспорту з використанням критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості. Зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання" 22-23 лют. 2018 р., м. Київ / НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. – С. 132-135.

7. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Техніко-економічне обґрунтування переваг інтелектуальної стратегії технічного обслуговування та ремонту легкового автомобіля. Вісник інж. академії України. – 2017. – №4. – С.50-56.

8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.17-20.

9. Аулін В.В., Замота Т.М., Гриньків А.В., Замота О.М., Чернай А.Е. Переваги інтелектуальної стратегії технічної експлуатації з точки зору економічної ефективності. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 192. - С. 29-40.

10. Аулін В.В., Гриньків А.В. Методи виявлення та діагностики несправностей систем та агрегатів машин. Матеріали 1ої Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability", 17-19 квітня 2019 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – С.188-190.

11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Системна концепція аналізу автотранспортної техніки та зміни її технічного стану під час експлуатації. Матеріали VIII-ої міжн. наук.-практичної інтернет-конф. «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2020 року: зб. наук. праць / МОН України, ВВНТУ [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С.20-22.

12. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Рівні завдань та структура функціонування системи технічного сервісу транспортних машин. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 123-125.