

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ЗІНЬКО РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 629.36:629.3.023.1

**НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ШАСІ СПЕЦІАЛЬНИХ
АВТОМОБІЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОЛІСНИХ
І ГУСЕНИЧНИХ МАШИН**

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі і трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»,
Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Горбай Орест Зенонович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри автомобілебудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Клименко Валерій Іванович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет,
завідувач кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула;

доктор технічних наук, доцент
Макаров Володимир Андрійович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри автомобілів та транспортного
менеджменту;

доктор технічних наук, професор
Монастирський Юрій Анатолійович,
Криворізький національний університет,
завідувач кафедри автомобільного транспорту.

Захист відбудеться «3» березня 2021 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий « 28 » січня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. В Україні, як і загалом у світі, стала очевидною тенденція переходу і зростання питомої частки у загальному автопарку спеціальних та технологічних машин для комунальної, будівельної, військової та інших сфер на спеціально спроектованих шасі, з відходом від традиційного донедавна використання шасі вантажних автомобілів загального призначення. Реальними нещодавніми прикладами є розробка та освоєння виробництва спеціальних шасі КрАЗ Н27.3ЕХ (КрАЗ 7634НЕ) та корпорації „Богдан Моторс” – ERCV 27 (на замовлення датської фірми Vanke Elektromotive). Наявність значної кількості вітчизняних заводів-виробників різноманітного навісного технологічного обладнання, насамперед на колісні шасі (автокрани, сміттєвози, автогідропідйомники, пожежного обладнання, ремонтних та комунальних служб), що традиційно базувались на використанні шасі вантажівок ГАЗ, ЗИЛ, УРАЛ, КамАЗ, обумовлюють в сучасних умовах особливу актуальність проблеми імпортозаміщення, очевидно на якісно іншому, новому рівні, що відповідає і недавній тенденції в ЄС – виробництві спеціально спроектованих під певні види технологічного обладнання і сфери використання колісних шасі, як от MB Eonic, Dennis Elite, Renault Puncher, Access і ін.

Принциповою відмінністю між спеціальними та технологічними шасі є умова відповідності перших і нормативній базі так зв. Женевської угоди 1958р., до якої приєдналась у 2000р. і Україна, щодо допуску (сертифікації) колісних транспортних засобів (КТЗ) до вільного переміщення-руху автомобільними дорогами загального користування. Рух спеціальних та технологічних колісних машин на технологічних шасі, що, як правило виходять за межі законодавчо регламентованих масо-габаритних обмежень для КТЗ, потребує відповідних узгоджень і є обмеженим.

Компонування, тобто формування масо-габаритних характеристик колісної машини/шасі з чітким визначенням схем і розміщення агрегатів і систем шасі, робочого місця водія та передбачених варіантів забудови технологічного навісного обладнання і схем їхнього приводу, є визначальним етапом процесу проектування і є основою для подальшого процесу конструювання (розробки конструкторської документації) конструкторськими бюро /спеціалізованими відділами.

Компонування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних і гусеничних машин (САТКГМ) (на стадії авант-проекту і формування технічного завдання), на відміну від шасі вантажних КТЗ, визначальним чином формує технологічне обладнання і сам характер та умови роботи цього обладнання, що не обмежуються мережею автодоріг загального використання, а характер навантажень та режими роботи самих шасі докорінно відрізняється від режимів та навантажень при перевезенні вантажів КТЗ, зрештою як і умов роботи водіїв – операторів технологічного обладнання чи бригади операторів у певних сферах використання (як от пожежні машини чи сміттєвози).

Тому є актуальною необхідність створення методології синтезу шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних та гусеничних машин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає Державним програмам: Постанові КМУ від 7 вересня 2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», Постанові КМУ від 17 травня 2012 р. № 397 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012-2016 роки», «Підвищення надійності і довговічності машин та конструкцій», «Критичні технології: Транспорт. Технології виробництва транспортних засобів». Під час виконання роботи проводились дослідження згідно ДБ/ВТО «Теоретико-прикладні основи модернізації енергоємного технологічного обладнання» (№ д/р №0110U001208) та НУ «Львівська політехніка»: «Дослідження та параметрична оптимізація колісних транспортних засобів і спецтехніки» (№ д/р 0114U001683) і «Міцність та безпека кузовів автобусів і автомобілів» (№ д/р 0114U001684) кафедри автомобілебудування.

Мета дослідження – покращення ефективності створення САТКГМ шляхом створення нових методів, моделей і алгоритмів формування їх шасі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити наукові основи системного аналізу та синтезу конструктивних схем шасі САТКГМ з технологічним обладнанням у різних сферах використання на засадах можливості прогнозування (предиктивності) їх параметрів та характеристик з застосуванням відповідного морфологічного середовища.

- розробити наукові основи та методологічні принципи конструктивного синтезу та компонування сімейства максимально уніфікованих шасі САТКГМ за заданими пріоритетними критеріями на основі принципу предиктивності з використанням в морфологічному середовищі методом почленної диз'юнкції.

- опрацювати практичні засади формування колісних схем та масо-габаритних характеристик сімейств 2-, 3-, та 4-вісних спеціальних шасі для будівельної, комунальної та інших сфер використання з урахуванням тріади взаємовпливів (конструктивна схема-технологічний процес-умови експлуатації).

- науково обґрунтувати і практично розробити методи опису конструкцій машин в математичних моделях їх функціонування з використанням рівняння Лагранжа II-го роду, які формуються на основі графів конструктивних схем машин і структури зв'язків узагальнених координат і дають можливість виявлення подібності між класами різномірних машин.

- удосконалити принципи проектування та алгоритми їх реалізації для САТКГМ на основі секційності та модульності з урахуванням технологічних процесів, в яких задіяні САТКГМ, та умов їх експлуатації.

- в рамках нормативних вимог-обмежень Директиви ЄС 96/53 опрацювати методи компонування спеціальних/спеціалізованих КТЗ категорії N3, N4 стосовно взаєморозміщення колісних візків шасі і каркасних силових конструкцій (рами/цистерни) з умов динаміки навантажень на осі, вертикальних/горизонтальних навантажень і вібрацій, умов експлуатації,

синтезу і розрахунку на міцність методом скінченних елементів (МСЕ) відповідних силових конструкцій.

– опрацювати методи аналітичного комп'ютерного моделювання та експериментальної оцінки граничних динамічних навантажень для шасі САТКГМ у процесі функціонування технологічного обладнання (підіймально-транспортного, будівельного обладнання, для комунальних робіт), не характерних для колісних і гусеничних ТЗ та розробити рекомендації щодо зменшення навантажень і металомісткості.

– опрацювати методи оцінки ефективності функціонування дволанкових САТКГМ на прикладі універсальної технологічної машини з урахуванням з'єднань сідлового і причепного типу ланок/секцій та розробити конструктивні рекомендації щодо зменшення навантажень силових конструкцій у процесі руху та виконання технологічних операцій.

Об'єкт дослідження – процес конструктивного синтезу шасі СТГКМ та компонування їх агрегатів і систем у взаємозв'язку з динамікою робочих процесів та умов роботи.

Предмет дослідження – підвищення ефективності формування шасі САТКГМ.

Методи досліджень – теоретичні дослідження ґрунтувались на структурному синтезі плоских механізмів на основі теорії графів, на теоріях механічних коливань, моделювання нелінійних пружних систем, енергетичній теорії міцності, теорії пружності і пластичності, предиктивності, морфологічного середовища та диз'юнкції, методах диференціальних обчислень і методів скінченних елементів, теорії оптимального керування динамічними процесами і ін. Експериментальні методи дослідження експериментальних зразків базуються на натурних випробуваннях, зіставленні та порівнянні параметрів і характеристик початкової і зміненої конструкції, при різних режимах роботи.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи полягає в узагальненні інженерного досвіду проектування та подальшій розробці теорії і методологічних принципів проектування САТКГМ з урахуванням взаємодії характеристик навісного технологічного обладнання та умов роботи САТКГМ, врахування при цьому вимог ДСТУ та Правил ЄЕК ООН, системному аналізі методів проектування та конструкцій САТКГМ.

При цьому **вперше**:

- збільшено прогнозованість (предиктивність) ефективності проектування схем шасі САТКГМ з технологічним обладнанням, застосовуючи морфологічне середовище аналізу і синтезу САТКГМ, *яке відрізняється від відомих тим*, що запропонована узагальнена структура середовища з відповідними множинами зберігання інформації і зв'язками між ними, а в формульному записі показано зміну структури того чи іншого методу створення нових технічних систем і величину передачі інформації;

- науково обґрунтовано і практично доведено доцільність вибору структури САТКГМ за заданим пріоритетним критерієм методом почленної диз'юнкції на стадії синтезу сімейства максимально уніфікованих шасі машин, *який відрізняється від відомого тим*, запропоновано метод почленної

диз'юнкції використовувати з прив'язкою до матеріальних об'єктів: технічних систем, масивів інформації;

- науково обґрунтовано і практично розроблено засади формування колісних схем та масо-габаритних характеристик сімейств 2-, 3-, та 4-вісних спеціальних шасі для будівельної, комунальної та інших сфер використання з урахуванням тріади взаємовпливів, *яке відрізняється від відомих тим*, що запропоновано компонування або синтез нових структур на основі базового шасі здійснювати, враховуючи взаємовплив технологічних процесів, умов експлуатації, де буде використовуватися автомобіль, а також нормативної бази;

- використано графи конструктивних схем машин і структури зв'язків узагальнених координат для виявлення подібності між класами різнорідних машин і, відповідно, використання звичного математичного опису таких за допомогою рівняння Лагранжа II-го роду структурно на рівні зв'язків узагальнених координат, *які відрізняються від відомих тим*, що запропонована ідея, де математичний опис подібних технічних систем за допомогою рівнянь Лагранжа II-го роду структурно, на рівні зв'язків узагальнених координат, буде подібним.

Удосконалено:

- принципи проектування САТКГМ на основі секційності та модульності, *які відрізняються від відомих тим*, що секційність та модульність застосовуються додатково з урахуванням технологічних процесів (наприклад, збільшення вантажопідйомності для транспортованого обладнання), в яких задіяні СТКГМ і умов їх експлуатації (наприклад, збільшення прохідності).

Дістали подальший розвиток:

- метод модуль-елементів в каркасних силових конструкціях КТЗ і САТКГМ при дослідженнях за допомогою МСЕ та відповідної оптимізації останніх з умов рівномірності і динаміки навантажень, *який відрізняється від відомого тим*, що запропоновано використання модуль-елементів круглої форми;

- методи компонування, моделювання та розрахунку на міцність шасі САТКГМ з умов реальних пікових навантажень при роботі відповідного технологічного обладнання, що суттєво відмінні від загальноприйнятих типових умов для колісних і гусеничних ТЗ, *які відрізняються від відомих тим*, що реальні пікові навантаження враховують особливості роботи відповідного технологічного обладнання, встановленого на ТЗ;

- методи оцінки ефективності функціонування дволанкових САТКГМ з урахуванням з'єднань сідлового і причепного типу ланок/секцій, *які відрізняються від відомих тим*, що реалізована ідея поетапного рушання/гальмування ланок/секцій дволанкових САТКГМ.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі:

- положення та висновки дисертаційної роботи базуються на результатах експериментальних та аналітичних досліджень, які кількісно та якісно не суперечать результатам досліджень попередніх авторів;

- припущення, покладені в основу теоретичних досліджень, коректні та часто використовувалися іншими авторами досліджень таких і подібних ім ТЗ і

САТКГМ;

- теоретичні дослідження базуються на добре відомих методах чисельного моделювання;

- достовірність і реальність одержаних в роботі результатів підтверджена натуралізованими впровадженнями.

Практична цінність результатів роботи. Запропонована методологія формування шасі САТКГМ дозволяє на стадії проектування визначати основні конструктивні та експлуатаційні параметри САТКГМ в залежності від вибраних критеріїв ефективності роботи в заданому виробничому процесі.

Розроблені в дисертації способи покращання експлуатаційних властивостей САТКГМ реалізовані в конкретних конструкціях і, в подальшому, можуть бути використані в процесі проектування вдосконалених зразків САТКГМ та автомобілів/гусеничних машин.

Запропоновані методи, а також алгоритм і програми, розроблені для їх реалізації, впроваджені в навчальний процес кафедри автомобілебудування НУ “Львівська політехніка”, кафедри основ технологій Дрогобицького ДПУ і використовуються в дисциплінах, які вивчають методи проектування САТКГМ, а також в курсовому та дипломному проектуванні.

Впровадження та пропозиції з використання отриманих результатів.

Результати роботи впроваджені в ПАТ “ДЗАК” (м.Дрогобич), ТзОВ Банке електромоторів Юей (м.Львів), ДП "Автоскладальний завод №1" АТ "АК "Богдан Мотор" (м.Луцьк), ТДВ "Стрий Авто" (м.Стрий).

Теоретичні та експериментальні результати роботи впроваджені також у навчальному процесі кафедри автомобілебудування при викладанні курсів “Конструювання та розрахунок автомобіля”, “Спеціальні та спеціалізовані автомобілі”, “Мобільні навантажувально-розвантажувальні засоби”, кафедри проектування та експлуатації машин НУ “Львівська політехніка” при викладанні курсів “Розрахунок і проектування машин”, а також при читанні курсів “Теорія автомобіля” і “Конструкція автомобіля” для студентів Дрогобицького ДПУ.

Особистий внесок здобувача. Положення та результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані автором самостійно та викладено в роботах [1-58]. Роботи [7, 14, 18, 20, 24, 27, 32, 50] опубліковані без співавторів. Особистий внесок дисертанта в колективних публікаціях полягає в аналізі стану науково-технічної проблеми; обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації; формуванні мети і завдань виконаної роботи; розробленні математичних моделей, які є адекватними до реальних умов. Всі результати теоретичних і експериментальних досліджень, що подаються до захисту, отримані пошукувачем особисто. Ним окреслено загальну мету і здійснено постановку задач дослідження, опрацьовано нову методологію дослідження властивостей САТКГМ з урахуванням вербальних методів їх створення, створено експериментальні зразки САТКГМ, проведено експериментальні дослідження і теоретичне узагальнення отриманих результатів, сформульовано висновки і практичні рекомендації щодо покращення ефективності роботи САТКГМ.

Особистий внесок дисертанта в колективних публікаціях полягає в такому: розробив методологічний підхід оцінки динамічних навантажень, розробка методів теоретичних і експериментальних досліджень, проведення натурних випробовувань, аналіз результатів та висновки [1, 2, 45-49, 55]; сформував концепцію, розробка методів теоретичних і експериментальних досліджень, проведення натурних випробовувань, аналіз, інтерпретація результатів та висновки [16, 19, 22, 25, 40, 42, 44]; автору належать постановка задачі, аналіз результатів та висновки [4-6, 11, 26, 28, 41, 43, 52-54, 56]; постановка мети дослідження, основні підходи до оцінки вібронавантаженості та висновки [3]; постановка задачі, розробка методики експериментального визначення характеристик автомобіля і висновки [8]; постановка задачі, формування графів і структури зв'язків [9, 10, 35-39]; постановка задачі, аналіз, інтерпретація результатів та висновки [12, 13, 15, 29-31]; постановка мети і задачі, основні принципи формування середовища, аналіз та інтерпретація результатів, висновки [17]; постановка мети і задачі, ідея і реалізація механізму почленної диз'юнкції, аналіз та інтерпретація результатів, висновки [21, 23, 51]; у колективній монографії [33] автору належать розділи 3, 4, 5; у монографії [34] – розділи 3, 5, 6, підрозділи 2.2, 2.3, 2.8, 4.1, 4.5, 4.6. В патентах на корисну модель – ідея пристрою [57] і розробка конструкцію пристрою [58].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та одержали позитивну оцінку на наступних конференціях: 8-му, 9-му та 10-му Міжнародних симпозиумах українських інженерів – механіків у Львові, (Львів, НУ «Львівська політехніка», 23-25 травня 2007 р., 20-22 травня 2009 р., 25-27 травня 2011 р., очна форма участі); Першої Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів, ЛІСВ, 4-5 березня 2008 р., очна форма участі); 1-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», (Житомир, ЖДТУ, 22-24 жовтня 2018 р., очна форма участі); I-шій Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», (Львів, НУ «ЛП», 21-23 жовтня 2010, очна форма участі); X, XI і XIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Вібрації в техніці і технологіях», (Полтава, Полтавський НТУ ім. Ю.Кондратюка, 23-25 квітня 2012 р., Дніпропетровськ, ДВНЗ «НГУ», 21-25 вересня 2015 р., Полтава, ПДАА, 20-21 жовтня 2016 р., очна форма участі); 53rd 54th і 55th International Scientific Conferences, (Latvia, Riga Technical University, October 14 2012, Latvia, Riga Technical University, October 11 2013, Latvia, Riga Technical University, September 7 2014, заочна форма участі); XV-й международной научно-технической конференции "Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы", (Севастополь: СНТУ, 10-17 вересня 2012 р., заочна форма участі); XIII Міжнародній НК «Сучасні проблеми землеробської механіки», (Вінниця, ВНАУ, 17-19 жовтня 2012 р., очна форма участі); Міжнародних НТК «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», (Луцьк, ЛНТУ, 30 травня-3 червня 2012 р., 29 травня-1 червня 2014 р., 25-29 травня 2016 р., 29 квітня-01 травня 2018 р., очна форма участі, 26-29 травня 2020, заочна форма участі); III-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські

перевезення в Україні», (Львів, НУ «ЛП», 22-23 лютого 2018 р., очна форма участі); International scientific and technical conferens «Systems and means of motor transport», (*Rzeszow: Politechnika Rzeszowska. 18-21 wrzesnia 2019*, очна форма участі), VI-й Міжнародній науково – практичній конференції "Сучасні технології промислового комплексу-2020", (Херсон: ХНТУ 8-12 вересня 2020 р., заочна форма участі).

Результати наукових досліджень дисертаційної роботи доповідалися:

-на розширеному семінарі кафедри автомобілебудування НУ “Львівська політехніка”;

-на кафедрі експлуатації автомобільної техніки Академії Сухопутних військ ім.гетьмана П.Сагайдачного;

-на кафедрі основ технології Дрогобицького державного педагогічного університету ім. І.Франка;

-на розширеному засіданні кафедри прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки НТУ України «КП»;

-на розширеному семінарі кафедри автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 58 наукових працях, у тому числі: 3 монографії, 31 публікація у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку МОН України; 5 публікацій в закордонних виданнях, 12 тез у збірниках доповідей наукових конференцій, отримано 2 патенти. Також 5 публікацій додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 444 сторінок, у тому числі основного тексту 293 сторінки і 3 сторінок, площа яких повністю зайнята рисунками та таблицями. Робота ілюстрована 92 рисунками, наведено 24 таблиці. Список використаних літературних джерел складається із 338 найменувань на 39 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність розв’язання поставленої проблеми, висвітлено її зв’язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі досліджень, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз літературних джерел, що стосуються досліджуваної в дисертаційній роботі проблеми. Дослідженням питань формування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних машин присв’ячені роботи Антишева Н.М., Баловнєва В.И., Бурьянова А.И., Висоцького М. С. (Білорусія), Горбая О.З., Горелова В.А., Гребеника О.М., Дзоценидзе Т.Д., Дуня С.В., Загаріна Д.А., Кайдалова Р.О., Кіма Е.Т., Кириченко І.Г., Клименка В.И., Коробкіна В. А., Крайника Л.В., Лагерєва А.В. (Брянск), Макарова В.А., Монастирського Ю.А., Щербак О. В., Щербаківа В.С., Самородова В.Б., Тарасова В.Н. (Білорусія), Яковенка Ю.Ф. (Москва); Dimaitis M., Gnas M. (ФРН), Kuh. H., Morrall J.F. (Канада), Rakheja S., Pal’cer U., Jurenas V., Harwood D.W. (США), Schwabe J.-H., Singh G. B, Wolf J. Також

розглянуто методики дослідження, які враховують натурний і комп'ютерний експерименти. Для ефективної реалізації отриманих результатів необхідно враховувати нормативні вимоги і стандарти, що дозволить впровадити єдину науково-технічну концепцію створення експлуатації, ремонту, технічного обслуговування та утилізації транспортних засобів.

Вищенаведений огляд дозволяє констатувати значні відмінності сфер використання різновидностей САТКГМ і явну тенденцію подальшого розвитку власне спеціальних та технологічних шасі під конкретні сфери та технологічне навісне/забудоване обладнання (ТО).

Все це обумовлює і суттєві відмінності у теорії і практиці конструктивного синтезу як відповідних колісних шасі, так і САТКГМ у цілому. Різноплановість сфер використання базових типажів колісних автотехніки при спільних характерних умовах конструктивного синтезу насамперед шасі, включно силовий, гальмівний та кермовий приводи і обумовлюють формування дещо відмінної від автомобілів загального призначення методології загального конструювання та конструктивного синтезу САТКГМ (з обмеженим доступом до автодоріг загального користування), що стало предметом даного дослідження.

В **другому розділі** описано наукові засади методології формування шасі САТКГМ з використанням принципу предиктивності – власне з умов універсалізації шасі під різні потенційні варіанти забудови ТО і відповідні сфери використання (рис.1).

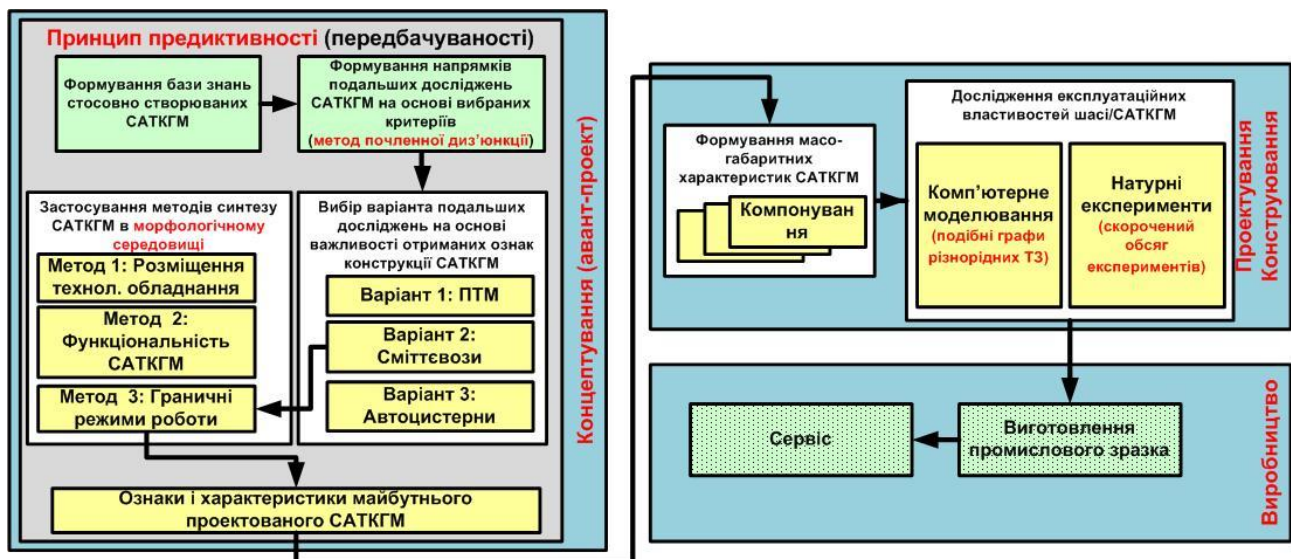


Рис. 1. Алгоритм застосування методології формування шасі САТКГМ з використанням принципу предиктивності

Враховуючи різноманітність базових сфер використання шасі, опрацьовано застосування принципу предиктивності (від лат. Praedictivus – «передбачений, прогнозований»), методів створення САТКГМ та інструментальних засобів, тобто програм, що забезпечують зв'язок етапів функціонально-логічного, технічного (конструкторського) етапу проектування і етапу технологічної підготовки виробництва. Це дозволяє прогнозовано створювати конструкції проєктованих зразків ТЗ із заданими властивостями. При цьому, предиктивний інструментарій використовується як на рівні окремих

проектних стадій, так і на рівні проекту в цілому.

На основі мінімальної вихідної структури (базове шасі), компонуючи тим чи іншим способом агрегати і системи ТО, і вносячи, при необхідності, певні зміни і у базове шасі – формування відповідної модифікації, можна створювати інші структури САТКГМ. Компонування або синтез нових структур на основі базового шасі слід здійснювати з урахуванням тих технологічних процесів, умов експлуатації і нормативної бази, де буде використовуватися САТКГМ (рис.2,а).

На базовому шасі встановлюються необхідні модулі, які враховують зміни в технологічних процесах. Якщо ж конструкція (базове шасі) за своїми технічними характеристиками не задовольняє реалізацію технологічного процесу чи функціонування в інших умовах експлуатації – слід приєднувати додаткову секцію, яка б компенсувала ті характеристики, яких бракує базовому шасі (рис.2,б).

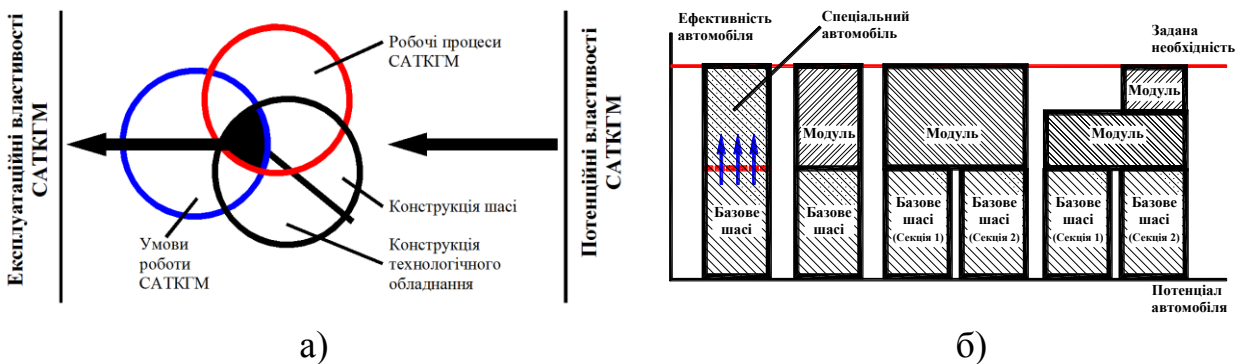


Рис.2. Тріада взаємовпливів при формуванні концепції та синтезу САТКГМ (а) і формування базового шасі на основі принципів секційності та модульності (б)

Вихідні знання для компонування або синтезу нових структур потребують систематизації і класифікації і здійснюються у відповідному інформаційному середовищі. Як один з напрямків реалізації алгоритмів синтезу є використання морфологічного середовища для моделювання технічних систем.

Морфологічне середовище оцінки та аналізу насамперед умов роботи та робочих процесів ТО дозволяє промодельовати на етапі компонування САТКГМ взаємозв'язки складових системи з формуванням відповідних графів та матриць суміжності.

Для поєднання таких ознак можна використовувати метод почленної диз'юнкції. При впорядкуванні інформації, пов'язаної з вдосконаленням конструкції машин пропонується питання, що стосуються проблеми функціонування ТЗ розбивати на взаємопов'язані множини: сукупність ознак, ознаки і характеристики ознак. Таке впорядкування дає можливість розбиття загального обсягу знань на окремі логічні області, а представлення утворених предикатів у графічному вигляді – візуалізації дослідженої проблеми і швидшому сприйняттю наповненості інформаційним матеріалом тих чи інших підрозділів тематики. Таке впорядкування ефективно при великих масивах знань. Суть методу почленної диз'юнкції полягає в тому, що вибірку елементів, які мають спільні ознаки і властивості, переформовують на основі заданого критерія. Метод почленної диз'юнкції використовується для формування

характеристик і властивостей САТКГМ. Перетворення з використанням почленної диз'юнкції показано на рис. 3.

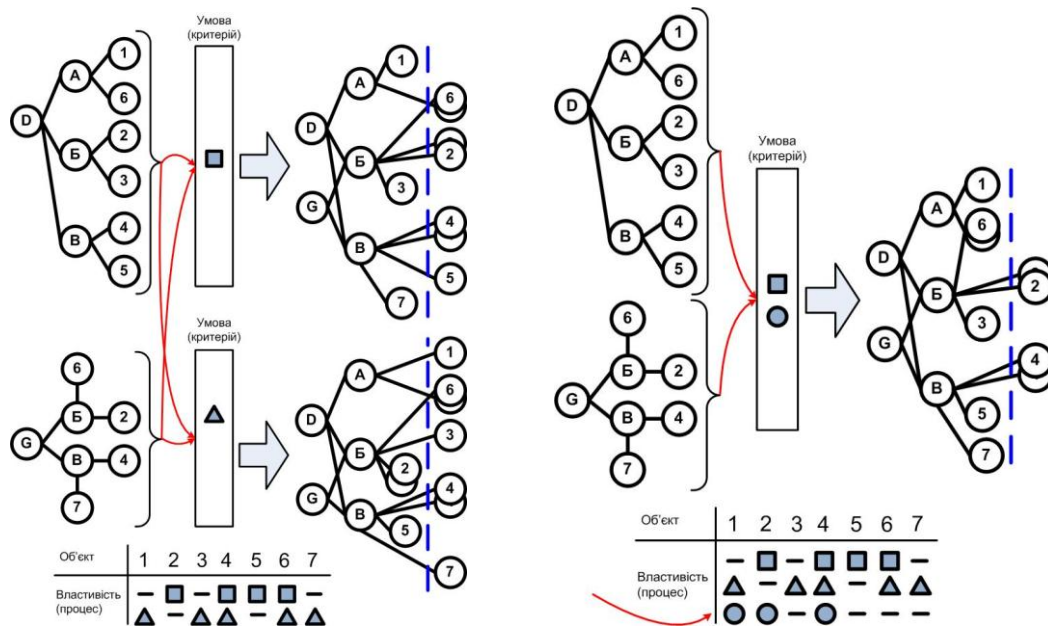


Рис. 3. Формування нової множини властивостей машини на основі заданого критерію з використанням методу почленної диз'юнкції

Проявом гнучкості методології є можливість варіації критеріїв ефективності функціонування довільного ТЗ.

Предикат $P(r, l, u, m)$, що описує зв'язок між локальними областями досліджень конструктора m та предметними змінними r, l, u , що об'єктивно визначають, знання предметних областей знань q має наступний вигляд:

$$P(r, l, u, m) = m1r1u1(l12 \vee l13 \vee l14) \vee m1r2u5(l7 \vee l8) \vee m2r3u2(l12 \vee l9 \vee l10 \vee l11) \vee m3r1u3(l1 \vee l2 \vee l3 \vee l4 \vee l8) \vee m4r2u4(l1 \vee l4 \vee l5 \vee l6).$$

Предикат P можна наочно зобразити у вигляді логічної мережі, яка являється графічним представленням результату бінарної кон'юнкції декомпозиції багатомісного предиката. Логічна мережа складається з полюсів і гілок. Кожному полюсу логічної мережі ставиться у відповідність своя наочна змінна моделі, яка називається атрибутом цього полюса.

Було виявлено, що, хоча машини за своїм функціональним призначенням є різними, спостерігається суттєва спорідненість структури їх конструкцій. Наприклад, графи структури конструктивної схеми комунальної техніки (рис.4,а), ПТМ і будівельно-дорожньої техніки (рис.4,б), є між собою подібними. З врахуванням третьої теореми теорії подібності було висунуто припущення, що і математичні моделі, що описують їх роботу, також будуть подібними. Позначивши узагальнені координати досліджуваної моделі як вершини ненапрявленого графа, а їх зв'язки – ребрами, було отримано структуру математичної моделі досліджуваної САТКГМ. Зробивши константами декілька узагальнених координат і відкоригувавши відповідні вхідні параметри математичних моделей можна за допомогою однієї моделі досліджувати цілу низку різнорідних машин, які за своєю конструкцією і функціональним призначенням можуть суттєво відрізнятись.

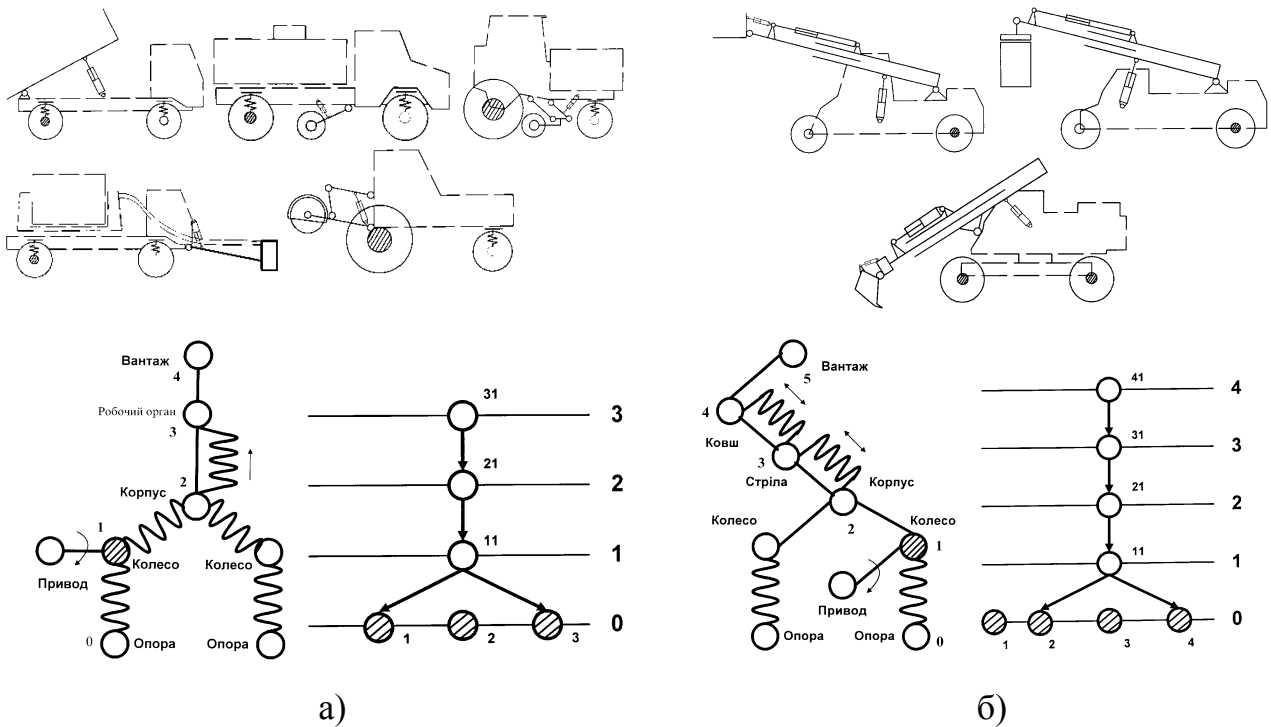


Рис.4. Приклади структурних схем САТКГМ і відповідні їм графи структур зв'язків між узагальненими координатами в математичній моделі функціонування: а – комунальна техніка; б – ПТМ і будівельно-дорожня техніка

Представлення зв'язків координат у вигляді графів дозволяє з'ясувати взаємовплив роботи елементів САТКГМ і будувати моделі з врахуванням цих зв'язків. Крім того, графи зв'язків дозволяють однозначно визначити необхідну кількість і перелік узагальнених координат, які потрібні для розв'язання конкретної задачі. Застосування цих графів дозволить визначати необхідний і достатній рівень майбутньої моделі функціонування САТКГМ. Це зменшить трудові затрати на створення, відлагодження та використання моделі. З врахуванням подібності графів запропоновано для дослідження і проектування САТКГМ використовувати поняття – універсальна технологічна машина (УТМ) (рис.5). Ця машина за конструкцією і наявністю технологічного обладнання враховує параметри і характеристики всіх основних САТКГМ. Відповідно, можна записати узагальнену модель яка дозволяє вивчити експлуатаційні властивості спроектованої САТКГМ, визначити межі її ефективного використання, дослідити властивості подібних варіантів.

Чим точніша модель, тим ближче вона до реальної роботи САТКГМ, проте бажання повніше враховувати складну природу функціонування САТКГМ призводить до занадто складних рівнянь, що містять велику кількість невизначених параметрів. При цьому модель втрачає практичну цінність. Тому в деяких випадках доцільно використовувати спрощені варіанти повної математичної моделі залежно від поставлених задач дослідження. Спрощені або наближені моделі не враховують в повному об'ємі фізичні процеси, що протікають при функціонуванні САТКГМ, але є простішими в використанні.

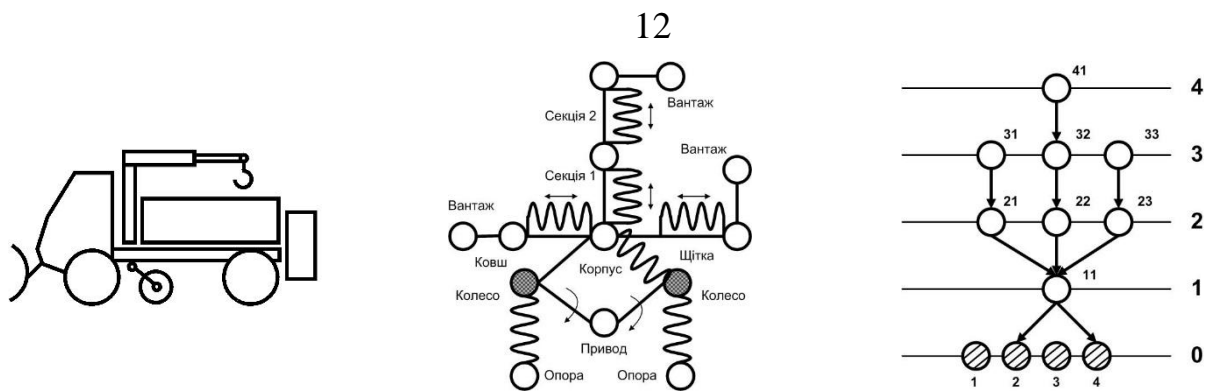


Рис. 5. УТМ її графи конструктивної схеми і зв'язків між узагальненими координатами

У **третьому розділі** представлено основи формування компоновки та масо-габаритних характеристик спеціальних колісних машин категорій N та N+O (в рамках нормативних вимог Директиви ЄС 96/53) та ще не повністю сформованої національної нормативної бази.

Для базового шасі, крім вантажопідйомності, важливим також є можливість розміщення ТО з урахуванням його масо-габаритних характеристик та функціональних зон роботи.

Загальну схему-структуру формування масо-габаритних характеристик технологічних шасі представлено на рис. 6, де домінуючими у визначенні структури шасі є три основні групи факторів:

- для спеціальних шасі – обмеження по габаритних розмірах та навантаженнях на осі (з умов сертифікації-схвалення типу та допуску без спеціальних одноразових дозволів для руху по автомобільних дорогах загального користування), для технологічних шасі – наявність чи відсутність вимог щодо можливості руху (за окремими дозволами) на автодорогах;

- дорожньо-кліматичні умови переважних сфер використання (додаткові в цьому плані обмеження допустимих навантажень на осі з умов фізико-механічних характеристик опорної поверхні технологічних площ, характеристик опорної та геометричної прохідності, як визначальні щодо схеми і кількості осей шасі);

- типи і масо-габаритні характеристики ТО і його робочих зон.

Визначальним при формуванні краєвих умов компоновання шасі цього класу є:

- можливість 2-3х варіантів колісної бази WB, залежного від сфери використання шасі і забудови технологічного устаткування;

- відповідність спеціальних колісних шасі вимогам безпеки руху та екологічності з умов сертифікації і допуску до експлуатації на дорогах загального користування відповідно до технічного регламенту країн-учасниць Женевської угоди 1958р., до яких приєдналась і Україна;

- формування загальної схеми компоновки щодо розміщення робочого місця водія/бригади та силового агрегата, що як правило відрізняється від типових для вантажних автомобілів – безкапотної чи капотної, зокрема у середньотонажній категорії (до 12 т повної маси, в рамках N₂ по класифікації ЄЕК ООН);

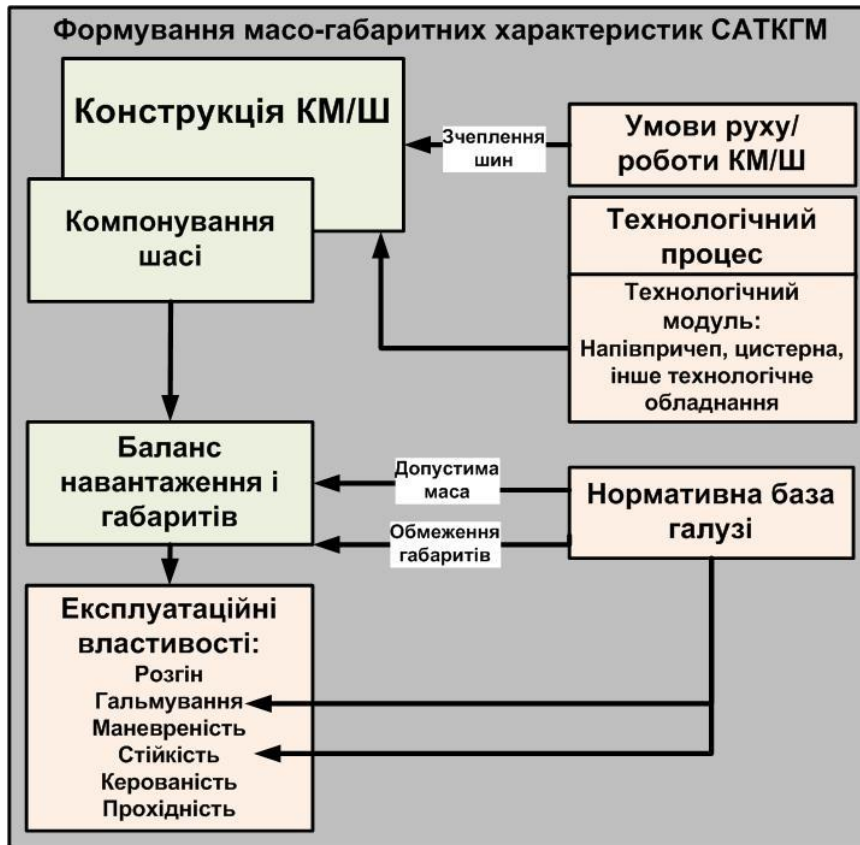


Рис.6. Структура формування масо-габаритних характеристик САТКГМ

- півкапотна (типу MB Unimog), великої тоннажності (більше 12т повної маси, N₃) – з значним зміщенням робочого місця водія вперед (за передню вісь) з низькою посадкою і забезпечення входу-виходу водія/бригади практично без сходенок з кабіни (висота рівня підлоги кабіни – у межах 360-420 мм, аналог переднього звису великого міського автобуса типу low-floor/low-entry (типу MB Esonic);

- півкапотна схема компоновки у середньотонажному класі обумовлена і умовами реальної сфери використання видів ТО (у порівнянні з капотною схемою – забезпечення кращої оглядовості виконання технологічних операцій переднього навісного ТО, у порівнянні з безкапотною схемою компоновки – зменшення навантаження на передню вісь – з умов варіантів переднього навісного ТО і прохідності, у військовій сфері – додатково кращим протимінним та балістичним захистом водія/переднього ряду сидінь);

- винесена у передній звис шасі кабіна з низьким входом великотоннажних спеціальних і технологічних шасі обумовлена специфікою переважних типів технологічного обладнання (сміттєвози, автокрани і т.п.), що диктує відповідно ергономіку і продуктивність роботи екіпажу, а також умовами кращої оглядовості та маневровості машини на обмежених габаритно-технологічних площадках (зменшення колісної бази при гранично допустимих для КТЗ значеннях габаритної довжини та відповідне зменшення критичної максимальної швидкості з умов стійкості руху є несуттєвим з-за відчутно нижчих законодавчих обмежень максимальної швидкості для САТКГМ).

Для повнопривідних версій шасі додатково суттєвим ще є:

- забезпечення підвищеного рівня кліренсу (410-430 мм) у порівнянні до

звичних у СНД повнопривідних вантажних автомобілів, як з умов використання у лісо- і сільськогосподарській сферах, так і з умов сучасних нормативних вимог у військовій сфері;

- наявність дво- або тридіапазонної роздатної (діапазонної) коробки, що забезпечує так званій дорожній (рух на дорогах), робочий (виконання технологічних операцій під час руху, рух по бездоріжжю), «повзучий» (технологічні операції насамперед у сільськогосподарській сфері) режими роботи силового приводу;

- наявність переднього і заднього механічного приводу-відбору потужності від двигуна – приводу ТО, бажано дво- триступеневого, а також (опція) гідравлічного переднього і заднього приводу ТО;

- допустиме навантаження на вісь – 4-4,5т (з умов забезпечення високої прохідності/мобільності на поверхнях, що деформуються, як реальної, значимої сфери використання);

- сфери використання і типи та характеристики навісного/забудови ТО;

- для шасі вантажо-підіймальної техніки (автокрани, автогідропідійомники-АГП і т.п.) важливим є також модифікації з усіма керованими осями з можливістю як мінімізації радіусів повороту (маневровості), так і руху – під'їзду до місця технологічних операцій так званим крабовим ходом – з поворотом усіх керованих коліс у одну сторону (експериментальне шасі-прототип такого типу під кран КТА-18).

Узагальнений алгоритм компонування активних шасі з двигуном і трансмісією, також пасивних шасі (причепи і напівпричепи) представлено на рис. 7.

Сфера спеціальних колісних шасі значно наближена (а деколи і не виходить за межі) до умов експлуатації сфер КТЗ категорій N та O, однак з точки зору експлуатаційних навантажень на шасі має ряд докорінних відмінностей:

- значно вищі значення спорядженої маси – з-за розміщення ТО, а для вантажопідіймальної – практично ідентичні з номінальною, та вищі центри мас;

- значні, а для вантажопідіймальної та дорожньо-будівельної техніки докорінні, відмінності у формуванні критичних пікових навантажень на раму шасі та, відповідно, зміна краєвих умов та характеру навантажень при конструктивному синтезі з умов рівномірності (з врахуванням динаміки роботи того чи іншого ТО).

Характерною рисою конструктивного синтезу спеціальних та технологічних шасі у вітчизняних умовах є обмежені обсяги виробництва-збуту на внутрішньому ринку, а, відповідно, розширення сфер використання та забудови різних типів технологічного обладнання. Зокрема стосовно великотоннажних шасі (N₃) це універсалізація шасі принаймні під 4 базові типи забудови ТО: автокрани та близькі по характеру навантажень автоекскаватори (підіймально-транспортна сфера), сміттєвози та дорожньо-прибиральна і ремонтна техніка (включно водополивальні та піскорозкидальні сезонні технологічні навісні системи, автогідропідійомники (комунальна сфера), бетономішалки-міксери, перевезення асфальту та гудрону і т.п. (дорожня та будівельна сфери), пожежні машини (цистерни, висувні драбини з

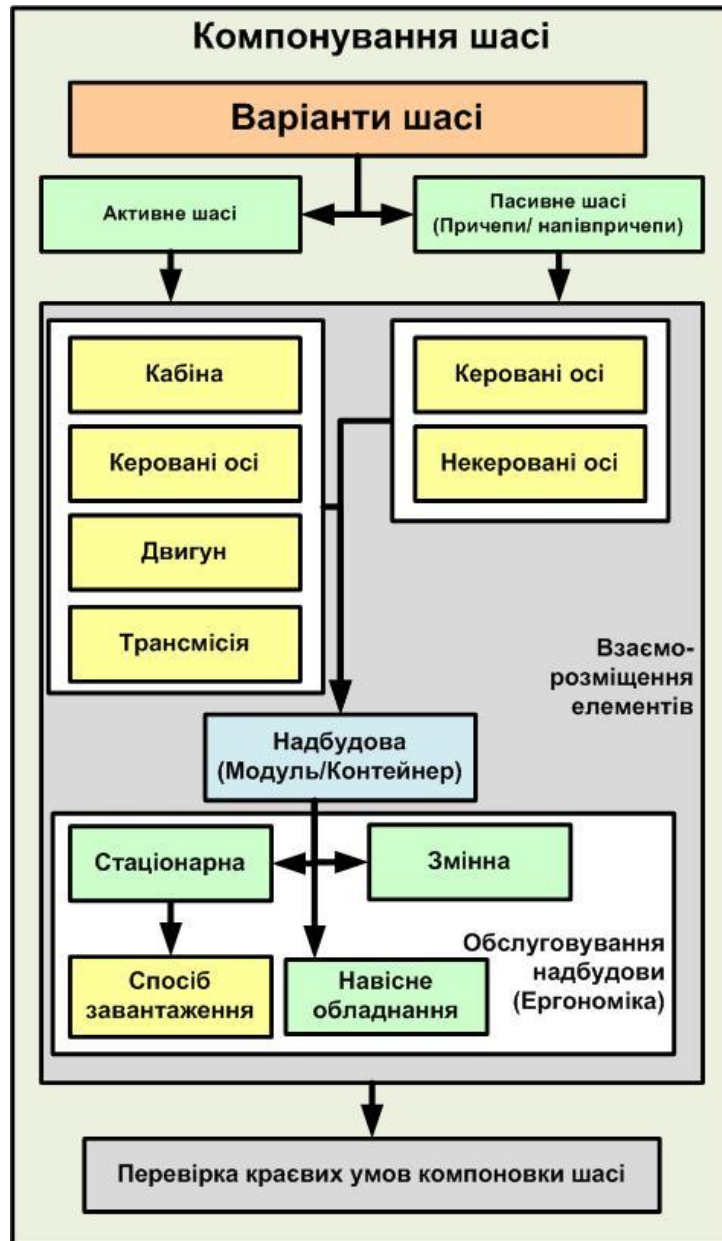


Рис. 7. Узагальнений алгоритм компоновання універсальних шасі для різних сфер використання і навісного обладнання

гідроприводом). Звично універсалізація компоновки шасі обумовлює певні компромісні рішення з умов пріоритетності основних (за обсягами виробництва) сфер збуту та орієнтації конструкції шасі на найбільш напружені режими навантажень з усіх потенційних варіантів забудови ТО (в сукупності з вищезгаданими 2- 3-ма варіантами колісної бази і варіантами колісних схем – від дво- до чотиривісної). Був розроблений типоряд шасі САТКГМ на основі арифметичної прогресії (рис.8). Порівнюючи значення колісних баз шасі САТКГМ з отриманим типорядом, можна побачити, що другий член типоряду б) нечасто зустрічається в реальних лінійках продукції фірм-виробників.

Як приклад, в ВАТ Укравтобуспром розроблено модульне сімейство великотоннажних спеціальних шасі (ТУР ВХ181-ВХ371) у 2-, 3- та 4-вісному виконаннях – з пріоритетною орієнтацією під забудову автомобільних кранів серії КТА (ДЗАК) вантажністю від 17т до 50т, що природно передбачає формування відповідних модифікацій по колісній базі і для 3- та 4-вісних

моделей також і колісних схем для інших типів технологічного обладнання і сфер експлуатації (рис.9).

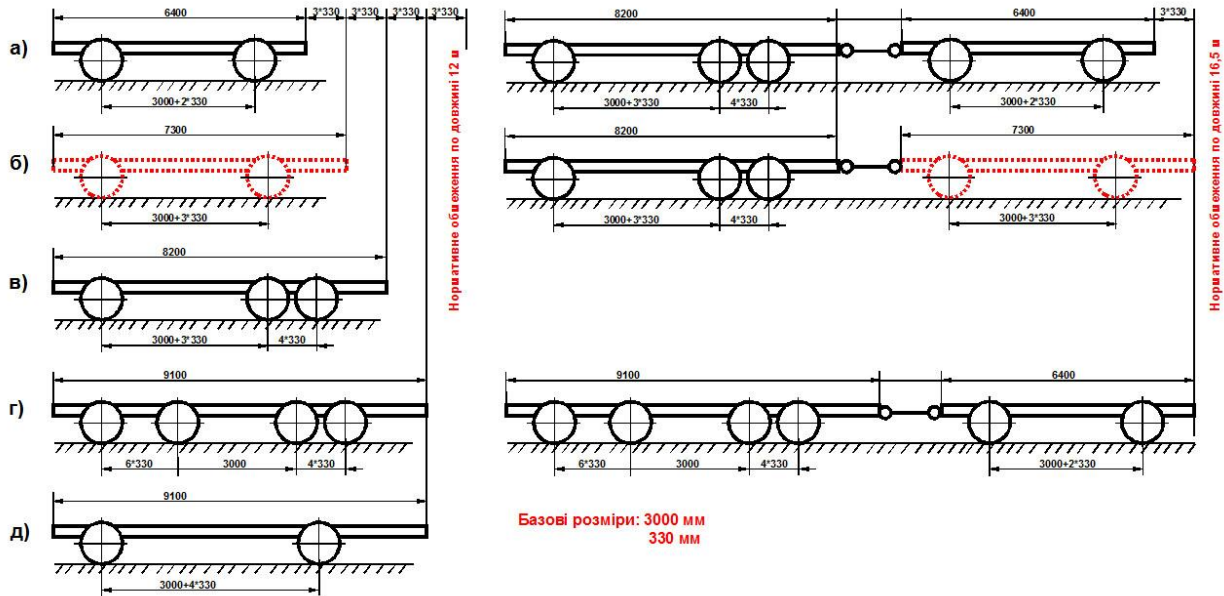


Рис. 8. Типоряд шасі САТКГМ, побудований на основі арифметичної прогресії

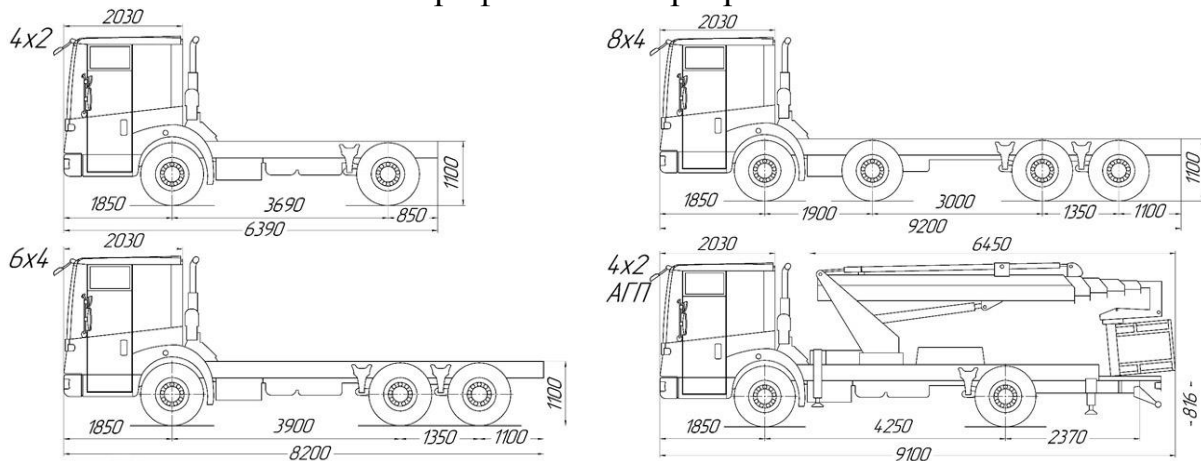


Рис. 9. Модульне сімейство великотоннажних спеціальних шасі (ТУР ВХ181-ВХ371) розроблене ВАТ Укравтобуспром

В основному на комунальній і будівельно-дорожній техніці застосовується активне навісне технологічне обладнання. Нині відсутні дані про раціональний розподіл потужності основного двигуна між приводом рушія і активного навісного ТО при зміні зовнішніх умов експлуатації. Для досягнення максимально можливої продуктивності виникає необхідність в розробці метода вибору обладнання для САТКГМ з урахуванням умов технологічного процесу, в якому задіяна машина.

Напишемо баланс потужності САТКГМ з активним ТО і технологічним процесом:

$$E_{СКТГМ} = K_3 (E_{шасі} - E_{обл}) = E_{ТП}$$

Потенціал потужності шасі САТКГМ

$$E_{шасі} = P_{шасі} V_{шасі}$$

Потенціал потужності навісного ТО, встановленого на шасі САТКГМ

$$E_{обл} = P_{обл} R_{обл} / \omega_{обл}$$

Рівняння тягового балансу САТКГМ:

$$T_{зч} \geq T_{шасі} \geq T_{ТП},$$

$T_{зч}$ – сила зчеплення рушія з дорогою;

$T_{шасі}$ – сила тяги САТКГМ;

$T_{ТП}$ – сила опору робочого середовища при виконанні технологічного процесу.

Приклади $T_{ТП}$ для деяких САТКГМ.

Для прибирально-підмітальної машини: $T_{ТП} = P_{щ} B_{щ} \omega_{щ}$,

де $P_{щ}$ – зусилля підмітання; $B_{щ}$ – ширина щітки; $\omega_{щ}$ – обертова швидкість щітки.

Для поливальної машини: $T_{ТП} = \alpha p_B u_B S_{П}$,

де α – кількість форсунок; p_B – тиск води у форсунці; u_B – швидкість викиду води з форсунки; $S_{П}$ – площа покриття.

Для екскаватора: $T_{ТП} = P_{зчр} V_{зн}$,

де $P_{зчр}$ – зусилля захоплення ґрунту; $V_{зн}$ – швидкість занурення ковша.

Для бетоноукладчика: $T_{ТП} = (N_1 N_2 N_3) / \eta$,

де N_1 – потужність на подолання опору бетонної суміші об борти живильника; N_2 – потужність на подолання тертя стрічки живильника об підтримуючий лист від сили ваги стовпа бетонної суміші в бункері; N_3 – потужність на подолання опору в роликкоопорах при транспортуванні бетонної суміші на стрічці.

При компопуванні важливим є визначення (формування на етапі компопування) зведеного центру мас. На рис.10 представлена схема для варіанту забудови сміттєвоза СКЗ-23 – з виділенням варіацій координат центрів мас 7 підгруп шасі (силовий агрегат, кабіна з екіпажем, рами з підвісками, осей з колесами та акумуляторів, паливного баку, пневморесиверів, запасного колеса) та попередньо визначеного центру мас самої кранової установки у транспортному стані. Відповідна схема застосовується для формування поздовжньої координати зведеного центру мас (та, звично, колісної бази і статичного розподілу навантажень на осі) – на спеціальному 3-вісному шасі ТУР ВХ 271 – відповідно модульного сімейства щодо колісної бази.

Функціональність, що відображає ефективність використання УТМ при забезпеченні технологічного процесу, може бути виражена як середньоарифметичне значення параметрів ефективності і має вигляд:

$$F_{УТМ} = f(\alpha_{об}, \alpha_{вн}, \alpha_{тн}, \alpha_{тр}),$$

де $\alpha_{об}$ – показник оснащення УТМ технологічним обладнанням; $\alpha_{вн}$ – показник вантажопідйомності; $\alpha_{тн}$ – показник технологічності; $\alpha_{тр}$ – показник транспортабельності.

Вибір рушія для САТКГМ проводимо на основі набору критеріїв, які визначають ефективність функціонування САТКГМ (рис.11).

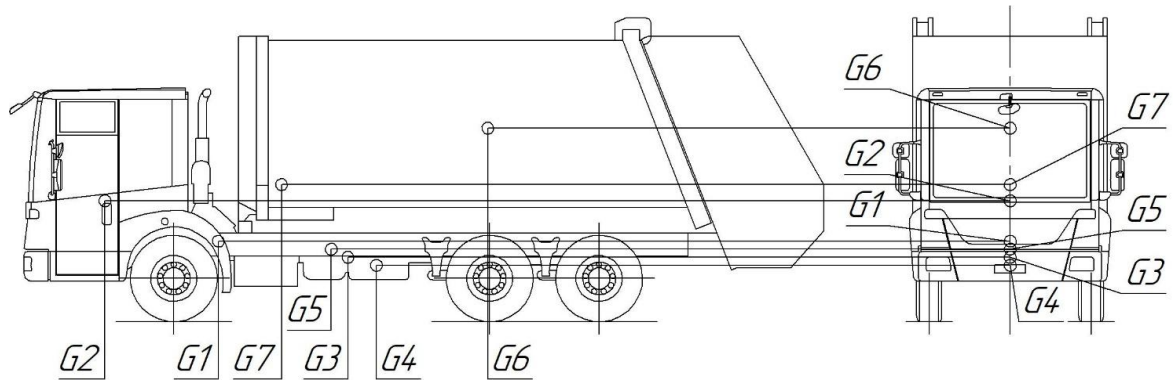


Рис. 10. Зміна колісної бази і центру мас залежно від компонування (на прикладі сміттєзбиральної машини)

Проблема забезпечення прохідності САТКГМ багатопланова і при її рішенні повинні враховуватися тип рушія, опорно-зчіпні показниками, несівна здатність ґрунту, швидкість пересування. Ці параметри відрізняються для ТЗ з колісним і гусеничним рушіями і в основному визначатимуть продуктивність і ефективність роботи САТКГМ (табл.1).

Таблиця 1 – Можливості руху різних видів ТЗ залежно від виду ґрунту

Транспортні засоби	Допустимий тиск, МПа	Колісна схема
Колісний автомобіль малої вантажності	0,30	
Колісний автомобіль середньої вантажності	0,20	
Колісний автомобіль великої вантажності	0,40-0,60	
Колісний трактор	0,15	
Гусеничний трактор	0,02	
Гусеничний всюдихід	0,08	
Гусеничний болотохід	0,04	
Секційний гусеничний всюдихід	0,01-0,05	

Важливим є використання навантажувально-розвантажувального обладнання, як для завантаження технологічних модулів так і для виконання перевантажувальних робіт. Можливі способи зняття і установки технологічних модулів: 1. Використання крана-маніпулятора. Використання порталного крана. 3. Спосіб накатування. 4. Спосіб натягування. 5. Спосіб вертикального підйому. 6. Використання вантажопідйомного борта.

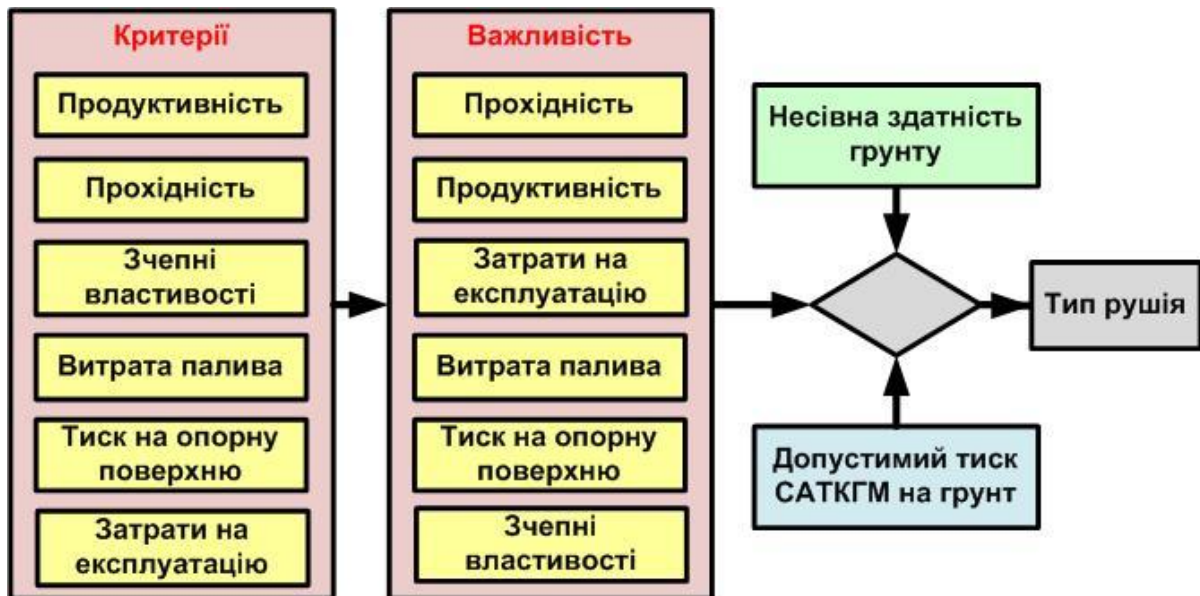


Рис. 11. Алгоритм вибору типу рушія для САТКГМ

З усієї можливої гамми варіантів ТО при формуванні компоновки – габаритних характеристик шасі в ролі граничних, визначальних умов приймаються найбільш складні, тобто найважчі за масо-габаритними характеристиками фронтального і тильного обладнання. Абсолютні значення мас та координати центру мас варіантів технологічного обладнання і формують змінну складову навантаження на осі шасі, що обмежені граничними умовами допустимих навантажень для певних конкретних типів опорної поверхні (дороги) та зчеплення шин з дорогою (з умов запобігання проковзування і забезпечення керованості руху), а також запобігання буксування ведучих коліс у тяговому режимі роботи силового приводу. Вплив динаміки гальмування на формування розподілу навантажень на осі, отже і формування колісної бази та габаритних, довжини і висоти, характеристик машини практично не враховується). Загальну схему формування колісної бази шасі WB з цих умов представлено на рис. 12, 13.

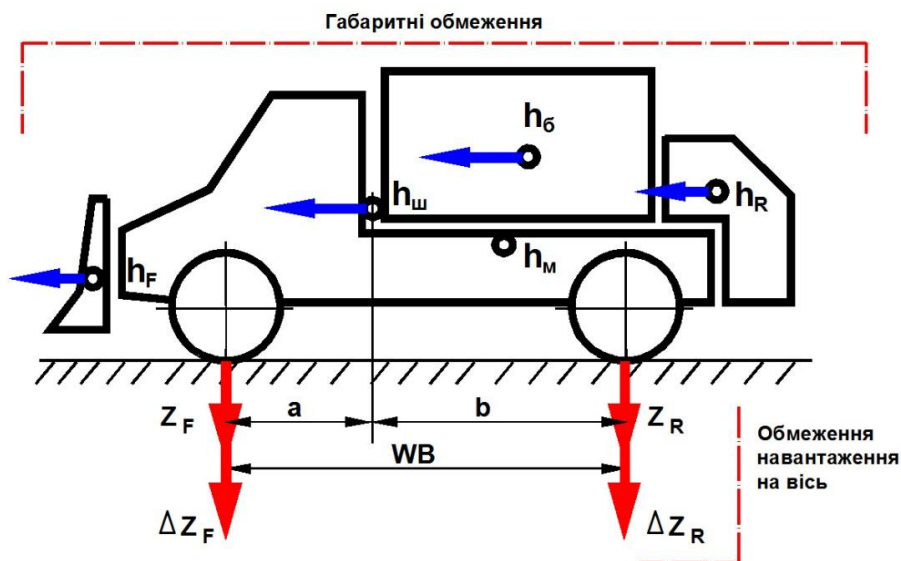


Рис. 12. Двовірний синтез колісної бази WB з умови мінімізації відхилень навантажень на передню Z_F та задню Z_R осі

Ітераційний перебір у двомірній площині (див. рис.12, 13) має за мету шляхом підбору колісної бази WB максимально зменшити різницю навантажень на передню Z_F та задню Z_R осі. На рисунках позначено: $h_{ш}$ – висота центру мас шасі, h_6 – висота центру мас технологічного устаткування в межах колісної бази. Суттєво швидшим та ефективнішим є використання спеціальної програми, h_F – висота центру мас переднього навісного обладнання; h_R – висота центру мас заднього навісного обладнання розрахунку – синтезу суміщення центрів мас шасі $h_{ш}$ та варіантів переднього h_F , заднього h_R , середнього у колісній базі h_6 технологічного обладнання у площину результуючого центру мас h_M САТКГМ з одночасним варіюванням-зміною колісної бази WB (при накладанні обмеження щодо критичного значення WB_2 з умови кутів роботи з'єднаних карданів в експлуатаційному діапазоні ходів підвіски).

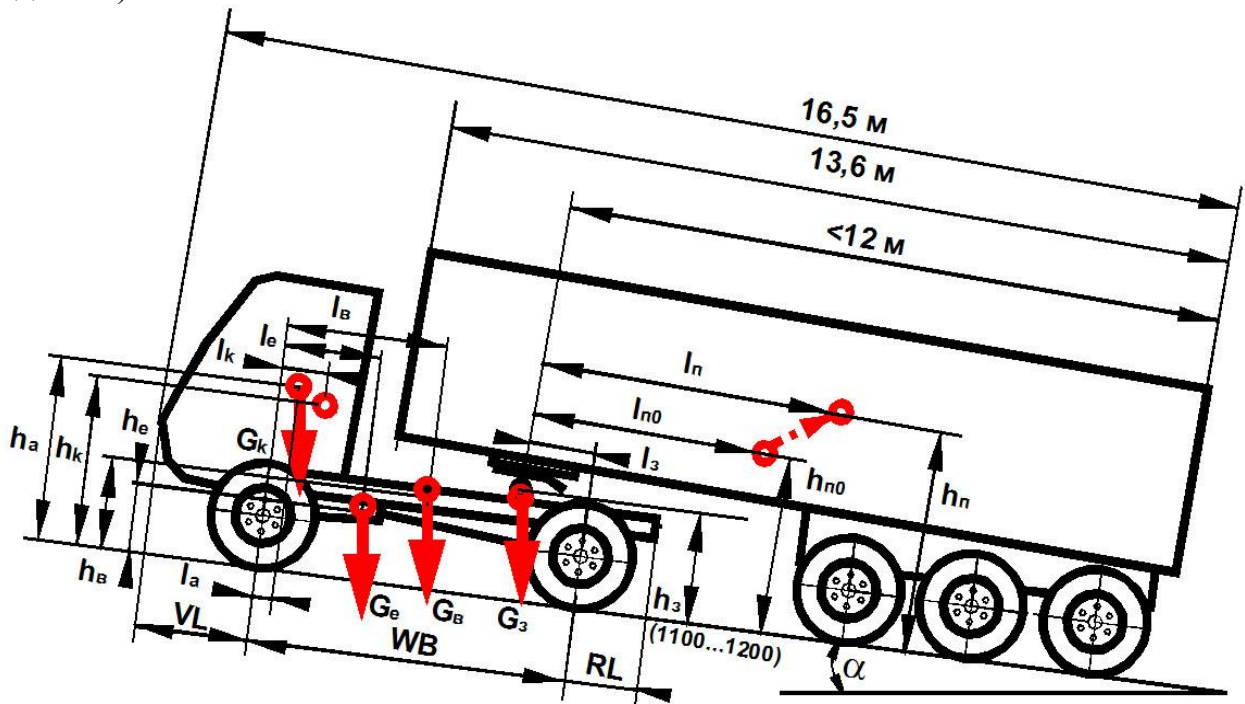
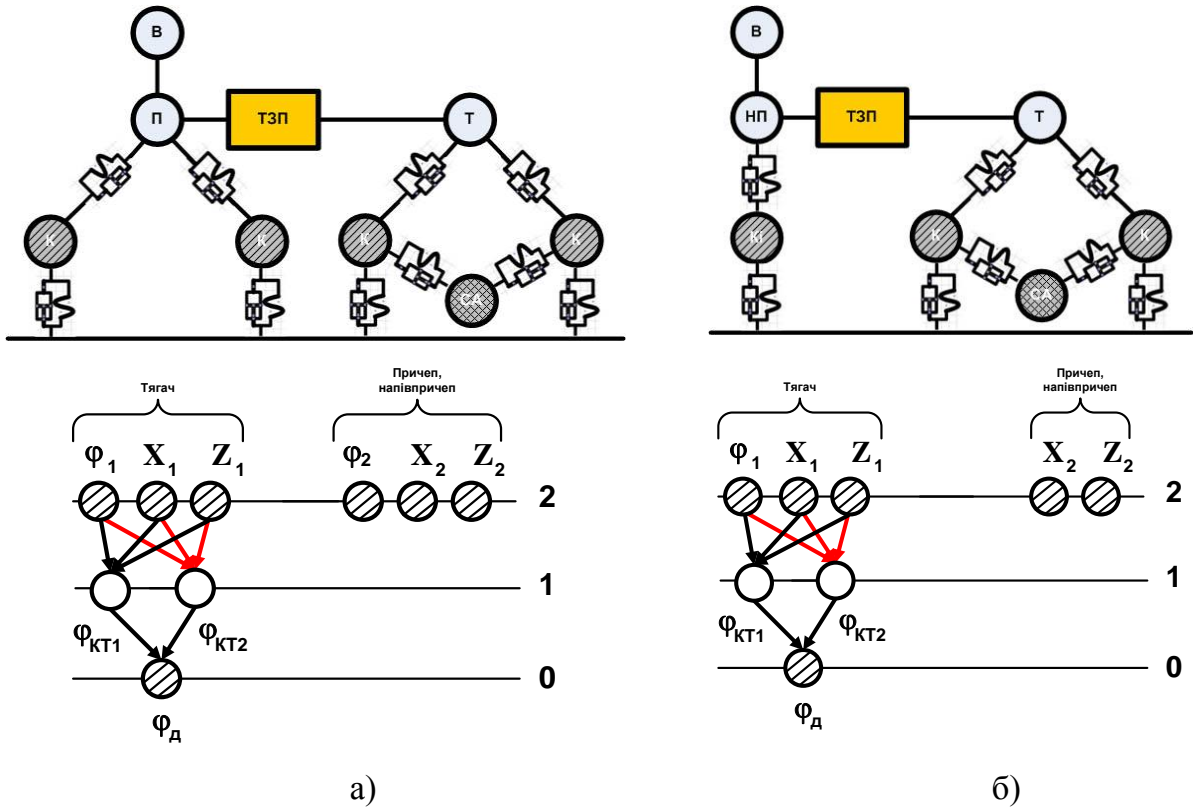


Рис. 13. Розрахункова схема компонування масо-габаритних характеристик автопоїзда (в рамках Директиви ЄС 96/53ЕС)

У четвертому розділі показано реалізацію методики створення нових зразків САТКГМ на прикладі УТМ.

Математичну модель функціонування УТМ сформуємо з урахуванням принципів модульності і секційності представлених на рис. 3. Для забезпечення технологічного процесу вважатимемо, що однієї секції САТКГМ недостатньо. Тому додаємо ще одну секцію – причеп. Наступним кроком вдосконалення нової конструкції УТМ є формування графів конструктивної схеми і структури рівнів узагальнених координат (рис. 14).

На підставі вибраної розрахункової схеми УТМ (рис.15), з урахуванням графа структури рівневих зв'язків узагальнених координат, використовуючи загальне рівняння динаміки механічної системи у формі рівняння Лагранжа II-го роду, була записана математична модель функціонування (1).







Т – тягач; П – причеп; НП – напівпричеп; СА – силовий агрегат з трансмісією;
 – пасивний жорсткий кінематичний зв'язок між елементами САТКГМ;
 – пасивний пружно-дисипативний кінематичний зв'язок між елементами САТКГМ;  – елемент, на який діє зовнішнє кінематичне збурення (від профілю дороги);  – елемент, на який діє зовнішнє силове збурення (крутний момент, що діє на колінчастий вал двигуна).

Рис. 14. Граф структури конструктивних схем ТЗ з причепом (а) і напівпричепом (б) і відповідні їм графи структури рівнів узагальнених координат математичної моделі роботи САТКГМ з ТЗП

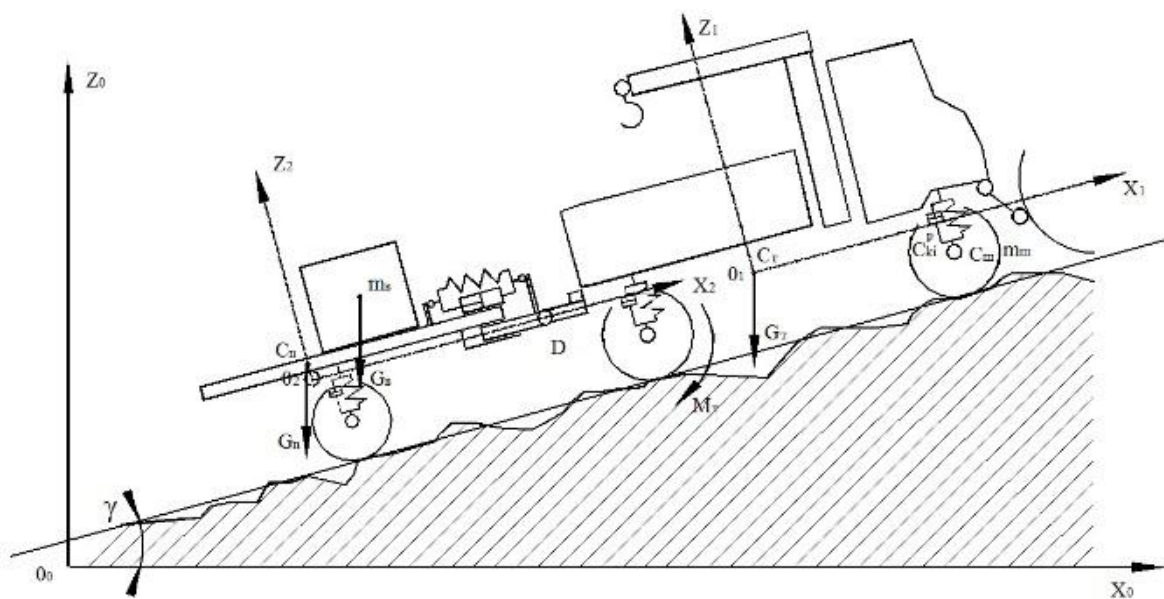


Рис. 15. Розрахункова схема УТМ з причепом

Математична модель УТМ має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & \ddot{x}_{01} \cdot M - \ddot{\varphi} \cdot M \cdot L - (\dot{\varphi})^2 \cdot M \cdot L_1 = + \sum_{j=1}^m \frac{C_{kj}^T}{R_k} \cdot \\
 & \cdot \left[\left(\varphi_j - \varphi_j^{noch} \right) - \int_{t_{noch}}^t \frac{\sqrt{(x_{OП.j})^2 + (z_{OП.j})^2}}{R_k} dt \right] - \\
 & - \sum_{j=1}^{m_1} \frac{f_{kj} \cdot C_{OП.j}}{z_{OП.j} - z_d(x_{OП.j})} \cdot \{L_{OП.j}^V - [z_{OП.j} - z_d(x_{OП.j})]\}; \\
 & \ddot{z}_{01} \cdot M + \ddot{\varphi} \cdot M \cdot L_1' - (\dot{\varphi})^2 \cdot M \cdot L_2' = -M_g + \\
 & + \sum_{j=1}^{m_1} C_{OП.j} \cdot \{L_{OП.j}^V - [z_{OП.j} - z_d(x_{OП.j})]\}; \\
 & \ddot{x}_{01} \cdot M \cdot L_2' + \ddot{z}_{01} \cdot M L_1' + \ddot{\varphi} \cdot \{M \cdot [(L_1' + L_2')^2] + L_c\} = -g \cdot M \cdot L_1' + \\
 & \sum_{j=1}^{m_1} C_{OП.j} \cdot \{L_{OП.j}^V - [z_{OП.j} - z_d(x_{OП.j})]\} \cdot L_{5j}; \\
 & I_{T_{kj}} \ddot{\varphi}_j = M_{kj} - C_{kj}^T \cdot \\
 & \cdot \left[\left(\varphi_j - \varphi_j^{noch} \right) - \int_{t_{noch}}^t \frac{\sqrt{(x_{OП.j})^2 + (z_{OП.j})^2}}{R_k} dt \right]; j = 1, \dots, m.
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

За допомогою математичної моделі можна досліджувати вплив на ефективність роботи САТКГМ: 1 – зовнішньої швидкісної характеристики двигуна, параметрів трансмісії. 2 – характеристик складових трансмісії, якості покриття та профілю дороги. 3 – вплив вагових та геометричних характеристик вантажу. 4 – пружно-демпфувальних характеристик підвіски тягача та причепа (напівпричепа). 5 – характеристик ТЗП. 6 – чинників, що впливають на паливну ошадливість.

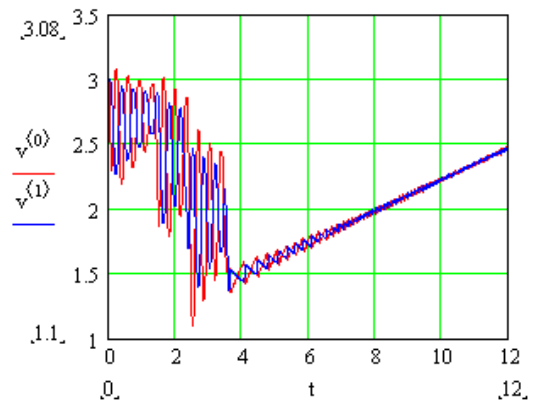
На третьому рівні порівнювалися результати натурального і комп'ютерного експериментів для автомобіля ЕМ-С320.12 «Електрон» (рис. 16,а), прийнятого як базовий для УТМ, з тракторним потягом, досліджуваним в монографії [32]. Отримані результати показали достатньо високу збіжність результатів (похибка у межах 9-18%). Деяка розбіжність результатів пояснюється принциповою різницею в природі похибок, які існують при визначенні експериментальних величин, а саме накопичення постійної і випадкової похибки вимірювальної апаратури.

Для УТМ з причепом були промодельовані режими руху по дорожньому покриттю типу «бруківка» і переїзд через одиничну перешкоду типу «сходи́нка» (рис.16,б). На основі проведених досліджень з урахуванням досліджень ТЗП, представлених в монографії [34], запропоновано інженерний розрахунок нових конструкцій ТЗП. Особливістю запропонованого інженерного розрахунку є врахування пікових динамічних навантажень при переїзді перешкоди типу «сходи́нка».

В п'ятому розділі показано реалізацію методики створення нових зразків САТКГМ на прикладі автоцистерни.



а)



б)

Рис. 16. Загальний вигляд автомобіля ЕМ-С320.12 «Електрон» з комплексом вимірювальної апаратури (а) і отримана залежність відносної швидкості ланок УТМ v , м/с від часу t , с при переїзді одиничної перешкоди типу “сходінка”

Сформувавши ознак, що описують конструктивні елементи автомобільних цистерн, і, застосувавши почленної диз'юнкції елементів трьох множин було вибрано раціональні варіанти напрямків вдосконалення конструкції автоцистерн. Розроблена двомірна модель оптимізації розподілу навантажень на осі та опорно-зчпний пристрій цистерни-напівпричепу з умов статичних та динамічних навантажень в рамках законодавчих нормативних вимог щодо гальмівних характеристик та стійкості руху автопоїзда, яка дала можливість раціонально скомпонувати основні елементи напівпричепи-автоцистерни. Розрахунок поперечної стійкості автоцистерни підтвердив правильність проведених заходів. Модель дозволяє на стадії авант-проекту і формування технічного завдання спрогнозувати навантаження на осі візка напівпричепи чи автоцистерни.

Основою для розрахунків на міцність стала методика формування-конструктивного синтезу оболонкових структур САТКГМ, створення модуль-секції з використанням методу модуль-елементів (ММЕ) в каркасних конструкціях КТЗ (запропонованого д.т.н. Горбаєм О.З.). Продовженням ідеї розбиття несівної конструкції на типові модуль-елементи: призматичний, площинний, рамний, для задач стійкості і гідропружності циліндричних оболонок несівних конструкцій САТКГМ є використання циліндричного модуль-елемента для розрахунку автоцистерн (рис. 17). Використання модуль-елементів дозволило зменшити великі об'єми початкової інформації для складної або нетипової конструкції ТЗ в методах кінцевих елементів. Трудомісткість при цьому можна зменшити в 10-15 разів.

Розроблена методологія є основою для задач стійкості несівних конструкцій ТЗ. Розглядаючи стійкість окремої частини корпусу (наприклад, автобуса чи автоцистерни), що складається з декількох секцій, можна істотно уточнити значення критичних навантажень для кожного елемента, який увійшов до складу цієї несучої системи. Це дало можливість зменшити великі об'єми початкової інформації для складної або нетипової конструкції і необхідність розв'язку систем лінійних рівнянь алгебри в методах кінцевих елементів. Трудомісткість при цьому можна зменшити в 10-15 разів.



Рис. 17. Моделювання руху рідини в автоцистерні (а) і напруження (б), що виникають в оболонці котла цистерни

ММЕ реалізований при створенні промислового зразка автоцистерни для серійного виробництва.

У шостому розділі наведено приклади дослідження динаміки САТКГМ на твердих опорних поверхнях (автодорогах). Приклади є реалізацією загальної методології для часткових випадків, коли вже є наявна інформаційна база стосовно досліджуваної проблеми.

Враховуючи реалії зростаючого розповсюдження спеціалізованих і спеціальних колісних машин (насамперед спеціальних КТЗ) у виконанні з напівприцепом чи причепом (насамперед автоцистерн, автовозів і т.п.) були проведені відповідні дослідження щодо компонування і оцінки впливу динаміки руху та геометрії розміщення колісного візка/типу підвіски таких автопоїздів на динаміку навантажень несівних конструкцій та вантажів. (В рамках реальних проектних робіт АТ “Укравтобуспром” для корпорації “Богдан”). Розрахункова схема шарнірно-зчленованої дволанкової САТКГМ з пружно закріпленими вантажами показано на рис. 18, де виділено тягач, що шарнірно з’єднаний з напівприцепом, пружно закріплені вантажі, ведучі і керовані колеса та пружні зв’язки між ними.

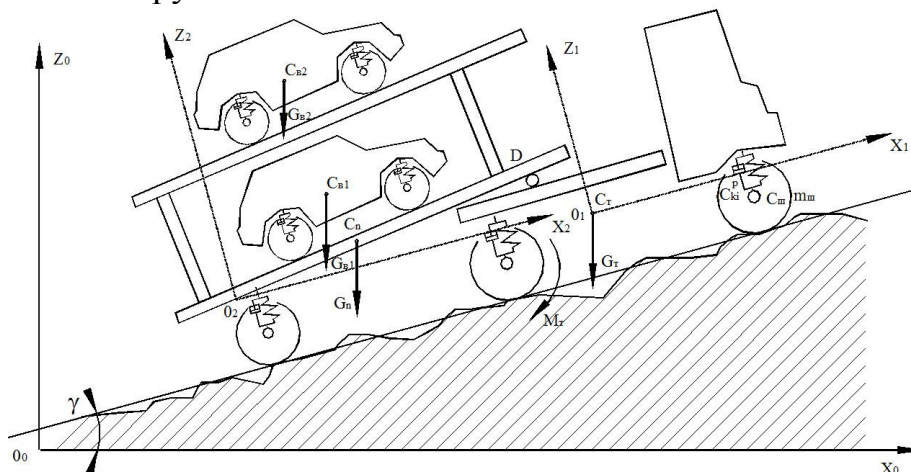


Рис. 18. Розрахункова схема дволанкової САТКГМ з пружно закріпленими вантажами

На рис. 18 позначено: $X_0O_0Z_0$ – нерухома координатна система; $X_1O_1Z_1, X_2O_2Z_2$ – рухомі координатні системи, що жорстко пов’язані з шасі тягача та рамою напівпричепу; D – центр шарніру, що зчленовує дві ланки КТМ; C_T, C_{II}, C_{ei} – центри ваги тягача, напівпричепи та i -того вантажу, $i=1,..,n$,

n – кількість вантажів, що транспортує САТКГМ; G_T, G_{II}, G_{ei} – їх сили ваги відповідно; M_T – приведений до осі ведучого колеса тягача крутний момент від двигуна САТКГМ.

Використовуючи рівняння Лагранжа II роду, побудована математична модель руху основних елементів автовоза та вантажів. Два рівняння для узагальнених координат ${}^0\ddot{X}_{01}$ і ${}^0\ddot{Z}_{01}$ з семи рівнянь системи мають вигляд:

$$\begin{aligned}
& {}^0\ddot{X}_{01}M - {}^0\ddot{\varphi}_{01} \left[m_T L_2 + m_{II} (L_4 + L_6) + \sum_{i=1}^n m_{ei} (L_4 + L_{8i}) \right] - \\
& - {}^1\ddot{\varphi}_{02} \left(m_{II} L_6 + \sum_{i=1}^n m_{ei} L_{8i} \right) - \sin({}^0\varphi_{01} + {}^1\varphi_{02}) \sum_{i=1}^n {}^2\ddot{Z}_{Ci} m_{ei} + f_1(q_k, \dot{q}_k, k=1, \dots, 4+n) = \\
& = \left\{ \sum_{j=1}^m \frac{C^{\tau}_{K.T.j}}{R_{K.T.j}} \left[(\varphi_j - \varphi^{noc_j}) - \frac{\sqrt{({}^0X_{оп.т.ж} - {}^0X^{noc}_{оп.т.ж})^2 + ({}^0Z_{оп.т.ж} - {}^0Z^{noc}_{оп.т.ж})^2}}{R_{K.T.j}} \right] \right. \\
& \left. - \text{sign}({}^0\dot{X}_{01}) f_d \left[\sum_{j=1}^{m_1} F^{пруж}_{оп.т.ж} + \sum_{j=1}^{m_2} F^{пруж}_{оп.п.ж} \right] \right\} \cos \gamma + \\
& + \left(\sum_{j=1}^{m_1} \left[F^{пруж}_{оп.т.ж} + \alpha_{оп.т.ж} \left\{ {}^0\dot{Z}_{оп.т.ж} - \frac{d[{}^0Z_d({}^0X_{оп.т.ж})]}{d({}^0X_{оп.т.ж})} \cdot {}^0\dot{X}_{оп.т.ж} \right\} \right] \right. \\
& \left. + \sum_{j=1}^{m_2} \left[F^{пруж}_{оп.п.ж} + \alpha_{оп.п.ж} \left\{ {}^0\dot{Z}_{оп.п.ж} - \frac{d[{}^0Z_d({}^0X_{оп.п.ж})]}{d({}^0X_{оп.п.ж})} \cdot {}^0\dot{X}_{оп.п.ж} \right\} \right] \right) \sin \gamma \\
& {}^0\ddot{Z}_{01}M + {}^0\ddot{\varphi}_{01} \left[m_T L_1 + m_{II} (L_3 + L_5) + \sum_{i=1}^n m_{ei} (L_3 + L_{7i}) \right] + \\
& + {}^1\ddot{\varphi}_{02} \left(m_{II} L_5 + \sum_{i=1}^n m_{ei} L_{7i} \right) + \cos({}^0\varphi_{01} + {}^1\varphi_{02}) \sum_{i=1}^n {}^2\ddot{Z}_{Ci} m_{ei} + \\
& + f_2(q_k, \dot{q}_k, k=1, \dots, 4+n) = - \left(m_T + m_{II} + \sum_{i=1}^n m_{ei} \right) g + \\
& + \left\{ \sum_{j=1}^m \frac{C^{\tau}_{K.T.j}}{R_{K.T.j}} \left[(\varphi_j - \varphi^{noc_j}) - \frac{\sqrt{({}^0X_{оп.т.ж} - {}^0X^{noc}_{оп.т.ж})^2 + ({}^0Z_{оп.т.ж} - {}^0Z^{noc}_{оп.т.ж})^2}}{R_{K.T.j}} \right] \right. \\
& \left. - \text{sign}({}^0\dot{X}_{01}) f_d \left[\sum_{j=1}^{m_1} F^{пруж}_{оп.т.ж} + \sum_{j=1}^{m_2} F^{пруж}_{оп.п.ж} \right] \right\} \sin \gamma - \\
& - \left(\sum_{j=1}^{m_1} \left[F^{пруж}_{оп.т.ж} + \alpha_{оп.т.ж} \left\{ {}^0\dot{Z}_{оп.т.ж} - \frac{\partial [{}^0Z_d({}^0X_{оп.т.ж})]}{\partial ({}^0X_{оп.т.ж})} \cdot {}^0\dot{X}_{оп.т.ж} \right\} \right] \right. \\
& \left. - \sum_{j=1}^{m_2} \left[F^{пруж}_{оп.п.ж} + \alpha_{оп.п.ж} \left\{ {}^0\dot{Z}_{оп.п.ж} - \frac{\partial [{}^0Z_d({}^0X_{оп.п.ж})]}{\partial ({}^0X_{оп.п.ж})} \cdot {}^0\dot{X}_{оп.п.ж} \right\} \right] \right) \cos \gamma
\end{aligned} \tag{2}$$

Отримана система з семи диференційних рівнянь представляє собою математичну модель динаміки руху шарнірно зчленованого дволанкового колісного ТЗ з пружно закріпленими вантажами, що складається з тягача та напівпричепа. Тягач має m_1 колісних осей, з яких i ведучих. Напівпричеп має

m_2 осей, він завантажений n вантажами, які закріплені до нього пружно з демпфуючими елементами.

Математичне моделювання руху дволанкового навантаженого автовоза проводилося у середовищі системи MATLAB 7.0.1 з допомогою чисельних методів інтегрування. Моделювання виконувалося, як приклад, для навантаженого автовоза (8 автомобілів з масами 1100кг), який рухається із середньою експлуатаційною швидкістю $V=6$ км/год під час наїзду на перешкоду з $q_0 = 0.1$ м.

Коливання підресорених мас напівпричепа автовозу (рис. 19,а) відбуваються по гармонічному закону, і через 1,5 секунди система здійснює коливні рухи, симетричні відносно положення рівноваги.

Швидкості переміщення точок підресорених мас у зоні задньої осі напівпричепа (рис. 19,б) є експоненціально затухаючими синусоїдами. У випадку врахування пружного кріплення автомобілів в результаті зменшується частота та амплітуда коливань, причому значення останнього параметра зменшується в три рази.

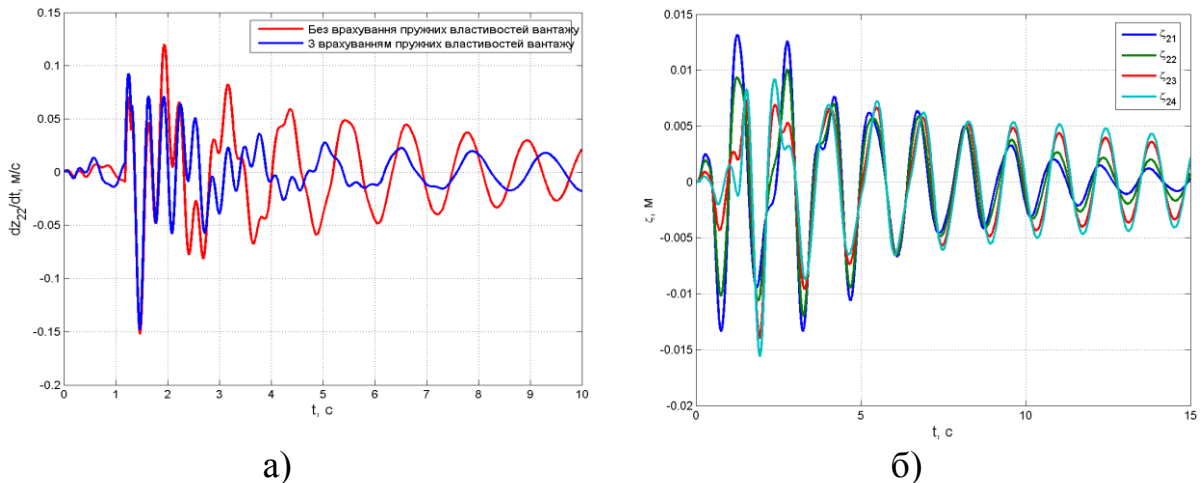


Рис. 19. Швидкості вертикальних переміщень підресорених мас над задньою віссю напівпричепа автовоза в часі (а) і коливання автомобілів на вантажній платформі напівпричепа автовоза при переїзді поодинокій перешкоди (б)

Переміщення вантажів на платформі здійснюється за затухаючими синусоїдами. Максимальна амплітуда коливань становить 0,016м для автомобіля, який розміщений на нижній вантажній платформі на задньому звісі напівпричепа, і є меншою, ніж хід підвіски середньостатистичного легкового автомобіля. Найменше зміщення від положення рівноваги отримує автомобіль, що знаходиться на нижній вантажній платформі перед мостом напівпричепа, і яке становить 0,007м. Це свідчить про зменшення ризиків пошкодження вантажів при транспортуванні, а також дає можливість зменшувати зазор до допустимого рівня між дахом автомобіля і верхньою платформою для пониження центру мас автопоїзда. Аналіз показує, що як і для підресорених вантажів, на плавність руху цілої системи головним чином впливають власні частоти коливань. Чим нижчі власні частоти коливань, тим вищою є плавність руху. Оптимальні умови плавності руху отримуються в тому випадку, коли

частоти власних коливань є близькими та незначними по величині. Ці умови високої плавності руху являються загальними як для легкових, так і для вантажних автомобілів, що експлуатуються по дорогах з різними рипами покриття.

На відміну від КТЗ загального призначення для САТКГМ характерним є перевезення так званих активних вантажів, що характеризуються власними переміщеннями (під впливом інерційних сил при неусталених режимах руху або примусових – обертальних від окремого приводу) – як от цистерн чи автобетонозмішувачів. У динамічну еквівалентну схему автобетонозмішувача додатково введена каретка з можливістю певного поздовжнього переміщення змішувального барабану (природно і з стандартним варіантом жорсткої фіксації до рами шасі). Коливання напіврідкої бетонної суміші описується рухом маси, підвішеної на жорсткій основі в центрі змішувального барабану (рис. 20).

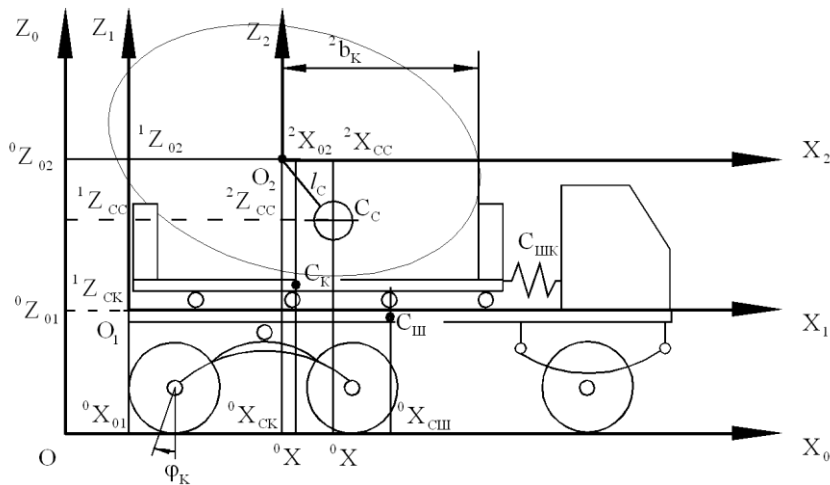


Рис. 20. Розрахункова схема автобетонозмішувача

Обрано три координатні системи: $X_0O_0Z_0$ – нерухома і лежить у вертикальній площині, вісь O_0Z_0 направлена протилежно до сили тяжіння, вісь O_0X_0 – горизонтальна і направлена в сторону руху автобетонозмішувача; $X_1O_1Z_1$ – жорстко пов'язана з шасі автобетонозмішувача, та лежить в площині $X_0O_0Z_0$; $X_2O_2Z_2$ – жорстко пов'язана з кареткою, на якій знаходиться змішувальний барабан та лежить в площині $X_0O_0Z_0$.

Математична модель руху елементів автобетонозмішувача має вигляд:

$$\begin{cases} m_w \ddot{X}_{01} + (m_k + m_c) (\ddot{X}_{01} + \ddot{X}_{02}) + m_c [{}^2\ddot{\varphi}_c l_c \cos({}^2\varphi_c) - ({}^2\dot{\varphi}_c)^2 l_c \sin({}^2\varphi_c)] = Q_1 \\ (m_k + m_c) (\ddot{X}_{01} + \ddot{X}_{02}) + m_c [{}^2\ddot{\varphi}_c l_c \cos({}^2\varphi_c) - ({}^2\dot{\varphi}_c)^2 l_c \sin({}^2\varphi_c)] = Q_2 \\ m_c \{ (\ddot{X}_{01} + \ddot{X}_{02}) l_c \cos({}^2\varphi_c) + {}^2\ddot{\varphi}_c l_c^2 \} = Q_3 \\ I_k \ddot{\varphi}_k = Q_4 \end{cases} \quad (3)$$

Математичне моделювання проводилося на прикладі автобетонозмішувача АБС-9 на шасі МАЗ 5516А5 за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MathCAD 11.0. Розв'язок системи диференціальних рівнянь отримано стандартними методами із адаптивним вибором кроку (вбудована функція Vulstoer).

Досліджувався режим рухання автобетонозмішувача і його прямолінійний

рух по дорозі. В дослідженнях автобетонозмішувача приймався закон зміни приведенного до осей тягових коліс моменту $M_k \left(\frac{d\varphi_k}{dt} \right)$ двигуна автомобіля в залежності від зміни кутової швидкості $\frac{d\varphi_k}{dt}$ коліс. Зміна пришвидшення шасі та вантажів на ділянці розгону у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана (рис.21,а) в порівнянні варіантом з поздовжньою податливістю (рис.21,б) має більшу амплітуду коливань і довший час затухання.

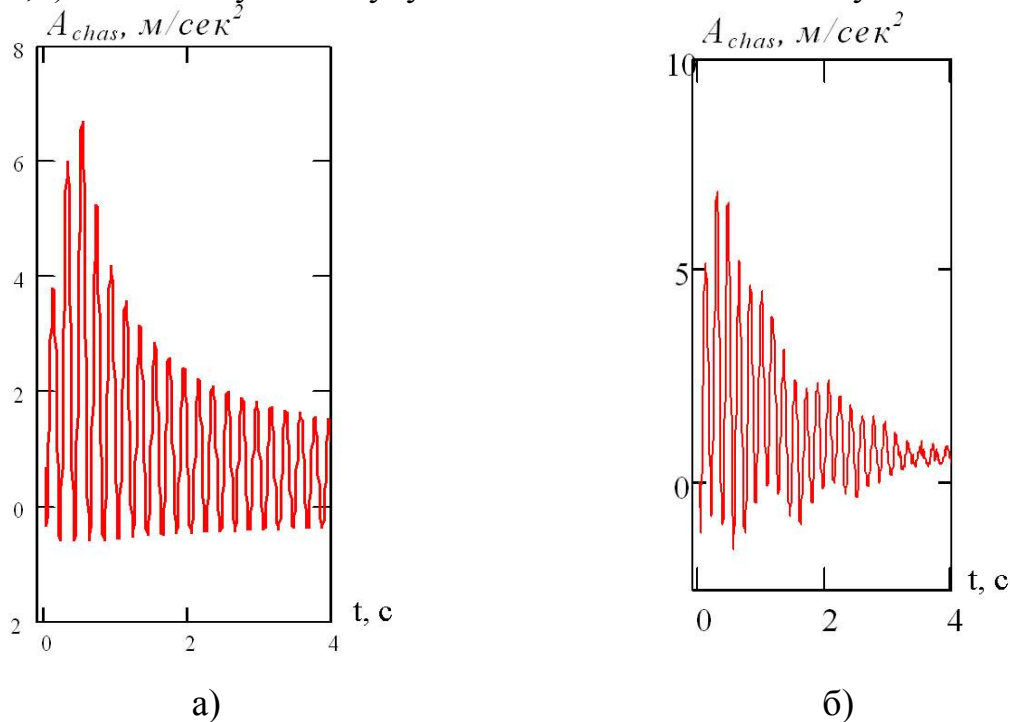


Рис. 21. Зміна пришвидшення шасі та вантажу на ділянці розгону у випадку жорсткого закріплення змішувального барабана (а) і з поздовжньою податливістю (б)

За критерії оцінки ефективності роботи автобетонозмішувача вибрані такі основні показники: робота, яку виконує двигун за час руху; максимальна та середня швидкості, які досягає автомобіль при русі по тестувальній ділянці дороги при заданій характеристиці $M_k \left(\frac{d\varphi_k}{dt} \right)$ тягового двигуна; середній крутний момент $M_{k\text{сер}}$ двигуна, що приведений до осей ведучих коліс та його середня потужність N_d ; пройдений автомобілем шлях; пікові значення зусиль, що діють в пружних елементах між ведучими колесами-шасі, шасі-кареткою, кареткою-змішувальним барабаном; пікові значення пришвидшень шасі, каретки із змішувальним барабаном.

На середню потужність та крутний момент двигуна впливає лише значення коефіцієнта опору кочення (α_d). Піки зусиль з боку ведучих коліс на шасі автобетонозмішувача в порівнянні зі базовою схемою зменшуються до 9% в залежності від значень коефіцієнтів опору $\alpha_d, \alpha_{ш}, \alpha_k$. Використання каретки дозволило зменшити негативний вплив напіврідкої бетонної суміші. Пікові зусилля на елементи шасі зменшилися на 10%. Пікові значення пришвидшень шасі зменшилися в порівнянні з базовим зразком на 8%.

Сьомий розділі присв'ячено дослідженню динаміки САТКГМ на опорних поверхнях, що деформуються і є характерними для умов роботи САТКГМ.

Проведено аналіз умов і режимів руху/роботи САТКГМ на бездоріжжі, наведено формалізований запис профілю характерних важкопрохідних ділянок доріг, які можна охарактеризувати схематично у вигляді нечисельного набору елементів вже у формалізованому вигляді.

Враховуючи актуальність окремо досліджувався режим роботи підйомно-транспортного обладнання гусеничної броньованої ремонтно-евакуаційної машини (БРЕМ) при залипанні вантажу в ґрунті чи витягуванні загрузлої техніки.

Методика моделювання механічної підсистеми крана основана на використанні методу однорідних координат і побудові системи рівнянь руху у формі рівнянь Лагранжа II роду та є ідентичною і для автокранів (за винятком формування навантажень несівної основи\рами відповідно з колісними чи гусеничними рушіями).

Механічну підсистему крана представляємо у вигляді ланок, якими є стріла, тросова підвіска з обіймою гака і вантажем (рис. 22).

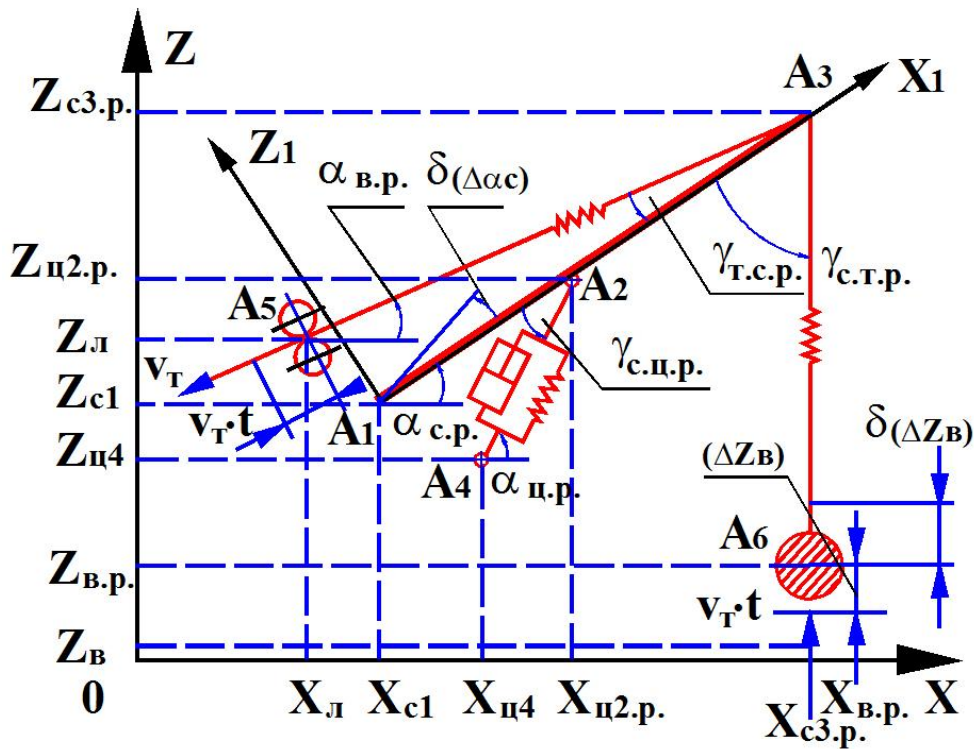


Рис. 22. Розрахункова схема СВК БРЕМ «Атлет»

За узагальнені координати приймаються: кут $\Delta\alpha_c$ відхилення осі стріли від її встановленого гідроциліндром (ГЦ) положення – від установчого кута α_c та вертикальне переміщення Δz_B вантажу, яке обумовлене лише пружними деформаціями розтягу ділянок троса ($\Delta z_B \leq 0$) або їх прослабленням ($\Delta z_B \geq 0$).

Компоненти лівих частин рівняння Лагранжа другого роду мають вигляд:

$$\frac{\partial T_\Sigma}{\partial(\Delta\alpha_c)}=0 ; \quad \frac{\partial T_\Sigma}{\partial(\Delta z_B)}=0 ; \quad \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial T_\Sigma}{\partial \left[\frac{d}{dt}(\Delta\alpha_c) \right]} \right\} = \frac{d}{dt} [J_c \cdot \frac{d}{dt}(\Delta\alpha_c)] = J_c \cdot \frac{d^2}{dt^2}(\Delta\alpha_c) \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial \left[\frac{d}{dt}(\Delta z_B) \right]} \right\} = \frac{d}{dt} \left\{ m_B \cdot \left[v_T + \frac{d}{dt}(\Delta z_B) \right] \right\} = m_B \cdot \frac{d^2}{dt^2}(\Delta z_B) \quad (5)$$

На можливій зміні $\delta(\Delta \alpha_C)$ узагальненої координати $\Delta \alpha_C$ виконують роботу $\delta A_{\delta(\Delta \alpha_C)}$ сили: $P_{T.P.}$ – сила натягу вільних ділянок троса; $P_{Ц.Р.}$ – сила з боку штока ГЦ; G_C – вага стріли крана.

На можливій зміні $\delta(\Delta z_B)$ узагальненої координати Δz_B виконують роботу $\delta A_{\delta(\Delta z_B)}$ сили: $P_{T.P.}$ – сила натягу вільних ділянок троса; G_B – вага вантажу. Узагальнені сили $Q_{\Delta \alpha_C}, Q_{\Delta z_B}$, які відповідають узагальненим координатам $\Delta \alpha_C, \Delta z_B$ дорівнюють:

$$Q_{\Delta \alpha_C} = \frac{\delta A_{\delta(\Delta \alpha_C)}}{\delta(\Delta \alpha_C)} = P_{T.P.} \cdot (\sin \gamma_{T.C.P.} - \sin \gamma_{C.T.P.}) \cdot L_C + P_{Ц.} \cdot \sin \gamma_{C.Ц.P.} \cdot l_C - G_C \cdot \cos \alpha_{C.P.} \cdot \frac{L_C}{2}; \quad (6)$$

$$Q_{\Delta z_B} = \frac{\delta A_{\delta(\Delta z_B)}}{\delta(\Delta z_B)} = P_{T.P.} - G_B; \quad (7)$$

де $P_{T.P.} = \begin{cases} 0 & \text{коли } \Delta z_B \geq 0; \\ c_{T.P.} \cdot \Delta z_B \leq 0; \end{cases}$; $c_{T.P.} = \frac{c_{T.Поз.}}{L_{A5.A3.A6.P.}}$ – поточне значення коефіцієнта

сумарної жорсткості вільних пружних ділянок троса поточної довжини; $L_{A5.A3.A6.P.}$ – поточне значення сумарної довжини вільних ділянок троса.

$P_{Ц.Р.} = F_{Ц.Пруж.} - F_{Ц.Он.Вяз.} - F_{Ц.Он.Сух.}$; $F_{Ц.Пруж.}$ – сила пружних деформацій рідини ГЦ;

$F_{Ц.Он.Вяз.} = h_{Ц.} \cdot \frac{d}{dt}(\Delta l_{Ц.})$ – сила в'язкого тертя між поршнем та внутрішньою стінкою

ГЦ; $h_{Ц.}$ – коефіцієнт в'язкого тертя; $F_{Ц.Он.Сух.} = (F_{Ц.Он.Сух.}^0 + k_{Ц.Ш.} \cdot p_{Ц.Ш.}) \cdot \text{sign} \left[\frac{d}{dt}(\Delta l_{Ц.}) \right]$ –

сила сухого тертя пружного ущільнення штоку поршня ГЦ; $F_{Ц.Он.Сух.}^0$ – сила сухого тертя при відсутності тиску в штоковій порожнині ГЦ; $k_{Ц.Ш.}$ – коефіцієнт пропорційності між тиском штокової порожнини та силою сухого опору в ущільненні; $p_{Ц.Ш.}$ – тиск в ній.

Об'єднуючи ліві частини (4), (5) рівняння Лагранжа другого роду з відповідними правими частинами (6), (7), отримаємо математичну модель руху стріли крана БРЕМ.

Методика моделювання підсистеми гідроприводу основана на розбитті схеми гідроприводу на функціональні елементи. До цих елементів відносяться: гідронасос, гідроциліндр, гідролінії низького та високого тисків.

Для прикладу промодельовано динамічні процеси на початку операції підйому з підхопленням стрілою гідрокрана вантажа із «залипанням» до опорної поверхні (рис. 23).

$$\text{Динамічне перевантаження ланок гідрокрана: } k_{\text{динперев}} = \frac{F_{\text{пружн}}}{G_6} = \frac{2920.93}{2452.5} = 1.19.$$

При підйомі вантажу можна зробити висновок, що динамічні зусилля при підйомі загрузлого вантажу в порівнянні з підйомом з жорсткої опори приводить до перевантаження ланок гідрокрана на 19%. Отримані результати стали основою для вхідних даних при проведенні кінцевоелементного

розрахунку елементів стріли БРЕМ.

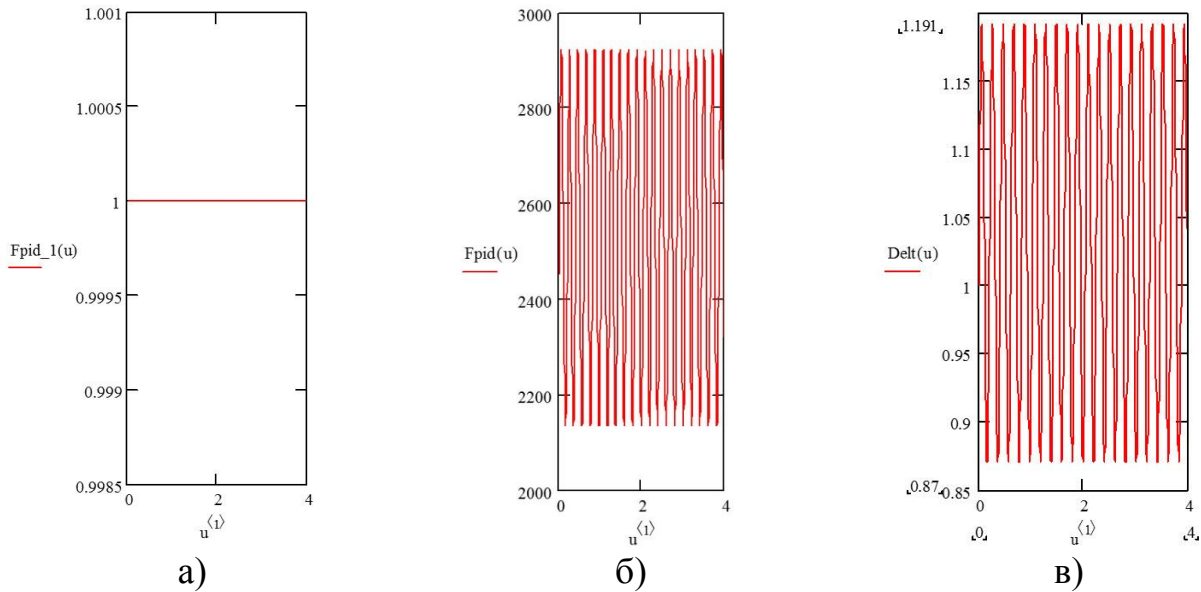


Рис. 23. Моменти в часі $t = u^{(1)}$ роботи $Fpid_1(u) = 1$ при прослабленні $Fpid_1(u) = 0$ підвісу (а); пружні сили $Fpid(u)H$, які діють у ньому (б), та зміна коефіцієнта $k_{дин.перев} = Delt(u)$ динамічного перевантаження ланок гідрокрана (в) з моменту підхоплення вантажу із «залипанням» до опорної поверхні

За результатами досліджень на міцність (рис. 24) встановлено, що максимальні напруження виникають при основі стріли і складають близько 57 МПа; максимально можливі переміщення стріли – 0,3 мм; мінімальний коефіцієнт запасу міцності елементів стінок стріли – не нижче 5.

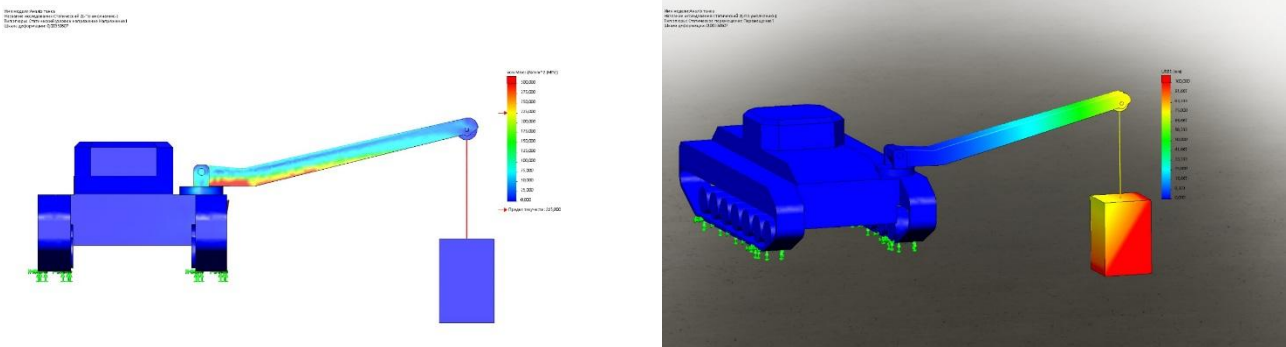
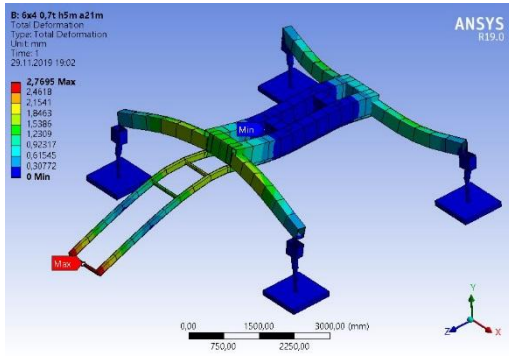


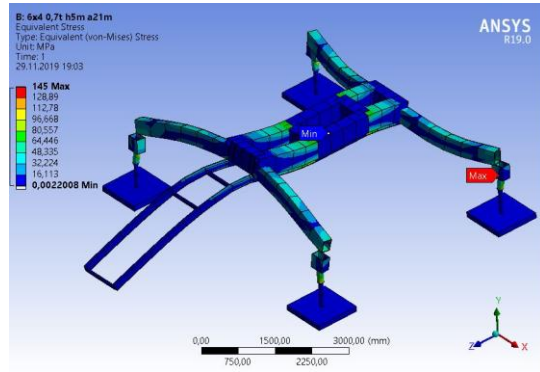
Рис. 24. Напружений стан стріли при режимі максимальної відстані опускання вантажу підйомі вантажу

В процесі роботи стрілового крана навантаження на ґрунт передаються через гідроциліндри виносних опор, отже, стан ґрунту під опорою визначає положення в просторі площини опорного контуру. Це говорить про те, що кут нахилу крана в процесі роботи буде залежати не тільки від пружності виносних опор, а й від коефіцієнта жорсткості ґрунту під опорою.

Для досліджень була створена стрижнева розрахункова модель, що складається з рами із двох лонжеронів та семи поперечин, спрощену модель опорної рами із виносними опорами, що містять гідроциліндри вивішування автокрана. Визначалися епюри повної деформації; еквівалентних напружень (рис. 25).



а)

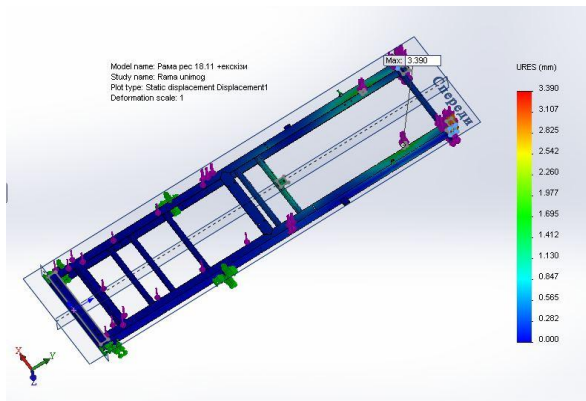


б)

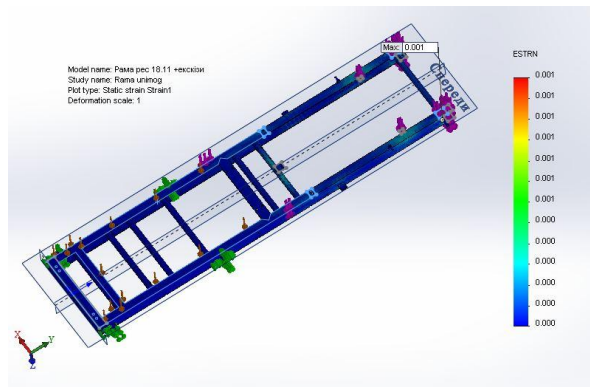
Рис. 25. Епюра параметрів рами при: $m = 0,7$ т, $h = 5$ м, $a = 21$ м для:
а) повної деформації; б) еквівалентних напружень

Як видно із епюр, максимальна повна деформація складає 2,77 мм, максимальне еквівалентне напруження – 145 МПа, а запас міцності – 1,72.

На відміну від КТЗ загального призначення окремого дослідження та оцінки заслуговують навантажувальні режими рами під час роботи технологічного обладнання, насамперед дорожно-будівельної і комунальної техніки, де зафіксовано суттєво вищі пікові навантаження у порівнянні з рухом по бездоріжжю (типово для автокранів). Як один з прикладів такого дослідження розглянуто навантаженість рами УТМ, зокрема у процесі забору та наповнення ковша сипким вантажем. В програмному середовищі SolidWorks створена 3D-версія рами машини та проведено розрахунок навантажень на раму при передньому встановленні навісного обладнання. Переміщення (деформації) та напруження, що виникають в рамі, представлені на рис. 26.



а)



б)

Рис. 26. Переміщення (а) і напруження (б), що виникають в рамі УТМ при роботі встановленого ковша

Після розрахунку можна зробити висновок, що максимальні напруження що виникають в рамі складають 323,9 МН/м, максимальні переміщення складають 3,39 мм, а максимальні деформації 0,001 м, згідно з отриманим коефіцієнтом запасу міцності 2,04 спроектована рама витримає навантаження основного навісного обладнання та робочого, прикладеного до передньої частини рами автомобіля. Такий самий розрахунок проводився також і для встановленого робочого обладнання в середній та задній частині рами

автомобіля, де отримано максимальні напруження 252,2 МН/м та 252,57 МН/м, максимальні переміщення 3,68 мм та 3,65 мм, деформації в обох випадках 0,001 м, коефіцієнти запасу міцності 2,62 та 2,18, що забезпечить необхідний заданий термін експлуатації.

Для сміттевозів з електричним приводом, зокрема досліджуються питання забезпечення міцності несівної конструкції шасі електросміттевоза з послідуною її оптимізацією. Рама шасі перевіряється на згин, на кручення при вивантаженому лівому передньому колесі, на кручення при вивантаженому правому задньому колесі. Результатами розрахунків є епюр повної деформації, еквівалентних напружень та запасу міцності. За результатами розрахунків проведено оптимізацію конструкції рами шасі (рис. 27).

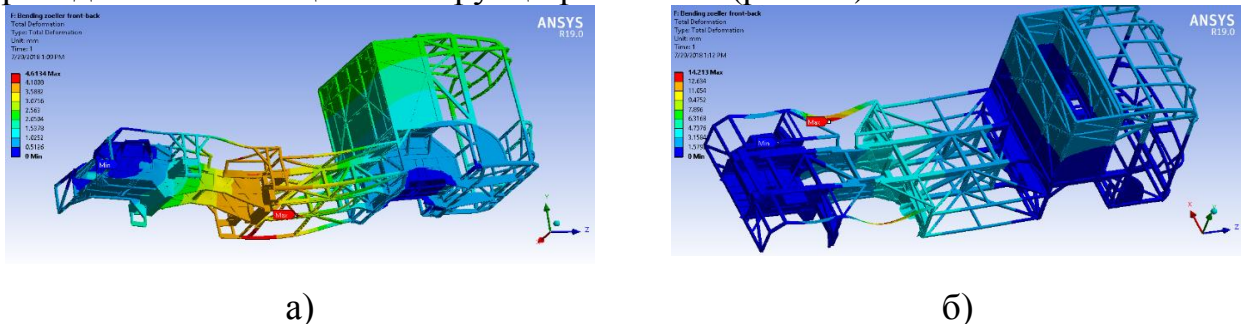


Рис. 27. Дослідження рами сміттевоза на жорсткість (показано напруження в елементах рами на згин до (а) і після оптимізації (б))

Отримані результати можна розглядати як практичну реалізацію інженерного підходу, що дозволив на ранніх стадіях проектування нових і модернізації існуючих виробів прогнозувати і формувати ресурс відповідальних елементів ходових і несучих систем транспортних засобів. Результати розробленої методики впроваджені у ПАТ “ДЗАК” (м. Дрогобич) та ВАТ „Укравтобуспром” (м.Львів), ДП "АЗ №1" АТ "АК "Богдан Моторс" (м.Луцьк), ТЗОВ Банке електромотів ЮЕй (м.Луцьк), ВАТ «СтрийАвто» (м.Стрий), що підтверджено відповідними актами.

На основі проведених досліджень нової конструкції гусеничного рушія запропоновано інженерний розрахунок, особливістю якого є врахування додаткової податливості в гусеничному рушії та його приводі.

ВИСНОВКИ

У дисертації теоретично узагальнено і показано розвиток наукових основ актуальної науково-технічної проблеми узагальнення інженерного досвіду проектування та подальшої розробки теорії і методологічних принципів проектування САТКГМ з урахуванням взаємодії характеристик навісного технологічного обладнання та умов роботи САТКГМ, врахування при цьому вимог ДСТУ та Правил ЄЕК ООН, системному аналізі методів проектування та конструкцій САТКГМ, використання прогнозування (предиктивності) їх параметрів та характеристик з застосуванням морфологічного середовища і методу почленної диз'юнкції, графів конструктивних схем машин, що склало основу визначення закономірностей, розробки математичних моделей, методів і алгоритмів створення на стадії синтезу сімейства максимально уніфікованих шасі машин, з врахованим широким набором властивостей, формування

колісних схем та масо-габаритних характеристик САТКГМ і дозволило проектувати оптимальні САТКГМ для відповідних умов експлуатації.

Основні наукові і практичні результати досліджень.

1. Запропонований принцип прогнозованості (предиктивність) формування конструктивної схеми шасі САТКГМ з технологічним обладнанням в морфологічному середовищі методом почленної диз'юнкції дозволив зменшити кількість варіантів проєктованих конструкцій і при цьому враховувати широкий набір властивостей шасі САТКГМ.

2. Запропоновано використовувати метод почленної диз'юнкції на стадії синтезу якісних характеристик САТКГМ, що дало можливість враховувати широкий набір властивостей при проєктуванні конструктивних схем шасі.

3. Розроблено практичні підходи формування колісних схем та масо-габаритних характеристик сімейств 2-, 3-, та 4-вісних великотонажних САТКГМ для різних сфер використання з дотриманням вимог законодавчої нормативної бази України у сфері КТЗ загального призначення.

4. На основі узагальнення конструкцій різнорідних машин за допомогою графів конструктивних схем було виявлено подібність конструкцій таких машин, що дозволило запропонувати конструкцію узагальненої технологічної машини, для якої, з урахуванням структури зв'язків узагальнених координат рівняння Лагранжа II-го роду, була записана уніфікована математична модель роботи, зручна для конкретних завдань моделювання роботи САТКГМ.

5. Використавши принципи секційності та модульності конструкцій, з урахуванням графів конструктивних схем машин, розроблено теоретичні засади диверсифікації сфер використання спеціальних шасі (на прикладі ТУР ВХ181-ВХ371) на інші потенційні сфери використання, зокрема машин для ремонту і будівництва доріг, пожежної техніки, та ін.

6. Метод модуль-елементів в каркасних конструкціях КТЗ і САТКГМ у практичній проєктній розробці на прикладі автоцистерн-напівпричепів дозволив отримати рішення задачі про стійкість складної просторової пластинчато-стержневої (оболонкової) конструкції, в якій можлива реалізація як форм місцевої втрати стійкості (окремих пластин і ребер жорсткості), так і форм втрати стійкості на рівні перекриттів, відсіків і конструкції в цілому. Запропонована ідея формування матриць стійкості округлого модуль-елемента, задання гідропружності рамних конструкцій САТКГМ, що дало можливість також зменшити великі об'єми початкової інформації для складних або нетипових конструкцій і, відповідно, кількість ітерацій розв'язку систем лінійних рівнянь алгебри в МСЕ. Трудомісткість при цьому можна зменшити в 10-15 разів.

7. Розроблено математичну модель з комп'ютерним моделюванням динамічних навантажень на раму та висувні опори при роботі вантажо-підіймального обладнання – кранів, з реалізацією на прикладі бойової ремонтно-евакуаційної машини БРЕМ "Атлет" (як найбільш складного варіанту з додатковим опором підйому вантажу – защемленням ґрунтом, що спричинює, як показали дослідження, зростання додаткових пікових навантажень до 19%). Це дозволяє суттєво відкоректувати граничні умови розрахунку методом МСЕ рам/основ САТКГМ, що суттєво (у 1,5-1,8 рази) відрізняються від

загальноприйнятої методики розрахунку на рівномірність рам КТЗ загального призначення (N_2 , N_3), та уникнути характерних для кранів на САТКГМ тріщин рам після певного терміну експлуатації.

Аналогічно для комунальних і дорожньо-будівельних САТКГМ опрацьовано математичну модель та комп'ютерне моделювання динаміки навантажень технологічного обладнання – рам шасі при заборі ґрунту ковшом УТМ. Пікові навантаження під час забору ґрунту, як показали дослідження, зростають у 2,2-2,7 рази, що вирішальним чином змінює і початкові граничні умови конструктивного синтезу рам шасі цих машин у порівнянні з рамами шасі вантажних автомобілів.

Опрацьовано теоретичні засади і проведені дослідження впливу динаміки роботи навісного обладнання в процесі руху автомобіля (на прикладі автобетонозмішувача-міксера) на шасі/раму САТКГМ, що дозволило констатувати відповідне збільшення пікових (з умов динаміки руху) навантажень на раму та опрацьовано конструктивні пропозиції щодо конструкції забудови навісного обладнання з обертовим барабаном, що заповнений напіввідкобетонною сумішшю, та забезпечують зменшення відповідних пікових навантажень на раму на 10% (поздовжніх піків прискорення – біля 8%).

8. Враховуючи практику використання САТКГМ у виді автопоїзда, з причепом чи напівприцепом, опрацьовано математичні моделі та проведено комп'ютерні і натурні дослідження впливу зазорів у механізмі зчіпки на динаміку навантажень і амплітуду поздовжніх коливань автопоїзда, отримано практичні рекомендації, що підтверджені експериментально, щодо зменшення відповідних пікових навантажень біля 15-18%.

При дослідженні динаміки руху дволанкового автовоза було встановлено, що характер переміщення вантажів, як на верхній, так і на нижній вантажній платформі автовоза при переїзді порогових перешкод відповідає затухаючим синусоїдам. Максимальна амплітуда коливань становить 0,016м для автомобіля, який розміщений на нижній вантажній платформі на задньому звісі напівпричепа, і є меншою, ніж хід підвіски середньостатистичного легкового автомобіля. Найменше зміщення від положення рівноваги отримує автомобіль, що знаходиться на нижній вантажній платформі перед віссю напівпричепа, і яке становить 0,007м. Використовуючи розроблені методики щодо компоновки САТКГМ – раціональне розміщення візка напівпричепа, коливання вдалося зменшити на 6-8%.

Розроблені рекомендації щодо покращання експлуатаційних властивостей САТКГМ використано в процесі проектування зразків САТКГМ та шляхом розроблення відповідних методів, моделей і алгоритмів формування їх шасі, що дозволяє підвищити технічний рівень САТКГМ. Результати дисертації впроваджені у ПАТ "ДЗАК" (м.Дрогобич), ТзОВ Банке електромоторів Юей (м.Львів), ДП "Автоскладальний завод №1" АТ "АК "Богдан Моторс" (м.Луцьк), ТДВ "Стрий Авто" (м.Стрий) і застосовуються у навчальному процесі та НДР в НУ "Львівська політехніка". В перспективі розвиток співпраці з заводами комунального машинобудування (м.Турбів, м.Кременчук), пожежної техніки (м.Лубни), цистерн (м.Арциз Одеської обл.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Черевко Ю.М., Зінько Р.В., Вікович І.А. Методика чисельного моделювання функціонування транспортних машин з накопичувально пружньо-демпфуючими елементами. *Автошляховик України*. 2007. №3. С. 22-23.
2. Зінько Р.В., Маковейчук О.М., Круць Т.І. Дослідження роботи зчіпного пристрою дволанкового автопотяга при русі по поверхні складного профілю. *Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць*. 2007. Вип. 17.8. С. 96-102.
3. Лозовий І.С., Зінько Р.В. Результати досліджень вібронавантаженості спеціальних транспортувальних засобів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18.9. С. 121-125.
4. Черевко Ю.М., Королевич Л.М., Зінько Р.В. Експериментальне дослідження характеристик автомобіля з пружно-демпфуючою системою. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2008. №4. С. 56-64.
5. Черевко Ю.М., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Використання графів структури зв'язків для аналізу механічних систем з пружно зчленованими елементами. *Автошляховик України*. 2009. №4. С. 12-15.
6. Лаврівський М.З., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Формування спеціалізованого контейнера для пожежного автомобіля модульної компоновки. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2009. № 2. С. 141-147.
7. Зінько Р.В. Розробка методів побудови замкненого комплексу енергоощадливих машин для сільського господарства. *Вісник Львівського національного аграрного університету (агроінженерні дослідження)*. 2009. №13. С. 376-379.
8. Бойко О.Д., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Методика експериментального дослідження автомобіля з спеціальними шинами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип.20.1. С. 107-112.
9. Бойко О.Д., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Математична модель руху колісного транспортного засобу з багатосекційними камерами шин. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.5. С. 311-316.
10. Кузьо І.В., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Застосування графів при дослідженні функціонування транспортних засобів з пружно зчленованими елементами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.12. С. 111-116.
11. Зінько Р.В., Лозовий І.С. Моделювання роботи трансмісії гусеничної машини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.13. С. 302-307.
12. Кузьо І.В., Зінько Р.В. Методи створення комплексу енергоощадливих машин. *Український міжвідомчий НТЗ «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні»*. 2010. №44. С. 86-90.
13. Кузьо І.В., Житенко О.В., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Математична модель динаміки руху шарнірно зчленованого дволанкового автовоза. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.3. С. 333-340.
14. Зінько Р.В. Методика використання графів при дослідженні роботи машини з гусеничним рушієм. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип.21.13. С. 117-122.

15. Зінько Р.В., Сулоєва Є.В. Мобільні роботи в системі пожежної охорони. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.17. С. 132-138.
16. Зінько Р.В., Сулоєва Є.В. Економічна ефективність пожежної охорони при використанні мобільних роботів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 22.10. С. 320-329.
17. Кузьо І.В., Житенко О.В., Зінько Р.В. Дослідження динаміки руху дволанкового автовоза. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*. 2011, № 701. С. 51-54.
18. Зінько Р.В. Формування множини критеріїв роботи машин. *Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні»*. 2011. №45. С. 55-62.
19. Шаров Б.Г., Маковейчук О.М., Зінько Р.В. Мобільний охоронний робот із системою технічного зору. *Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів*. 2011. №19. С. 285-290.
20. Зінько Р.В. Використання графів при дослідженні роботи розчленованих транспортних засобів. *Наукові нотатки*. 2012. Вип. 37. С. 109-119.
21. Кузьо І.В., Зінько Р.В. Моделювання руху розчленованих транспортних засобів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2012. №2. С. 42-49.
22. Кузьо І.В., Зінько Р.В. Аналіз напрямків дослідження зчипних пристроїв розчленованих транспортних засобів. *Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»*. 2012. Вип. 134. С. 238-241.
23. Кузьо І.В., Зінько Р.В. Використання морфологічного середовища для синтезу конструкцій машин. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія: машинобудування. 2014. Вип. 72. С. 90-96.
24. Зінько Р.В. Моделювання функціонування дволанкового автопотяга в умовах сільського господарства. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.4. С.151-157.
25. Зінько Р.В., Ванкевич П.І., Іваник Є.Г. Методологічні аспекти побудови моделей роботи різнотипної військової техніки на основі подібності графів їх конструкцій. *Озброєння та військова техніка*. 2017. № 1. С. 82-89.
26. Горбай О.З., Зінько Р.В., Керницький І.С. Просторові секційні модулі колісних транспортних засобів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*. 2017. № 866. С. 18-25.
27. Зінько Р.В. Моделювання роботи різнорідних машин на основі подібності графів їх конструкцій. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. С. 242-245.
28. Крайник Ю.Л., Зінько Р.В., Глобчак М.В., Скварок Ю.Ю. Методичні основи оптимізації розміщення колісного візка цистерни-напівпричепа. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С. 144-147.
29. Зінько Р.В., Крайник Л.В., Горбай О.З., Поляков А.П. Роботизовані мобільні платформи для вибухонебезпечних предметів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1. С. 52-62.
30. Зінько Р.В., Казан П.І., Черевко Ю.М., Білик О.С. Оцінка ефективності

дій мобільних бойових робіт методами теорії масового обслуговування. *Військово-технічний збірник*. 2020. Вип. 22. С. 37-43 с.

31. Горбай О. З., Зінько Р. В., Крайник Л. В., Поляков А. П. Дослідження напружень в рамі сміттєвоза з заднім завантаженням компактора. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1. С. 50-55.

32. Зінько Р.В. Морфологічне середовище для дослідження технічних систем: монографія. Львів: *Вид-во Львівської політехніки*, 2014. 386 с.

33. Вікович І. А., Черевко Ю.М., Зінько Р.В. Зниження динамічних навантажень у вантажних колісних машинах із пружно-демпфувальним зчленуванням: монографія. Львів: *Галицька Видавнича Спілка*, 2018. 166 с.

34. Зінько Р.В., Крайник Л.В., Горбай О.З. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин: монографія. Львів: *Вид-во Львівської політехніки*, 2019. 256 с.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

35. Лозовий І.С., Зінько Р.В. Моделювання динаміки руху універсального гусеничного самохідного агрегату // 8-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: *Проблеми енергоощадності при проектуванні, виготовленні та експлуатації машинобудівних конструкцій*, 23-25 травня 2007 р. Львів: Кінпатрі, 2007. С. 26.

36. Черевко Ю.М., Черевко М.І., Зінько Р.В. Методика експериментального дослідження машин з накопичувально пружно-демпфуючими елементами // I-а Всеукраїнська науково-практична конференція: *Перспективи розвитку озброєння і військової техніки в ЗС України*, 4-5 березня 2008. Львів: ЛІСВ. 2008. С. 99.

37. Черевко Ю.М., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Використання графів для побудови математичної моделі систем з пружно зчленованими елементами // 9-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: *Проблеми енергоощадності при проектуванні, виготовленні та експлуатації машинобудівних конструкцій*, 20-22 травня 2009 р. Львів: Кінпатрі, 2009. С. 65-66.

38. Зінько Р. В. Застосування графів при моделюванні робочих процесів транспортних засобів // 67 *Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. Київ: НТУ, 2011. С. 433.

39. Зінько Р. В. Морфологічне середовище для моделювання технічних систем // 10-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: *Проблеми енергоощадності при проектуванні, виготовленні та експлуатації машинобудівних конструкцій*, 25-27 травня 2011р. 2011.С.193-194.

40. Зінько Р.В. Використання методу почленної диз'юнкції для синтезу машин // XIV Міжнародна науково-технічна конференція: *Вібрації в техніці та технологіях*, 21-25 вересня 2015 р. Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ». 2015. С. 44.

41. Зінько Р.В. Моделювання роботи різнорідних машин на основі подібності графів їх конструкцій // XV Міжнародна науково-технічна конференція: *Вібрації в техніці та технологіях*, 20-21 жовтня 2016 р. Полтава: ПДАА, 2016. С. 156-159.

42. Зінько Р.В., Крайник Л.В., Горбай О.З. Динаміка роботи підйомно-

транспортних машин з сипучими ґрунтами // III-я всеукраїнська науково-практична конференція: *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні*, 22-23 лютого 2018 р. Львів: НУ «ЛП», 2017. С. 34-36.

43. Крайник Ю.Л., Зінько Р.В., Глобчак М.В., Скварок Ю.Ю. Методичні основи оптимізації розміщення колісного візка цистерни-напівпричепа // V Міжнародна науково-технічна конференція: *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей*, 29 квітня-01 травня 2018 р. Луцьк: ЛНТУ. С. 12.

44. Черевко Ю.М., Зінько Р.В. Моделювання функціонування маніпулятора ремонтно-евакуаційної машини // XIX міжнародна науково-технічна конференція: *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта*, 19-22 червня 2018 р. Київ: КПІ, 2018. С. 13-16.

45. Зінько Р.В., Горбай О.З., Крайник Ю.Л. Дослідження опорно-зчіпного пристрою цистерни-напівпричепа згідно Правил 13 ЕЭК ООН // Міжнародна науково-практична конференція: *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту*, 16-19 жовтня. Харків: ХНАДУ, 2018. С. 272-273.

46. Горбай О.З., Зінько Р.В., Шевців М.Б. Дослідження зусиль на кріпильні елементи автоцистерни при різних режимах руху автопоїзда // Міжнародна науково-практична конференція: *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту*, 16-19 жовтня. Харків: ХНАДУ, 2018. С. 266-267.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

47. Библюк Н.І., Зінько Р.В., Дадак Р.М., Маковейчук О.М. Залежність динамічних властивостей дволанкового автопотяга від пружної характеристики зчіпного пристрою. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2005, Вип.15.4. С. 90-95.

48. Библюк Н.І., Зінько Р.В., Дадак Р.М., Маковейчук О.М. Дослідження динамічних властивостей дволанкового автопотяга при подоланні одиначної перешкоди типу "сходінка". *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006, Вип.16.1. С. 113-119.

49. Зінько Р.В., Лозовий І.С., Дзелендзяк О.Б., Бурніцький С.Р. Дослідження динаміки руху автобетонозмішувача з врахуванням характеристик двигуна. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2010, №2. С. 159-163.

50. Зінько Р.В. Напрями підвищення ефективності роботи гусеничного рушія. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2012, №2. С. 99-104.

51. Зінько Р.В., Білик О.С., Ханас У.Я. Класифікація методів навчання з використанням механізму почленної диз'юнкції. *Педагогічний дискурс*. 2014. Вип. 17. С. 75-82.

52. Lejda Kazimierz, Roman Zinko. Economic appraisal of effectiveness of work of dismembered road trains. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2011, Nr 2. P. 297-302.

53. Lejda Kazimierz, Zinko Roman, Lozovij Igor, Jaworski Artur. The research of functioning of dismembered transport vehicles. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2013, Nr 4. P. 105-116.

54. Cherevko Yuriy, Zinko Roman. Software for research of manipulator of

repair-evacuation machine. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2018, Nr 12. P. 7-14.

55. Krainyk Taras, Gorbaj Orest, Zinko Roman, Shchokin Myhajlo. Concept and construction of special wheeled chassis. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2019, Nr 13. P. 9-15.

56. Burian Mykhailo, Horbay Orest, Zinko Roman, Bodnar Mykola. Composition of the model of vibration "passenger-bus" system with multichannel inputs from road unevenness. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2019, Nr 13. P. 16-27.

57. Пристрій для кріплення кузова транспортного засобу: патент на корисну модель України № 472747. Вікович І.А., Черевко Ю.М., Черевко М.І., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Заявл. 11.08.2008. – 3с.

58. Камера для автомобільної шини: патент на корисну модель України № 41910. Бойко О.Д., Зінько Р.В., Лозовий І.С. Заявл. 10.06.2009. – 2с.

АНОТАЦІЯ

Зінько Р. В. Наукові основи формування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних та гусеничних машин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття вченого ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі і трактори – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація присв'ячена вирішенню проблеми формування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних і гусеничних машин на основі тріади взаємовпливів: умов експлуатації, технологічного процесу, в якому задіяні такі машини, і їх конструкції. На базі використання методу почленної диз'юнкції, секційності та модульності конструкцій розроблено теоретичні засади диверсифікації сфер використання спеціальних шасі.

Розроблено практичні засади формування колісних схем та масо-габаритних характеристик сімейств 2-, 3-, та 4-вісних спеціальних шасі для будівельної, комунальної та інших сфер використання нормативних вимог-обмежень законодавчої нормативної бази України.

Розроблено теретичні засади і проведені дослідження впливу динаміки роботи навісного обладнання в процесі руху на шасі/раму низки СТКМ (бетонозмішувача, автовоза, комунальної машини, автоцистерни, БРЕМ), що дозволило визначати збільшення пікових (з умов динаміки руху) навантажень на раму та запропонувати конструктивні пропозиції щодо компоновання забудови навісного обладнання з метою зменшення таких навантажень з урахуванням обмежень законодавчої нормативної бази України.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено впровадженням запропонованої методології у конструкторських і науково-дослідних організаціях.

Ключові слова: компоновання, масо-габаритні характеристики, метод почленної диз'юнкції; шасі спеціальних автомобілів та технологічних машин, графі конструктивних схем машин, універсальна технологічна машина.

АННОТАЦИЯ

Зінько Р. В. Научные основы формирования шасси специальных автомобилей и технологических колесных и гусеничных машин. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины. – Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению проблемы формирования шасси специальных автомобилей и технологических колесных и гусеничных машин (САТКГМ) на основе триады взаимовлияний: условий эксплуатации, технологического процесса, в котором задействованы такие машины, и их конструкции. При этом учитываются нормативные документы Украины и Правила ЄЕК ООН. На основе принципа предиктивности (предсказуемости) и использования метода почленной дизъюнкции, секционности и модульности конструкций разработаны теоретические принципы диверсификации сфер использования специальных шасси.

Проведя обобщение конструкций разнородных машин с помощью графов конструктивных схем, было выявлено подобие конструкций таких машин. Представление связей координат в виде графов позволяет выяснить взаимовлияние работы элементов САТКГМ и строить модели с учетом этих связей. Кроме того, графы связей позволяют однозначно определить необходимое количество и перечень обобщенных координат, которые нужны для решения конкретной задачи. Для обобщенной технологической машины, для которой, с учетом структуры связей обобщенных координат уравнения Лагранжа II-го рода, была записана унифицирована математическая модель работы, удобная для конкретных заданий моделирования работы САТКГМ.

Используя принципы секционности модульности конструкций, с учетом графов конструктивных схем машин, разработаны теоретические принципы диверсификации сфер использования специальных шасси (на примере ТУР ВХ181-ВХ371) на другие потенциальные сферы использования, в частности машин для строительства дорог, пожарной техники, и др.

Разработаны практические принципы формирования колесных схем и масо-габаритных характеристик семейств 2-, 3-, и 4-осных специальных шасси для строительной, коммунальной и других сфер использования нормативных требований-ограничений законодательной нормативной базы Украины.

Предложенная идея формирования матриц устойчивости округлого модульного элемента, задания гидроупругости рамных конструкций САТКГМ, что дало возможность уменьшить большие объемы начальной информации для сложных или нетипичных конструкций и, соответственно, количество итераций решения систем линейных уравнений алгебры в МСЕ.

Разработаны теоретические принципы и проведенные исследования влияния динамики работы навесного обладания в процессе движения на шасси/раму ряда САТКГМ (бетоносмесителя, автовоза, коммунальной машины, автоцистерны, БРЕМ), что позволило определять увеличение пиковых (из условий динамики движения) нагрузок на раму и предложить конструктивные предложения относительно компоновки застройки навесного оборудования с целью уменьшения таких нагрузок.

Для САТКГМ в виде автопоезда, с прицепом или полуприцепом, проработаны математические модели и проведены компьютерные и натурные исследования влияния жесткости и зазоров в механизме сцепки на динамику нагрузок и амплитуду продольных колебаний автопоезда, получены практические рекомендации, которые подтверждены экспериментально, относительно уменьшения соответствующих пиковых нагрузок. Предложено использовать сцепное устройство с пневматическим упругим элементом и разработана методика его расчета.

Разработанные рекомендации относительно улучшения эксплуатационных свойств САТКГМ использованы в процессе проектирования образцов САТКГМ и путем разработки соответствующих методов, моделей и алгоритмов формирования их шасси, что позволяет повысить технический уровень САТКГМ. Практическое значение полученных результатов подтверждено внедрением предложенной методологии в конструкторских и научно-исследовательских организациях.

Ключевые слова: компоновка, массо-габаритные характеристики, метод почленной дизъюнкции; шасси специальных автомобилей и технологических машин, графы конструктивных схем машин, универсальная технологическая машина.

ANNOTATION

Zinko R. V Scientific bases of forming of undercarriage of the special cars and technological wheeled and caterpillar machines. – Qualifying research paper, manuscript copyright.

Doctoral thesis in Engineering Science in specialty 05.22.02 – Automobiles and tractors. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the problem of chassis forming of the special cars and technological wheeled and tracked vehicles on the basis of a triad of mutual influences: operating conditions, the technological process in which such cars are involved, and their structures. Theoretical basics of diversification of use spheres of special chassis are developed on the basis of a members disjunctions method use, sectionality and modularity of structures.

There were developed practical principles of formation of wheel schemes and mass-dimensional characteristics of 2-, 3-, and 4-axle special chassis for building, municipal and other use spheres of normative requirements-restrictions of the legislative normative base of Ukraine.

Theoretical principles are developed and the influence of the hinged equipment operation dynamics during the motion on the chassis/frame of a number of Special Cars and Technological Wheeled and Tracked Vehicles (concrete mixer, truck, municipal car, tank truck, Combat Repair Evacuation Vehicle) is researched, that allowed defining the increase of peak (from motion dynamics conditions) loads on the frame and to propose design suggestions for the hinged equipment construction arrangement with the aim to reduce such loads, taking into account the limitations of the legislative framework of Ukraine.

The practical value of the obtained results is confirmed by the implementation of the proposed methodology in design and research organizations.

Keywords: arrangement, mass-dimensional descriptions, method of mediating disjunction; undercarriage of the special cars and technological machines, graphs of machines structural charts, universal technological machine.

Підписано до друку 26.01.2021 р.
Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 1,8.
Наклад 100 прим. Зам. № 12/2021

ТзОВ «Растр-7»
79005, м. Львів, вул. Кн.Романа, 9/1
тел./факс: (032) 235-52-05, e-mail: rastr.sim@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ЛВ №22 від 19.11.2002 р.

