

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Б И Б Л І О Т Е К
Нестор Іванович

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РИЗКУ
І ПОДПІЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
КОЛІСНИХ ЛІСОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

05.21.01 – Технологія і машини лісового
господарства і лісовалотівель

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 1993

АВ. 28.307

Робота виконана в Українському державному лісотехнічному університеті

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Луков А.В.
доктор технічних наук,
професор Гірник М.Л.
доктор технічних наук,
професор Цюрібний В.О.

Провідна установа - Івано-Франківський проектно-конструкторський технологічний інститут

ЛНБ України ім. В. Стефаніка
00802701 (1)

Захист відбудеться "19" XI 1993 р. в 14.30 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.03.01 у
Українському державному лісотехнічному університеті за
адресою: 290067, м. Львів, вул. Пушкіна, 103, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці УкрДЛТУ

Автореферат розісланий "18" X 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Т.А. Носовський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток лісозаготівельного виробництва повинен забезпечуватись, перш за все, за рахунок підвищення його організаційної і технологічної гнучкості, покращення використання лісоосировинних ресурсів і, в значній мірі, шляхом створення і втілення нової прогресивної техніки і технології. Високий рівень створюваних технічних засобів, скорочення строків розробки і освоєння, забезпечення ефективності використання тісно пов'язані з розвитком методів їх дослідження, проектування і розрахунку.

Розроблені за останні десятиліття і використовувані тепер методи дослідження і принципи проектування і розрахунку колісних лісотransпортних машин не задовільняють в повній мірі потреб теорії і практики лісозаготівельного виробництва. Незважаючи на великі можливості, які відкриваються в результаті використання ЕОМ для комплексного дослідження руху транспортних машин, до цього часу має місце традиційний розподіл лісотransпортних засобів на окремі підсистеми, функціонування яких розглядається автономно, без врахування цілей функціонування всієї системи, що не завжди приводить до об'єктивних результатів. При цьому математичні моделі і програмні засоби суттєво відрізняються як за структурою, так і за набором змінних і враховуваних факторів, які входять в них, що утруднює порівняння результатів, отриманих з використанням різних моделей, і різко звужує діапазон їх використання для вирішення близьких за класом завдань. В існуючих математичних моделях, які описують коливання лісотransпортних засобів, пакет хлестів відтворюється дуже спрощено, без врахування всієї різноманітності фізико-механічних і динамічних властивостей, його зв'язки з транспортними ланками відображається часто зовсім умовно, а як збурюючі впливи використовуються характеристики конкретних реалізацій мікропрофілю опорних поверхневостей, що обумовлює частковий характер отриманих висновків.

Розроблені в дисертації теоретичні положення побудовані на єдиному підході до створення математичних моделей, що адекватно описують поведінку лісотransпортної системи в основних видах руху, і складені ефективні програми для ЕОМ, які реалізують функціонування моделей, дозволяють успішно використовувати існуючі методи аналізу, параметричної і структурної оптимізації при

оцінці досконалості конструкції і обґрунтуванні параметрів колісних лісотранспортних засобів і служать основою для розвитку автоматизованих систем їх дослідження, випробувань і проектування.

Дослідження даної проблеми автором проводилися протягом 26 років на кафедрі механізації лісорозробок, лісового господарства і транспорту лісу УкрДЛІ у відповідності з виконанням планів держбюджетних науково-дослідних робіт і господарських договорів /№ держреєстрації 74027979, 75043420, 77007666, 80001130, 81055951, 01825041105, 01830052629, 01860018201, 01870030510/, а також за програмою Мінвузу УРСР "Автоматизовані системи наукових досліджень і випробувань складних об'єктів" /АСІД/, завдання 4.20 /наказ Мінвузу УРСР № 299 від 29.12.86 р./.

Мета і завдання досліджень. Кінцевою метою досліджень є розробка методології імітаційного моделювання і розрахунку процесів руху колісних лісотранспортних засобів, що дозволяють здійснювати комплексне вивчення експлуатаційних властивостей, проводити параметричну і структурну оптимізацію і знаходити раціональні способи підвищення технічного рівня і ефективності використання трелювальних тракторів і лісовозних автопоїздів.

В процесі досліджень виникла необхідність у вирішенні таких часткових завдань:

аналіз структурних і функціональних особливостей колісних трелювальних тракторів і лісовозних автопоїздів, обґрунтування складу узагальненої лісотранспортної системи і вибір методів вивчення процесів руху лісотранспортних засобів;

обґрунтування методики аналітико-експериментального визначення статистичних характеристик опорної поверхні лісових доріг, проведення вимірів і узагальнення дослідних даних;

розробка методики, проведення аналітико-експериментальних досліджень характеристик пакету хлестів як об'єкту транспортування і отримання емпіричних залежностей, які відображають їх зміну по довжині пакету;

розробка математичних моделей, алгоритмів і програм розрахунку коливань пакету хлестів в трьох взаємо-перпендикулярних площинах;

проведення експериментальних і аналітичних досліджень

вільних згинних коливань хлестів і пакетів з метою оцінки точності і обґрунтування параметрів розрахункових моделей;

розробка математичних моделей поведінки узагальненої лісотransпортної системи в основних видах руху і її розрахункових варіантів для основних типів колісних лісотransпортних засобів;

розробка методів, алгоритмів і програм імітації поступального, криволінійного руху і розрахунку коливань лісотransпортного засобу в вертикальних поздовжній і поперечній площинах.

проведення теоретичних і експериментальних досліджень динамічних процесів, що мають місце при русі колісних лісотransпортних засобів, з метою оцінки достовірності розрахункових моделей, аналізу експлуатаційних властивостей і обґрунтування параметрів конструкції трельовальних тракторів і лісовозних автопоїздів, які використовуються на транспортуванні деревини в передгірських і гірських районах Карпат.

Об'єкти і методи досліджень. Об'єктом досліджень є складна багатомірна стохастична система дорога – оператор – транспортні ланки – пакет хлестів і її підсистеми, що відображають типові умови експлуатації та головні особливості загальної компоновки і конструкції колісних лісотransпортних засобів, які використовуються на вивезенні основних видів деревинної сировини. Як реальні лісотransпортні засоби при проведенні експериментальних і теоретичних досліджень в конкретних умовах експлуатації використовувались широко розповсюджені на транспортуванні деревини трельовальні трактори Т-25А і Т-157 та лісовозні автопоїзди на базі автомобілів ЗИЛ-131 /157/ і МАЗ-509А, а також дослідні зразки трельовальних тракторів Т-25А з активним напівпричепом, Т-157К в триосовому виконанні з подовженою рамою, Т-157, обладнаний гідроманіпулятором, в комплекті з двососовим розпуском і лісовозний автопоїзд у складі автомобіля МАЗ-509А з гідроманіпулятором і одноосового розпуску.

До складання математичної моделі системи дорога – оператор – транспортні ланки – пакет хлестів прийнятий системний підхід, побудований на узагальненні структурних і функціональних особливостей різноманітних за типом і призначенням колісних лісотransпортних засобів і розробці методики розрахунку параметрів руху з урахуванням взаємозв'язку і взаємообумовленості процесів, що протікають в реальній системі, при широкому

застосованні методів теорії руху транспортних машин, прикладних методів теорії механічних коливань, теорії стаціонарних випадкових процесів, числових методів математичного аналізу і таких методів алгоритмізації як методи статистичного моделювання реалізації випадкових функцій, матричний метод початкових параметрів і топологічний метод формування рівнянь руху, які дозволяють ефективно використовувати можливості ЕОМ.

Експериментальні дослідження з визначення характеристик стовбурної деревини проводилися на спеціально створеній установці, що дозволяла відтворювати і вимірювати її згинальні і крутильні переміщення, обумовлені статичним навантаженням, а також вільні і змушені коливання у вертикальній поєздовжній та поперечній площинах, при різних параметрах окремих хлестів і пакетів з них і способах їх розміщення. Вимірювання параметрів коливань пакету хлестів, а також геометричних параметрів опорної поверхні параметрів руху колісних лісотransпортних засобів здійснювалося з використанням створеного під керівництвом автора комплексу вимірювальної апаратури з реєстрацією параметрів шлейфовими осцилографами і подальшою машинною обробкою дослідних даних статистичними методами з використанням спеціально розроблених програмних засобів.

Достовірність і практична застосовуваність створених математичних моделей, програмних засобів і надійність розробленої вимірювальної апаратури підтверджена 18 актами впроваджень на підприємствах Мінлісдеревпрому і Мінлісгоспу УРСР /1978-86р.р./, в Ів.ю-Франківському ПКІ Мінлісдеревпрому УРСР /1984р./, ДКГТБ сільгоспхімаш Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР /1981-1988р.р./ і ВКЕІ автобуспром Мінавтопрому СРСР /1980, 1990 р.р./.

Наукова новизна роботи і предмет захисту. Автором запропонований новий підхід до вивчення процесів руху лісотransпортних засобів, який полягає в розгляданні завдань імітаційного моделювання і розрахунку руху системи дорога - оператор - транспортні ланки - пакет хлестів на єдиній теоретичній основі, що базується на встановленні внутрішніх зв'язків між зовнішньо різними динамічними процесами, які мають місце при русі різноманітних за типом і призначенням лісотransпортних засобів, виявленні існуючих єдиних закономірностей при розробці математичних моделей і обґрунтуванні однотипних методів розрахунку. На цій основі

створена принципово нова математична модель узагальненої лісо-транспортної системи, орієнтована на комплексне дослідження основних видів руху, і обґрунтовані способи її приведення до типових розрахункових варіантів. При цьому пакет довгомірної деревини, який в значній мірі визначає поведінку лісотransпортної системи в основних видах руху, відтворюється адекватною просторовою динамічною моделлю, що органічно пов'язана з транспортними ланками і відображає в повній мірі таксаційні характеристики, фізико-механічні і динамічні властивості стовбурової деревини як об'єкта транспортування, а збурюючі впливи на систему збоку дороги представляються узагальненими статистичними характеристиками або їх випадковими реалізаціями, що дозволяє вирішувати завдання аналізу руху і оптимізації параметрів лісотransпортних засобів з урахуванням типових умов їх експлуатації.

Для практичної реалізації розробленого математичного апарату складені алгоритми і програми розрахунку параметрів дискретної моделі пакету хлестів, випадкових реалізацій профілю і плану опорної поверхні, імітації руху і розрахунку коливань лісотransпортної системи. Запропонована методика визначення характеристик стовбурової деревини при згині і крученні з урахуванням їх змін по довжині пакету. Розроблені алгоритмічні методи розрахунку коливань окремих підсистем і лісотransпортної системи в цілому, які є однотипними для близьких за класом завдань.

На захист виносяться прикладні методи теорії руху колісних лісотransпортних засобів, які включають:

модель пакету хлестів змінного перерізу і методику аналітико-експериментального визначення його характеристик;
математичну модель лісотransпортної системи в основних видах руху і її спрощені варіанти;

методи імітації руху і розрахунку коливань колісних лісотransпортних засобів, побудованих на використанні ЕОМ.

Практична цінність роботи полягає в реалізації розробленої методології експериментальних досліджень, імітаційного моделювання і розрахунку процесів руху колісних лісотransпортних засобів у вигляді методик, алгоритмів, програм розрахунку руху і обробки результатів вимірів, застосування яких дозволяє забезпечити обґрунтованість конструктивних і технологічних рішень, зменшення строків доводки проєктованих і підвищення ефектив-

ності використання існуючих лісотransпортних засобів.

Розроблена математична модель узагальненої лісотransпортної системи охоплює основні види руху і складена за блочним принципом, зручним для алгоритмізації і програмування, що робить її достатньо універсальною і дозволяє успішно використовувати для створення автоматизованих систем досліджень і проектування колісних лісотransпортних засобів.

Застосування розроблених вимірювальної апаратури, алгоритмів і програм розрахунку показників експлуатаційних властивостей і обробки результатів експериментальних досліджень при проектуванні і випробуваннях нових зразків малогабаритних тракторів для рубок догляду за лісом, машин для внесення добрив і хімзахисту рослин і автобусів дало економічний ефект 124 тис.крб. при очікуваному економічному ефекті 366 тис.крб. /1978-1986 р.р./

Розроблені теоретичні положення і методи їх практичної реалізації є основою для доповнення підручників і учбових посібників з курсу "Теорія і конструкція лісних колісних і гусеничних машин" і "Лісотransпортні машини" новими методами прикладної теорії і складання методичних вказівок з курсового, дипломного проектування і науково-дослідної роботи студентів лісотехнічного профілю.

Апробація роботи. Результати досліджень доповідалися і обговорювалися на міжнародних /Брно, 1969; Львів, 1991, 1992, 1993; Косів, 1993/, всесоюзних /Москва, 1976, 1989; Львів, 1980, 1983; Єлгава, 1981; Йошкар-Ола, 1982/, республіканських /Івано-Франківськ, 1985; Свалява, 1986; Умань, 1988; Львів, 1989, 1991, 1992/, інститутських /Львів, 1963-1993/ науково-технічних конференціях і нарадах, на семінарі "Автоматизація досліджень, проектування і конструювання лісних і сільськогосподарських машин" філіалу наукової ради АН УРСР з проблеми "Кібернетика" при Західному науковому центрі /Львів, 1985-1991/, а також на технічних нарадах в Міністерстві лісового промислу УРСР /Київ, 1977, 1978, 1985/, ДІКТБ сільгоспмаш /Львів, 1986, 1987/ і ВМЕІ автобуспром /Львів, 1987/.

Основні положення і результати досліджень опубліковані в монографії, учбовому посібнику, 80 статтях та тезах доповідей на конференціях і нарадах, раді наукових звітів і методичних вказівок для студентів спеціальностей 26.01 і 17.04.01.

Об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розді-

лів і основних висновків, викладених на 420 сторінках машинописного тексту, 94 рисунків, 35 таблиць і списку літератури, що включає 369 найменувань.

Автор висловлює ширю подяку доктору техн. наук, професору **Б.Г.Гастеву**, канд. техн. наук, доцентам **В.В.Біликові** і **О.А.Странівському**, ст. викладачам **А.А.Бойко** і **С.Й.Мадведю**, інженерам **Б.Т.Перетятко**, **В.Г.Пузанову** і **І.Л.Мирецькому** та асистентам **М.М.Борису** і **М.І.Герисусу** за надану допомогу в проведенні досліджень.

І. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУХУ ЛІСОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Основи теорії руху автомобіля і трактора закладені в роботах **Д.А.Антонова**, **Я.Х.Захіна**, **Г.В.Змієва**, **А.С.Лутвінова**, **Є.Д.Львова**, **Я.М.Новзнерз**, **Р.В.Ротенберга**, **В.С.Шалькевича**, **Я.С.Шаробіна**, **А.А.Хачатурова**, **С.А.Чудакова**, **Н.І.Ліденка**. Значний внесок в розвиток методів дослідження і проектування колісних транспортних машин внесли також **Я.С.Агейкін**, **Г.В.Безбородова**, **М.М.Бєленький**, **І.А.Барський**, **М.А.Брянський**, **І.А.Бухарін**, **Є.Водемейср**, **Б.В.Гольд**, **А.І.Гришкевич**, **В.В.Гуськов**, **В.А.Іларіонов**, **В.І.Кнороз**, **М.М.Коденко**, **К.С.Колесніков**, **І.М.Кутьков**, **Є.Лер**, **В.С.Лукинський**, **Є.М.Мадиновський**, **Є.Маркуард**, **М.Міцке**, **І.Г.Пархиловський**, **А.А.Попов**, **І.К.Щелін**, **А.Радке**, **І.Рокар**, **В.М.Семенов**, **В.П.Тарасик**, **С.Фіала**, **Р.І.Шурунків**, **І.С.Цитович**, **Д.А.Чудаков**, **М.М.Щукін**, **В.С.Шупляков**, **Д.Елліс** і багато інших дослідників.

Перші широкі дослідження характеристик пакету хлестів як об'єкту транспортування на автомобільних і рейкових дорогах, були виконані **Б.Г.Гастевим** і в подальшому продовжені **З.С.Цофіним**, **Б.І.Кувалдіним**, **В.І.Мельниковим**, **А.В.Муковим**, **Л.В.Коротясвим**, **Г.Ф.Храмцовим**. Дослідження характеристик дерев і хлестів як об'єкту роботи лісоотсічних машин присвячені роботи **В.А.Алексаандрова**, **В.В.Білика**, **А.В.Мукова**, **А.В.Кувшинова**, **С.Ф.Орлова**, **Б.Т.Перетятко**, **І.В.Шалькевича** та інших. В результаті виконаних досліджень підготовлений широкий матеріал для проведення розрахунків коливань лісотранспортних засобів і створені необхідні передумови для подальшого розвитку методів визначення характеристик і моделювання пакету деревини. Незважаючи на певні досягнення в цій ділянці, до цього часу немає відпрацьованої методики визначення динамічних властивостей деревини, придатної для масових замірів. Всі виконані дослідження присвячені експериментальному усередненню характеристик стовбурової деревини при згині, без

врахування їх зміни по довжині. Дослідження характеристик деревини при крученні не проводилися.

Особливості взаємодії колеса лісотransпортної машини з дорогою і методи визначення характеристик опорної поверхні лісових доріг розглядалися в роботах В.Є.Абакумова, А.Ф.Андрійчука, В.В.Вілика, М.О.Гайдара, В.А.Горбачевського, А.В.Жукова, Й.П.Ковтуна, Л.В.Коротяєва, С.Г.Костогриза, С.Й.Медведя, Л.А.Рогаляка, В.Т.Перетятко, Ю.А.Силукова, Б.Т.Сурикова, А.А.Фаденкова та інших.

Питання взаємодії транспортних ланок лісотransпортної системи між собою і з пакетом хлестів при зрушенні з місця відображені в роботах С.В.Вовка, В.І.Провосторова, при прямолінійному русі - в роботах А.В.Жукова, І.В.Фількевича, Б.А.Шестакова, при русі в крилах - в роботах Г.П.Мальцера, В.П.Махна, В.П.Реднякова, при гальмуванні - в роботах В.А.Прасолова.

Дослідженню коливань в трансмісії лісотransпортних машин присвячені роботи М.І.Анікіна, Г.М.Анісімова, В.В.Вілика, А.В.Жукова, С.Г.Костогриза, В.М.Котікова, Р.С.Моценка, А.Д.Надольського, В.С.Николюка, В.Д.Силукова, В.А.Сімановича, вертикальних коливань від впливу мікропрофілю - роботи В.В.Вілика, Є.С.Буряка, В.І.Варави, О.В.Ведернікова, В.Г.Гастєва, А.Р.Горюновського, Б.Г.Данчука, Ю.А.Добриніна, А.В.Жукова, Й.П.Ковтуна, Р.Л.Коровкіна, С.Г.Костогриза, Є.І.Лаха, І.К.Лєнєва, І.Й.Леоновича, Г.Г.Мохорта, В.П.Нємцова, В.Є.Рискіна, В.Т.Перетятко, А.І.Смеяна, О.А.Стирєнівського, В.С.Тєхана, Б.В.Уварова, В.Я.Хлуда, Г.Ф.Храмцова, криволінійного руху - роботи Г.А.Гребєнцікова, Б.А.Добрякова, А.В.Жукова, Г.Г.Кирильчина, П.Д.Кличкова, А.М.Кочєва, Ш.Майкута, В.І.Мельнікова, В.Д.Памфілова, П.С.Щіпанова та інших. На даний час немає єдиного методичного підходу до складання і використання математичних моделей процесів руху лісотransпортних засобів. Проведені дослідження базуються на різних за складністю розрахункових моделях, які суттєво відрізняються охопленням враховуваних факторів. Пакет довгомірної деревини відображається ними дуже спрощено, без врахування всієї різноманітності його особливостей. Відсутні адекватні математичні моделі, призначені для відтворення поступального руху на реальному маршруті і розрахунку показників кuroсової стійкості і кєрваності лісотransпортних засобів.

В результаті огляду методів дослідження процесів руху

транспортних машин сформована загальна методика вивчення системи дорога - оператор - транспортні ланки - пакет хлестів, побудована на системному підході, який стосовно аналізованої проблеми передбачає: виділення системи у вигляді цілісного об'єкту з оточуючого середовища, аналіз і синтез її структури і функціональних особливостей, вибір показників оцінки досконалості системи, розробка методики розрахунку і випробувань окремих її елементів з урахуванням їх взаємодії і системи в цілому, аналіз поведінки і обґрунтування параметрів системи.

Як об'єкт моделювання прийнята умовна узагальнена лісотransпортна система, яка складається з чотириосового тягача з шарнірно-зчленованою рамою, двоосового напівпричепу і чотириосового причепу-розпуску і об'єднує всі основні структурні ознаки, притаманні існуючим лісотransпортним засобам. В процесі її спрощення може бути отриманий будь-який з розповсюджених лісотransпортних засобів або належні до нього транспортні чи елементарні ланки.

до головних особливостей функціонування лісотransпортної системи відносяться її багаторічність /наявність багатьох вхідних і вихідних змінних і внутрішніх зв'язків/, нелінійність /багато з характеристик системи суттєво нелінійні/ і статистична природа функцій зовнішніх збурень, що обумовлює необхідність застосування до її опису методів дискретного моделювання, які забезпечують суттєву економію машинного часу і ймовірно-статистичних методів для оцінки збуджуючих дій і розрахунку параметрів коливань.

2. СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ОПІРНОЇ ПОВЕРХНІ ЛІСОВИХ ДОРІГ

Ймовірнісні моделі профілю і плану лісових доріг та їх числові характеристики встановлювалися на основі робочих проєктів /повздожних профілів/ і даних безпосередніх замірів, які проводилися як прямими /геодезичними/ так і опосередкованими методами з використанням розробленого спеціального пристрою і з обробкою результатів замірів на БОМ.

для встановлення ймовірнісних моделей профілю і плану гірських лісових доріг заміряно 20 волоків і зусів загальною протяжністю 32,6 км і оброблено робочі проєкти 15 віток і магістралей протяжністю 52,4 км. В результаті аналізу отриманих да-

них виявлено, що параметри гірських лісових доріг змінюються в широких межах: середні арифметичні значення і середні квадратичні відхилення уклонів та їх довжин для трельовальних волоків і вусів - $\alpha_i = -200...150\%$, $\sigma_i = 50...220\%$, $\alpha_L = 20...100$ м, $\sigma_L = 10...70$ м, для віток і магістралей - $\alpha_i = -70...40\%$, $\sigma_i = 30...70\%$, $\alpha_L = 90...230$ м, $\sigma_L = 50...220$ м; кутів повороту для всіх типів лісових доріг - $\alpha_\theta = 9...42$ град., $\sigma_\theta = 5...39$ град.; радіусів кривих - $\alpha_R = 45...400$ м, $\sigma_R = 27...216$ м; довжин кривих $\alpha_K = 13...112$ м, $\sigma_K = 2...37$ м; віддалей між закругленнями - $\alpha_L = 13...155$ м, $\sigma_L = 12...91$ м. При цьому відносна похибка визначення параметрів складає від 4,1 до 14,7%. Усереднені значення параметрів макропрофілю і плану приведені в табл.1.

Таблиця 1

Тип дороги	α_i	σ_i	α_L	σ_L	α_R	α_L
Волоки і вуси	-65	106	61	37	74	39
Вітки і магістралі	-20	57	129	106	193	73

Розподіл уклонів гірських лісових доріг /рис.1,а/ підпорядковується нормальному закону, довжин волоків і вусів /рис.1,б/ і довжин кривих - закону Пуассона, довжин віток і магістралей, кутів повороту, радіусів кривих /рис.1,в/ і віддалей між закругленнями - показниковому закону.

Для описання геометричних властивостей заміреного мікропрофілю лісових доріг використовувалася кореляційна функція вигляду

$$R(l) = \sigma_n^2 [A_0 \exp(-\alpha_0 |l|) + \sum_{i=1}^n A_i \exp(-\alpha_i |l|) \cos \beta_i |l|], \quad /1/$$

де σ_n^2 - дисперсія ординат мікропрофілю; A_0 и A_i - вагові коефіцієнти, $A_0 + \sum A_i = 1$; α і β - коефіцієнти кореляційного зв'язку. Отримані кореляційні функції повздожнього мікропрофілю /рис.1,г/ описані 1 -м - 2 -м, а поперечного - 2 -м - 6 -м членами виразу /1/.

В процесі досліджень було підтверджено наявність залеж-

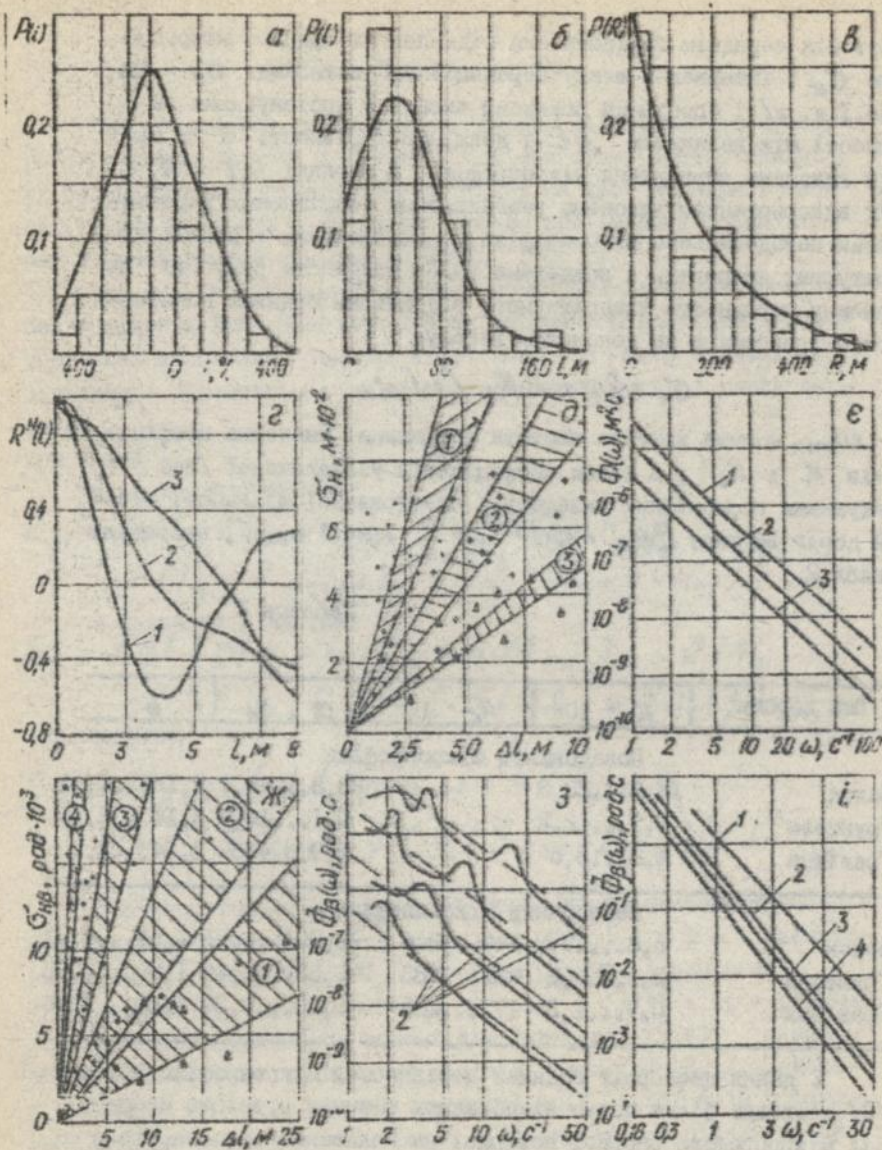


Рис. 1. Приклади статистичних характеристик параметрів макропрофілю /а, б/, плану /в/, поперечного /г-с/ і поведінкового /ж-і/ мікропрофілів: 1 - волок; 2 - ґрунтова; 3 - гравійна і 4 - асфальтована дороги

ності між середнім квадратичним відхиленням ординат мікропрофілю σ_n і інтервалом шляху кореляції Δl в вигляді $\sigma_n = K \Delta l$ /рис.1, д, ж/ і зроблений важливий висновок про існування залежності між величиною Δl і довжиною нерівності l , при якій виконано спрямлення мікропрофілю, в вигляді $\Delta l = K_2 l$. З їх використанням виконано узагальнення розрізаних характеристик позадвожнього мікропрофілю, опублікованих в різних літературних джерелах, і враховано вплив швидкості руху v на величину середнього квадратичного відхилення ординат поперечного мікропрофілю за допомогою виразу:

$$\sigma_n = 2\pi v K K_2 / \omega_{min} \quad /2/$$

де ω_{min} - нища кругова частота збудження. Значення коефіцієнтів K і K_2 , а також коефіцієнтів узагальненої /без врахування гамонічних складових/ спектральної щільності лісових доріг вигляду $\Phi(\omega) = a v^{b-1} \omega^{-b}$ /рис.1 в, і/, приведені в табл.2.

Таблиця 2

Тип дороги	$K \cdot 10^3$	$K_2 \cdot 10^3$	a , см	b
Повздожній мікропрофіль				
Волок	16,2...23,3	-	28,8...40,7	2,18...2,13
Грунтова	8,7...12,2	-	9,1...10,7	2,16...2,10
Гравійна	4,8...5,5	-	2,9...4,6	2,14...2,00
Поперечний мікропрофіль				
Волок	8,8...17,8	143...248	0,90...0,91	1,66...1,71
Грунтова	2,1...3,2	227...283	0,33...0,40	1,89...1,96
Гравійна	0,7...1,3	177...265	0,20...0,37	1,85...1,96

З дання дисперсії ординат нерівностей мікропрофілю виразом /2/ дозволяє більш повно відобразити фізичну сутність процесу дії мікропрофілю опорної поверхні на коливання транспортного засобу /рис.1, з/ і підвибити точність розрахунку параметрів руху.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОВБУРОВОЇ ДЕРЕВИНИ ЯК ОБ'ЄКТУ ТРАНСПОРТУВАННЯ

При розробленні методики визначення характеристик стовбурової деревини хлести і пакети з них при згині представлялися як балка змінного поперечного перерізу на двох шарнірних опорах, а при крученні - як брус, жорстко закріплений одним кінцем і навантажений крутним моментом M_K .

Вирази для визначення модулів пружності деревини хлеста без порушення його цілісності були отримані в результаті застосування до рівнянь пружної лінії його n -ного елемента з постійними параметрами кінцево-різцевого методу і мають вигляд:

при згині

в прольотній частині

$$E_n = \Delta x^2 (M_{n-1} / J_{n-1} + 10 M_n / J_n + M_{n+1} / J_{n+1}) / [12 (\delta_{n-1} + \delta_{n+1})];$$

в консольній частині

$$E_n = \Delta x^2 (M_{n-1} / J_{n-1} + 4 M_n / J_n - 2 M_{n+1} - 0,5 / J_n - 0,5) / [3 (\delta_{n-1} + \delta_{n+1})];$$

при крученні

$$G_n = M_K \Delta x (1 / J_{p(n-1)} + 4 / J_{pn} + 1 / J_{p(n+1)}) / [3 (\beta_{n+1} - \beta_{n-1})]. \quad /3/$$

З використанням заміряних на спеціальній експериментальній установці зміщень δ і β в перерізах $n-1$ і $n+1$ і визначених згинаючого моменту M і модулів пружності при згині J і крученні J_p в перерізах $n-1$, і $n+1$, з рівнянь /3/ вираховані ~~значення~~ усереднені для інтервалу $2\Delta x$ значення модулів пружності деревини хлестів ялини /рис.2,а/. Закономірність їх зміни по довжині хлеста /рис.2, а, б/ була встановлена за допомогою чисел Чебишева в вигляді кореляційних рівнянь:

$$E(x/L) = 12,1 (1,127 + 0,248 x/L) \text{ ГПа};$$

$$G(x/L) = 387,7 (1,118 - 0,241 x/L) \text{ МПа};$$

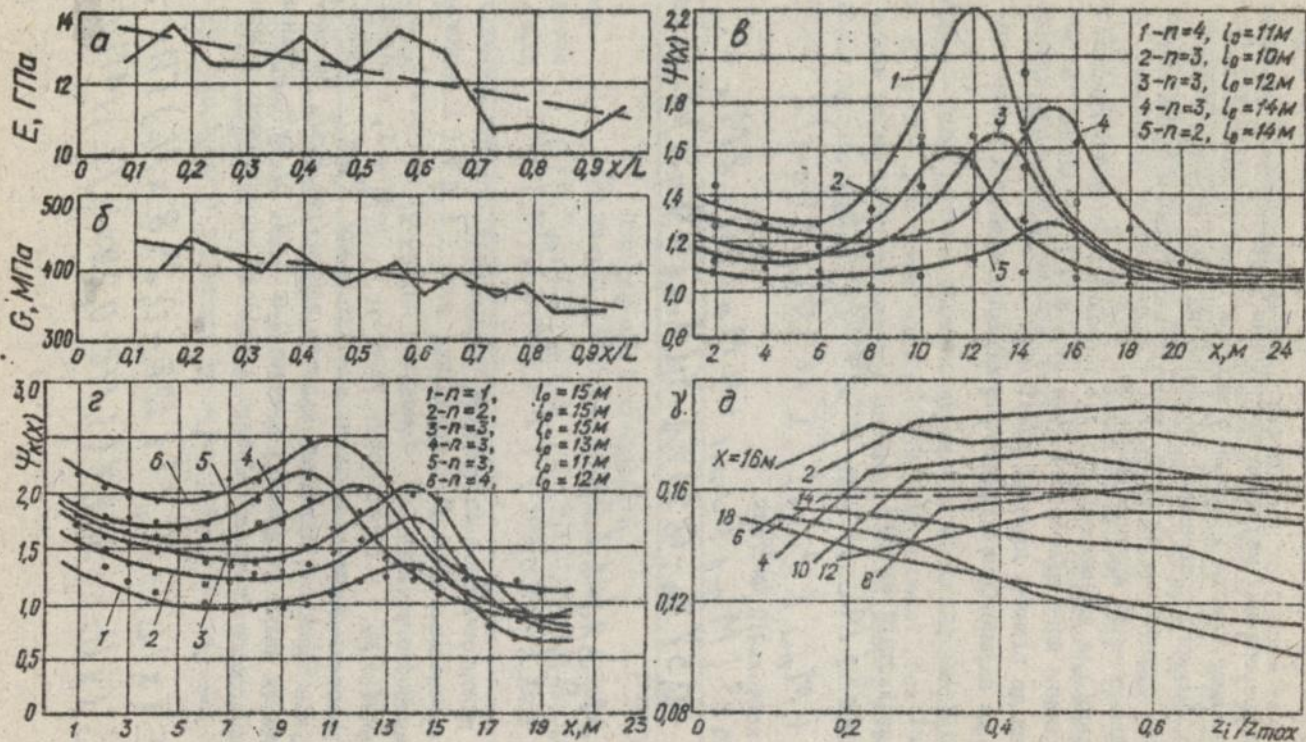


Рис. 2. Характеристики пакету хлістів: модулі пружності /а, б/ і коефіцієнти жорсткості при згині /в/ і крученні /г/, коефіцієнти непружного опору при згині /д/

$$\mu(x/L) = E(x/L) / G(x/L) = \mu_{\text{ср}} = 27,2. \quad /4/$$

Вимірювання /4/ свідчать про істотну зміну модулів пружності по довжині хлиста /на 20-40%. Їх середні значення відрізняються від рекомендованих в деревинознавстві в 1,2 - 1,5 рази.

Вирази для визначення коефіцієнтів жорсткості n -ного елемента пакету хлестів отримані в вигляді:

при згині

$$\Psi_n = \Delta x^2 M_n / [(\delta_{n-1} + \delta_{n+1}) E_n J_{nn}];$$

при крученні

$$\Psi_{kn} = \Delta x M_k \left(\frac{1}{J_{pn(n-1)}} + \frac{4}{J_{pnn}} + \frac{1}{J_{pn(n+1)}} \right) / [3(\beta_{n+1} - \beta_{n-1}) G_n], \quad /5/$$

де $J_n(x) = \sum_{i=1}^m J_i(x)$; $J_{pn}(x) = \sum_{i=1}^m J_{pi}(x)$, $i=1, 2, \dots, m$.

Визначені з використанням рівнянь /5/ залежності значень коефіцієнтів жорсткості від відносної довжини x/L , числа рядів n і віддалі між коніками l_0 для пакету, зформованого з хлестів ялини /рис.2, в, г/, апроксимовані виразами вигляду:

$$\Psi(x) = 1 + (\Psi_{\text{ср}} - 1) \left\{ 1 - x/L + (5,75 - 0,17R - 0,3n) \exp[-0,122(x-R)^2] \right\};$$

$$\Psi_k(x) = \Psi_{\text{ксп}} \left\{ 1 - 0,5x/L + (0,5 - 0,00273n + 0,104R/L + 0,076Rn/L) \exp[(0,0038R/L - 0,0034)(R-x)^2(x^2(1-c/R) + (x-1)L/R)] \right\}, \quad /6/$$

де c - віддаль від комлевого перерізу до центру ваги пакету; $R = l_0 + 1$.

Усереднені по довжині значення коефіцієнтів жорсткості пакету хлестів при згині $\Psi_{\text{ср}}$ і крученні $\Psi_{\text{ксп}}$ визначалися через частоти головних коливань пакету ω_k і окремого хлиста ω_{ki} з використанням рівнянь

$$\psi_{cp} (\psi_{кр}) = \omega_R^2 / \omega_{k1}^2 .$$

/7/

В результаті виконаних обчислень, при варіюванні параметрів в відповідності з матрицею B - плану двофакторного експерименту маємо:

$$\psi_{кр} = 1 + 0,702 - 0,1983 l_0 + 0,159 n + 0,00625 l_0^2 - 0,0573 n^2 + 0,0339 l_0 n ;$$

$$\psi_{кр} = 0,878 + 0,277 n - 0,0017 R - 0,0033 R n . \quad /8/$$

В процесі проведення досліджень встановлено, що коефіцієнти непружного опору пакету неістотно змінюються зі зміною амплітуди коливань /рис.2, д/. Криві залежності γ_x середніх арифметичних значень від числа рядів і віддалі між кониками для пакету хлестів, що розглядається з достатньою точністю /3-5%/, апроксимуються виразами вигляду:

$$\gamma = 0,2303 - 0,039 l_0 + 0,03388 n + 0,001681 l_0^2 - 0,004025 n^2 + 0,001663 l_0 n ;$$

$$\gamma_k = 0,3660 - 0,209 l_0 + 0,0165 n - 0,2224 l_0 \theta - (0,2224 - 0,0134 l_0) \lg[(\beta_R - \beta_0) / l_0] ,$$

де β_R і β_0 - кути повороту перерізів пакету над рухомою і нерухомою опорами.

Виконані дослідження підтвердили достовірність і доступність для практичного застосування запропонованих методів визначення характеристик пакету хлестів.

4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПАКЕТУ ХЛЕСТІВ

Для розрахунку вільних коливань пакету хлестів автором запропоновано достатньо універсальний і вельми зручний для застосування ЕОМ алгоритмічний метод формалізації і розрахунку коливань довгомірної деревини, побудований на використанні широко розповсюджененого в будівельній механіці матричного методу початкових параметрів. Застосування цього методу для моделювання пакету / чи окремого хлеста / передбачує його заміну ступінчастим стержнем, розподілена маса і жорсткість якого змінюються скачкоподібно при переході від однієї ділянки до другої /рис.3, а/.

Припускаючи, що в недеформованому стані пружна вісь стержня прямолінійна і співпадає з лінією центрів ваги поперечних перерізів стержня, довжина стержня значно перевищує його попе-

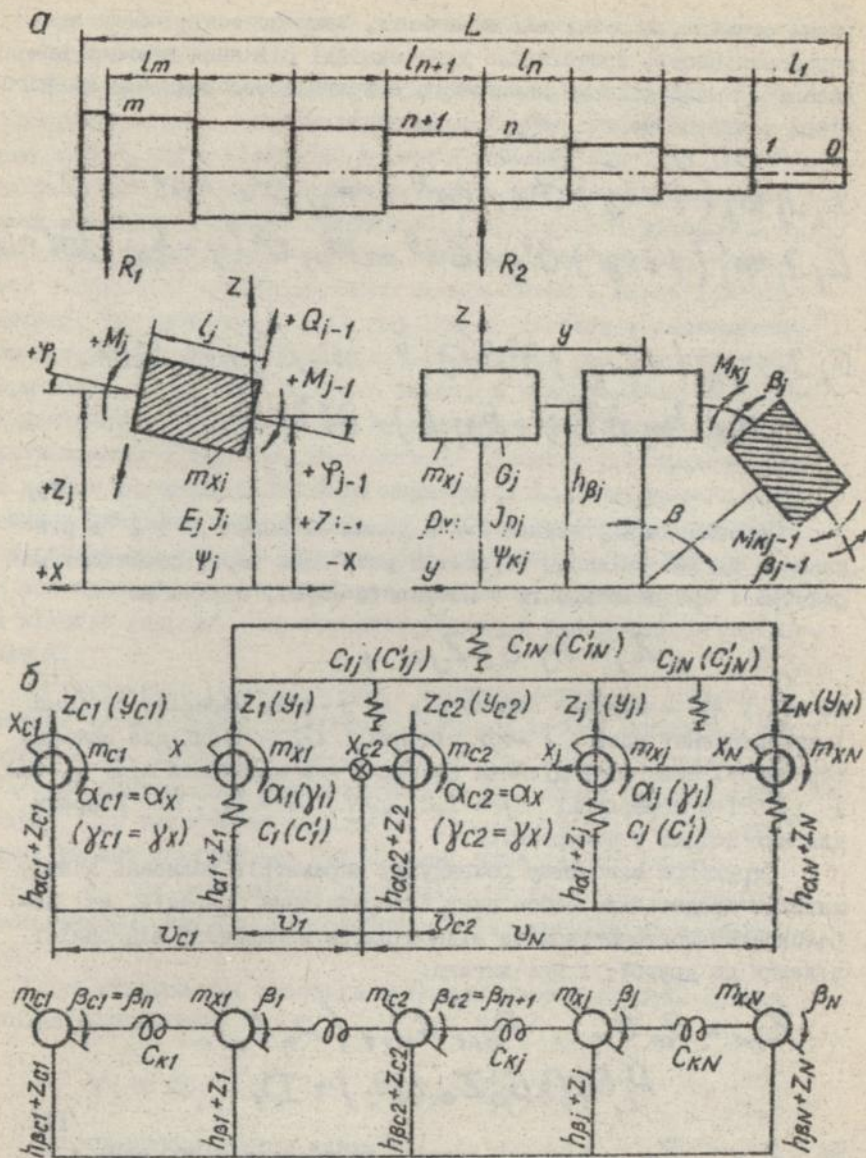


Рис.3. Схемні моделі пакету хлистів: а - ступінчато-розподілена; б - з зосередженими параметрами /дискретна/

речні розміри, а сили, які виникають, залишаються в межах пропорціональності, представимо диференціальні рівняння вільних коливань j -тої ділянки невагомому стержню з зосередженою на його кінці точковою масою m_{kj} в вигляді:

$$E_j J_j \psi_j (1 + i\gamma) \partial^4 z / \partial x^4 + m_{kj} \partial^2 z / \partial t^2 = 0 ;$$

$$E_j J_j \psi_j' (1 + i\gamma') \partial^4 y / \partial x^4 + m_{kj} \partial^2 (y + h_{\beta j}) / \partial t^2 = 0 ;$$

$$G_j J_{\beta j} \psi_{kj} (1 + i\gamma_k) \partial^2 \beta / \partial x^2 - m_{kj} \rho_{kj}^2 \partial^2 \beta / \partial t^2 -$$

$$- m_{kj} h_{\beta j} \partial^2 (y + h_{\beta j} \beta) / \partial t^2 = 0 .$$

/9/

Перетворивши рівняння /9/ з двома змінними x і t в рівняння з однією змінною, виразивши розв'язок через початкові параметри і представивши їх в матричній формі, отримаємо

$$Z_j = P_j G_j Z_{j-1} ,$$

/10/

де Z_j і P_j - матриці параметрів в j -тому перерізі стержня і зосередженої маси j -тої ділянки; G_j - перехідна матриця жорсткості невагомої ділянки стержня, яка міститься між j -тим і $j-1$ -м перерізом; $j = 1, 2 \dots n, n+1 \dots m$ /вирази для них подані в дисертації/.

Структура алгоритму розрахунку параметрів коливань пакету хлестів представляє собою цикл алгоритмічних операцій, які багаторазово повторюються та відповідають переходові від однієї ділянки до другої, і має вигляд:

$$Z_m = P_m G_m \dots P_{n+1} G_{n+1} (P_n G_n \dots$$

$$\dots P_1 G_1 P_0 G_0 Z_0 + D_2) + D_1 ,$$

/II/

де Z_m і Z_0 - матриці-стовбці параметрів в m -ному і нульовому перерізах пакету хлестів; D_1 і D_2 - матриці реакцій опор. На основі розв'язання матричного рівняння /II/ були отримані часткові рівняння і вирази для визначення відносних амплітуд /форм/ згинних і крутильних коливань пакету хлестів

тів при його транспортуванні в навантаженому і напівнавантаженому положеннях.

В результаті проведення експериментальних і аналітичних досліджень вільних згинних коливань хлестів і пакетів було встановлено, що в діапазоні кругової частоти від 0 до 150с^{-1} лежать п'ять частот для навантажених і три для напівнавантажених хлестів. З них по крайній мірі три повинні відображатися розрахунковою схемою системи тягач + пакет хлестів + розпуск і одна-дві - розрахунковою схемою тягач + пакет хлестів /дерев/. При розрахунку коливань пакету хлестів з застосуванням матричного методу початкових параметрів для відтворення перших трьох головних коливань пакету в навантаженому положенні достатньо розділити пакет на шість-вісім рівних ділянок, в напівнавантаженому - на три /чотири/ ділянки. При представленні пакету деревини дискретною моделлю число зосереджених мас повинно складати чотири-п'ять /з них дві-три пружнопідвішені/ для пакету хлестів в навантаженому положенні і три-чотири /з них одна-дві пружнопідвішені/ для пакету сортиментів і пачки хлестів /дерев/, яка транспортується в напівпідвішеному положенні. . . .

Розходження розрахункових і експериментальних значень власних частот пакету хлестів склало для першої частоти - 7%, другої + 4%, третьої - п'ятої - 15,5% /в окремих випадках до 27%, що підтверджує достовірність запропонованої математичної моделі. Для визначення величини і розміщення дискретних мас, якими умовно заміняється розподілена маса пакету хлестів /рис.3, б/ при розгляданні його спільних коливань з транспортними ланками, автором запропоновані такі аналітичні залежності:

при моделюванні розподіленої маси пакету хлестів трьома дискретними масами

$$x_1 = a_1 / d_1 ; \quad m_{x1} = b_1 / U_1^2 ; \quad /12/$$

чотирма дискретними масами

$$x_1 = (a_2 - a_1 U_{22} / U_{21}) / (d_2 - d_1 U_{22} / U_{21}) ;$$

$$x_2 = (a_2 - a_1 U_{12} / U_{11}) / (d_2 - d_1 U_{12} / U_{11}) ;$$

$$m_{x1} = (b_2 U_{21}^2 - b_1 U_{22}^2) / (U_{12}^2 U_{21}^2 - U_{11}^2 U_{22}^2);$$

$$m_{x2} = (b_2 U_{11}^2 - b_1 U_{12}^2) / (U_{11}^2 U_{22}^2 - U_{12}^2 U_{21}^2). \quad /13/$$

Аналогічні рівняння отримані і для дискретної моделі з п'ятьох мас.

В рівняннях /12, 13/

$$b_R = \sum_{x=1}^K m(x) U_{xR}^2 \Delta x; \quad d_R = \sum_{x=1}^K m(x) U_{xR} \Delta x;$$

$$a_R = \sum_{x=1}^K m(x) U_{xR} x \Delta x \quad R = 1, 2 \dots N,$$

де U_{xR} і U_{jR} - амплітуди пружних коливань відповідно пакету хлестів в перерізі X і j -тої маси моделі при R -тій формі; X - віддаль від комлевого перерізу, $X = 1, 2 \dots K$; ΔX - крок інтегрування.

Для всіх випадків, що розглядаються, маси, приведені до опор, визначаються за формулами

$$m_{c1} = [m_x \rho_{yx}^2 - \sum_{j=1}^N m_{xj} v_j (v_j - v_{c1})] / [v_{c1} (v_{c1} - v_{c2})];$$

$$m_{c2} = [m_x \rho_{yx}^2 - \sum_{j=1}^N m_{xj} v_j (v_j - v_{c2})] / [v_{c2} (v_{c2} - v_{c1})],$$

де m_x і ρ_{yx} - маса і радіус інерції пакету хлестів відносно поперечної осі, яка проходить через його центр ваги; v_j - віддаль від j -тої маси до центру ваги пакету, $v_j = c - x_j$; $v_{c1} = c - a$; $v_{c2} = c - a - l_0$; a і c - передній звис і абсциса центру ваги пакету хлестів.

Значення коефіцієнтів жорсткості пакету хлестів в місцях приведення зосереджених мас встановлюється виходячи з припущення, що вони дорівнюють силам, які треба прикласти до системи, щоби утримати її в рівноважному положенні, і визначаються через коефіцієнти впливу, що обраховуються з використанням методів будівельної механіки за відомими значеннями $EJ\psi(EJ\psi')$.

Для реалізації методу дискретизації пакету складені алгоритми і програми розрахунку параметрів моделі пакету хлестів з зосередженими параметрами і отримані графічні залежності по їх

визначенню до основних видів транспортованої довгомірної деревини.

Б. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЛІСОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

В структуру математичної моделі входять рівняння, які описують кутові φ / коливання підсистеми двигун-трансмісія-шини і лінійні x, y, z / та кутові α, β, γ / коливання транспортних ланок і пакету хлестів в трьох взаємперпендикулярних площинах, а також рівняння внутрішніх зв'язків і керуючих дій.

На вхід системи поступають геометричні i, q, θ_i / і механічні f, φ / параметри опорної поверхні в функції шляху, які спільно з параметрами системи формують значення параметрів взаємодії i -ного колеса k -тої осі i -того візка з дорогою - коефіцієнтів буксування b_{ikl} і опору коченню f_{ikl} , ординат мікропрофілю g_{ikl} , кутів уводу δ_{yikl} , прогинів шин δ_{wik} і δ_{vik} , які в свою чергу, утворюють сили і моменти взаємодії колеса з дорогою - моменти зчеплення $M_{\varphi ikl}$, поздовжні сили F_{ikl} , бокові сили Y_{ikl} і стабілізуючі моменти M_{irk} , вертикальні реакції R_{zikl} та їх динамічні складові Z_{wikl} і $M_{\varphi wik}$. В склад поздовжніх сил F_{ikl} входять складові F_{gikl} , які обумовлені дією нерівностей мікропрофілю. В обчисленні сил F_{ikl} приймають також участь крутні моменти на колесах $M_{\psi ikl}$. Крім перерахованих сил і моментів на лісотранспортний засіб створюють дію сила опору повітря P_w і моменти опору повороту керованих коліс $M_{\psi n}$ n -них транспортних ланок.

В рівняння коливань підсистеми двигун-трансмісія-шини вводяться значення крутного моменту двигуна M_d , моментів тертя муфти зчеплення $M_{\psi c}$ і коробки передач M_k , моментів зчеплення $M_{\varphi ikl}$ і гальмівних моментів на осях $M_{\tau ikl}$, а також положення важелів настроювання регулятора X_h та передавальне число трансмісії ϵ_{tr} , які формуються з використанням логічних залежностей.

Реакції внутрішніх зв'язків в трансмісії M_j та підвісках Z_{pi} і $M_{\varphi i}$, зчіпних пристроях $F_{n, n-1}$, $F_{n, n+1}$ та $M_{\varphi n}$, з'єднаннях пакету з n -ними транспортними ланками $M_{\psi n}$ і масово-інерційні параметри $\{m, p, J\}$ / також обраховуються окремо і вводяться в відповідні рівняння руху системи.

Рівняння динаміки узагальненої лісотранспортної системи мають вигляд:

підсистема двигун-трансмсія-шини /рис.4, а/

$$m_p \ddot{z} + N(\dot{\varphi}_g) \dot{z} + E(x_n, z) + A(h) \dot{\varphi}_g^2 = 0;$$

$$J_g \ddot{\varphi}_g - M_g + M_{cu} = 0; J_c \ddot{\varphi}_c - M_{cu} + M_1 = 0 \quad \text{для } T_M;$$

$$(J_g + J_n) \ddot{\varphi}_g - M_g + M_n = 0; J_T \ddot{\varphi}_T - M_T + M_1 = 0 \quad \text{для } T_{GM};$$

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 - M_1 + M_{cn} = 0; J_2 \ddot{\varphi}_2 - M_{cn} + M_{j-1} = 0 \quad \text{з розривом ПП};$$

$$J_1 \ddot{\varphi} - M_1 + M_{kk} + M_{k(k+1)} = 0; J_2 \ddot{\varphi}_2 - M_{kk} - M_{k(k+1)} +$$

$$+ M_{j-1} = 0 \quad \text{без розриву ПП}; J_j \ddot{\varphi}_j - M_{j-1} + M_j = 0;$$

$$J_m^p \ddot{\varphi}_m^p - M_{m-1} + \sum_i M_{mi}' = 0 \quad \text{при розгалуженні } P_\delta;$$

$$0,5 J_{m+1,i}^p \ddot{\varphi}_{m+1,i}^p - 0,5 M_{mi}' + M_{m+1,ik} = 0 \quad \text{при } P_g;$$

$$0,5 J_{oik} \ddot{\varphi}_{oik} - 0,5 M_{ka,ik} + M_{noikl} = 0;$$

$$J_{kikl} \ddot{\varphi}_{kikl} - M_{noikl} + M_{\omega\varphi ikl} = 0; \quad /14/$$

n - на транспортна ланка /рис.4, б, в, г/

$$m_{nn} (\ddot{x}_n - \dot{y}_n \dot{\beta}_n - \dot{z}_n \dot{\alpha}_n) - m_{nn} (h_{\alpha n} + z_n) \ddot{\alpha}_n +$$

$$+ P_{\psi} - F_{n,n-1} + Y_{n,n-1} \beta_{n,n-1} + F_{n,n+1} + F_{c1,2} \pm$$

$$\pm Y_{c1,2} \beta_{nk} + \sum_i F_{ki} + \sum_R \sum_L \sum_i F_{ikl} = 0;$$

$$m_n (\ddot{y}_n + \dot{\beta}_n \dot{x}_n - \dot{z}_n \dot{\beta}_n) - m_{nn} (h_{\beta n} + z_n) \ddot{\beta}_n +$$

$$+ P_{\psi} \delta_0 - Y_{n,n-1} - F_{n,n-1} \beta_{n,n-1} + Y_{n,n+1} + Y_{c1,2} \mp$$

$$\mp F_{c1,2} \beta_{nk} - \sum_i \sum_R \sum_L Y_{ikl} + \sum_i \sum_R \sum_L F_{ikl} \theta_{ikl} = 0;$$

$$J_n \ddot{\beta}_n - (l_{2n} + a_n) (Y_{n,n-1} + F_{n,n-1} \beta_{n,n-1}) - (b_n +$$

$$+ l_{1n}) Y_{n,n+1} \pm a_n (Y_{c1,2} \mp F_{c1,2} \beta_{nk}) - \sum_i \sum_R \sum_L r_{ik} Y_{ikl} -$$

$$- \sum_i \sum_R \sum_L c_{ik} F_{ikl} \theta_{ikl} - \sum_i \sum_R \sum_L M_{ikl} \mp M_{cn} \mp M_{jn} = 0,$$

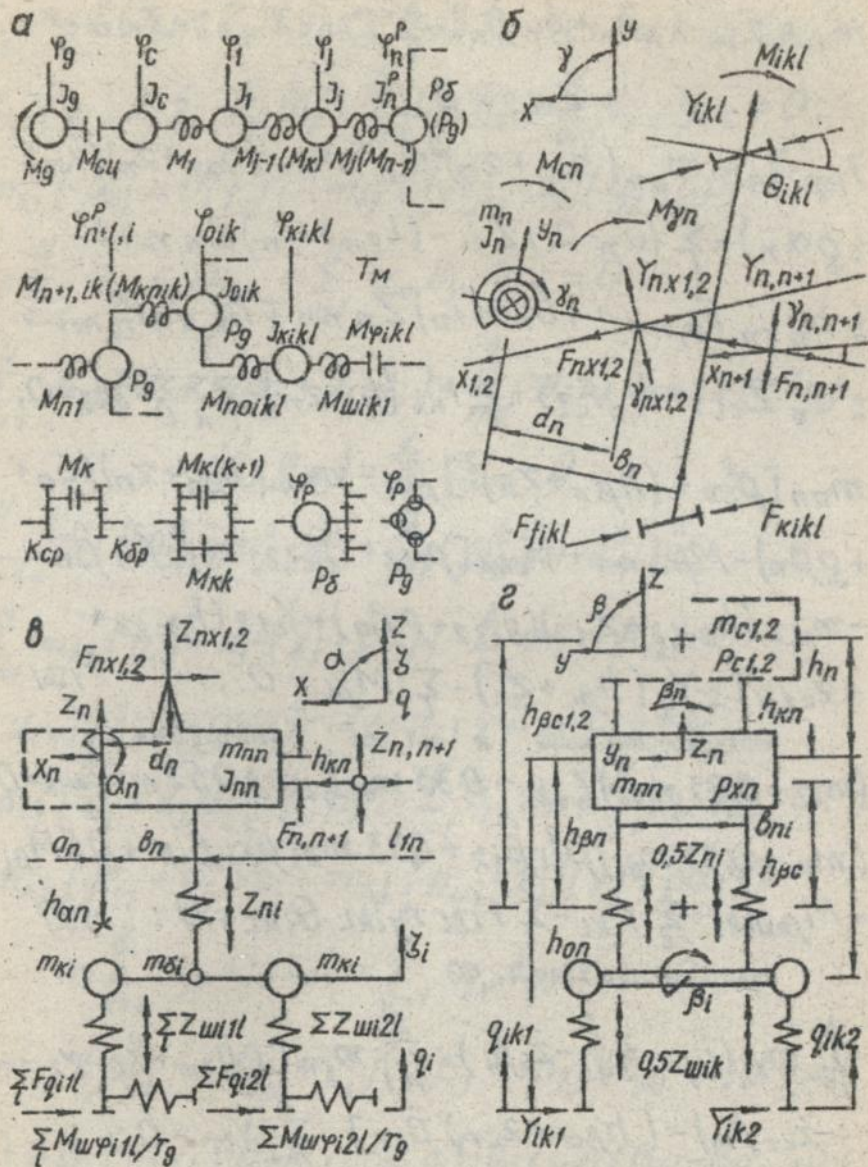


Рис.4. Схемні моделі, які описують коливання підсистеми двигун - трансмісія - шни /а/ і n-юю лісотранспортноу ланки в горизонтальній /б/, вертикальній позадочній /в/ і поперечній /г/ площинах

$$m_{nn} (\ddot{z}_n + \dot{x}_n \dot{\alpha}_n + \dot{y}_n \dot{\beta}_n) - \sum_i Z_{ni} - Z_{n, n-1} + Z_{n, n+1} + Z_{c1,2} = 0;$$

$$\begin{aligned} J_{nn} \ddot{\alpha}_n + m_{nn} (h_{an} + z_n)^2 \ddot{\alpha}_n - m_{nn} (h_{an} + z_n) (\ddot{x}_n \pm \rho \alpha_n) - \sum_i (a_n - a_i) Z_{ni} - (L_{2n} + a_n) Z_{n, n-1} \pm \\ \pm h_{n, kn} F_{n, n-1} + (b_n + L_{1n}) Z_{n, n+1} \mp h_{n, kn} F_{n, n+1} \pm \\ \pm d_n Z_{c1,2} - h_n F_{c1,2} + \sum_i F_{ki} (h_i + z_n) - \sum_i \sum_k \sum_l F_{ikl} = 0; \\ m_{nn} [\rho_{\alpha n}^2 + (h_{\beta n} + z_n)^2] \ddot{\beta}_n - m_{nn} (h_{\beta n} + z_n) (\ddot{y}_n + \rho \beta_n) - M_{\beta n, n-1} + m_{c1,2} [\rho_{c1,2}^2 + (h_{c1,2} + z_{c1,2})^2] \ddot{\beta}_n - \\ - m_{c1,2} (h_{\beta c1,2} + z_{c1,2}) (\ddot{y}_{c1,2} + \rho \beta_n) + Y_{c1,2} (h_{\beta c1,2} + z_{c1,2}) \pm Y_c (h_{\beta c} + z_c) - \sum_i M_{\beta i} = 0; \end{aligned} \quad /15/$$

непідресорена маса k -тої осі i -того візка

$$\begin{aligned} (m_{ki} + 0,33 m_{\delta i}) \ddot{\zeta}_{ik} + 0,33 m_{\delta i} \ddot{\zeta}_{ik}' + 0,5 Z_{ni} - Z_{wik} = 0; \\ (m_{ki} + 0,33 m_{\delta i}) \rho_{kl}^2 \ddot{\beta}_{ik} + 0,33 m_{\delta i} \rho_{\delta i}^2 \ddot{\beta}_{ik}' + 0,5 M_{\beta i} - \\ - M_{\beta wik} - \sum_l Y_{ikl} - \sum_l F_{ikl} r_{gikl} \theta_{ikl} = 0; \end{aligned} \quad /16/$$

пакет хлестів /рис.3, 6/

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N m_{xj} (\ddot{y}_j + \dot{x}_j \dot{\beta}_j - \dot{z}_j \dot{\beta}_j) + \sum_{r=1}^2 m_{cr} [(\ddot{y}_{cr} + \dot{x}_{cr} \dot{\beta}_x - \\ - \dot{z}_{cr} \dot{\beta}_m) - (h_{\beta cr} + z_{cr}) \ddot{\beta}_{cr}] - \sum_{r=1}^2 Y_{cr} = 0; \\ \sum_{j=1}^N m_{xj} (\rho_{zj}^2 + v_j^2) \ddot{\beta}_j + \sum_{r=1}^2 m_{cr} (\rho_{zcr}^2 + v_{cr}^2) \ddot{\beta}_x - \end{aligned}$$

$$-\sum_{j=1}^N m_{xj} [(h_{\beta j} + z_j)(\ddot{y}_j + g\beta_j)] v_j - Y_{c1} v_{c1} + Y_{c2} v_{c2} = 0;$$

$$m_{xj} (\ddot{y}_j + \dot{x}_j \dot{\beta}_j - \dot{z}_j \dot{\beta}_j) + \sum_{v=1}^N c'_{jv} y_{xv} + \sum_{v=1}^N k'_{jv} \dot{y}_{xv} = 0;$$

$$m_{xj} (\rho_{zj}^2 + v_j^2) \ddot{y}_j - m_{xj} [(h_{\beta j} + z_j)(\ddot{y}_j + g\beta_j)] v_j + \sum_{v=1}^N v_{jv} c'_{jv} y_{xv} + \sum_{v=1}^N v_{jv} k'_{jv} \dot{y}_{xv} = 0;$$

$$\sum_{j=1}^N m_{xj} (\ddot{z}_j + \dot{x}_j \dot{\alpha}_j + \dot{y}_j \dot{\beta}_j) + \sum_{r=1}^2 m_{cr} (\ddot{z}_{cr} + \dot{x}_{cr} \dot{\alpha}_x + \dot{y}_{cr} \dot{\beta}_m) - \sum_{r=1}^2 Z_{cr} = 0;$$

$$\sum_{j=1}^N m_{xj} (\rho_{y_j}^2 + v_j^2) \ddot{\alpha}_j + \sum_{r=1}^2 (\rho_{y_{cr}}^2 + v_{cr}^2) \ddot{\alpha}_x -$$

$$-\sum_{j=1}^N m_{xj} (h_{\alpha j} + z_j)(\ddot{x}_j + g\alpha_j) - \sum_{r=1}^2 m_{cr} (h_{\alpha cr} + z_{cr})(\ddot{x}_{cr} + g\alpha_x) - Z_{c1} v_{c1} + Z_{c2} v_{c2} = 0;$$

$$m_{xj} (\ddot{z}_j + \dot{x}_j \dot{\alpha}_j + \dot{y}_j \dot{\beta}_j) + \sum_{v=1}^N c_{jv} z_{xv} + \sum_{v=1}^N k_{jv} \dot{z}_{xv} = 0;$$

$$m_{xj} (\rho_{y_j}^2 + v_j^2) \ddot{\alpha}_j - m_{xj} (h_{\alpha j} + z_j)(\ddot{x}_j + g\alpha_j) + \sum_{v=1}^N v_{jv} c_{jv} z_{xv} + \sum_{v=1}^N v_{jv} k_{jv} \dot{z}_{xv} = 0;$$

$$m_{xj} [\rho_{x_j}^2 + (h_{\beta j} + z_j)^2] \ddot{\beta}_j - m_{xj} (h_{\beta j} + z_j)(\ddot{y}_j + g\beta_j) + c_{kj} (\beta_{x(j-1)} - \beta_{xj}) - c_{k(j+1)} (\beta_{xj} - \beta_{x(j+1)}) + k_{kj} (\dot{\beta}_{x(j-1)} - \dot{\beta}_{xj}) - k_{k(j+1)} (\dot{\beta}_{xj} - \dot{\beta}_{x(j+1)}) = 0.$$

Тут: m_p - маса рухомих частин паливного насосу і регулятора; $N(\varphi_g)$ - фактор демпфування; $E(x, z)$ - відновлювальна сила; $A(h)$ - інерційний коефіцієнт; x_h - положення важеля настройки регулятора; z - переміщення муфти регулятора; $h = h_{max} - z$ - положення важеля паливного насосу; T_M і T_{GM} - механічна і гідромеханічна передачі; PP - потік потужності; P_δ і P_g - блоковане і диференціальне розгалуження; $F_{ki} = (2m_{ki} + m_{\delta i})(x_n - h_i \alpha_n)$ - сили інерції поступального руху неідресорних мас. Решта позначень, а також рівняння переміщень і реакцій зв'язків приведені в дисертації.

В результаті аналізу структури рівнянь /14-17/ і оцінки можливої похибки від нехтування факторами, другорядними для кола завдань, що розглядаються, складені рекомендації з приведення рівнянь узагальненої лісотransпортної системи, до рівнянь, які описують рух типових лісотransпортних засобів, і отримані спрощені варіанти еквівалентної динамічної моделі, призначені для інженерних розрахунків.

Параметри взаємодії коліс з опорною поверхнею, які входять в рівняння руху /14-16/, визначалися шляхом дорожних випробувань лісотransпортних засобів в виробничих умовах з допомогою створеного під керівництвом автора комплексу вимірвальної апаратури. Результати випробувань підтвердили достовірність розроблених розрахункових моделей і обґрунтованість прийнятих при цьому припущень. Максимальна розбіжність дослідних і розрахункових даних не перевищує 5,6-9,1 /в окремих випадках 13%/.

На основі розробленого математичного описання під керівництвом і при участі автора складені алгоритми і створені програми імітації поступального руху /режими зрушення та розгін, рух з умови забезпечення максимальної продуктивності, гальмування/ і криволінійного курсового руху /маневри - вхід в круг, рух по кругу, переставка/, а також програми розрахунку параметрів коливань в вертикальній повздожній і поперечних площинах для основних типів лісотransпортних засобів з використанням методів статистичної динаміки. При цьому нелінійні характеристики пружних та демпфуючих елементів транспортних ланок враховувалися в результаті застосування методу статистичної лінеаризації, який стосовно до завдання, що розглядається, полягає в обрахуванні середніх квадратичних значень сил в пружних і демпфуючих елементах двома способами - за лінеаризованими

значеннями коефіцієнтів жорсткості та опору і за отриманими розрахунковими виразами, як результату проходження випадкового процесу через статичний кусково-лінійний елемент.

Для вивчення впливу характеристик пакету хлестів на коливання транспортних ланок розроблений алгоритмічний метод розрахунку параметрів коливань, побудований на застосуванні матричного методу початкових параметрів. Він передбачає заміну розподілених мас транспортних ланок і пакету хлестів зосередженими, приведеними до границь ділянок, а їх жорсткості постійними по довжині кожної ділянки. Алгоритм розрахунку параметрів вимушених коливань системи транспортні ланки + пакет хлестів має вигляд:

$$Z_p = Q_1 G_p T [Q_2 P_m G_m \dots P_{n+1} G_{n+1} (Q_3 P_n G_n \dots P_1 G_1 P_0 Z_0 + R_3) + R_2] + R_1 ,$$

де G_p - перехідна матриця жорсткості рами тягової ланки;
 T - матриця переходу через шарнірну опору; Q_i - матриця i -тої опори; R_i - матриця i -тої зосередженої гармонічної сили; $i = 1, 2, 3$. Вирази для перехідних матриць та їх елементів, а також шуканих амплітуд вертикальних лінійних і кутових переміщень підресорних мас і навантажень в пружних елементах транспортних ланок подані в дисертації.

Для попереднього розрахунку характеристик вимушених коливань лісотransпортних засобів від дії мікропрофілю розроблений метод автоматизованого формування рівнянь руху, побудований на представленні лінійної динамічної системи, як сукупності з'єднаних між собою зосереджених елементів, поданих одностаїно і описаних наближеними елементарними залежностями, що створює можливість знаходити рівняння руху системи безпосередньо з топології схеми, що розглядається. Відмінною особливістю побудованої на основі цього методу універсальної програми є здатність настроюватися на будь-який тип транспортного засобу і розрахунок будь-якого виду коливань, що значно ефективніше, ніж створення самостійних програм одноразового користування для кожного конкретного випадку.

6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІСОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

З метою встановлення відповідності колісних транспортних засобів реальним умовам експлуатації і розробки рекомендацій з підвищення ефективності їх використання виконані теоретичні і експериментальні дослідження впливу дорожніх умов, характеру вантажу, типу, вагового стану і конструктивних особливостей транспортних ланок на показники основних експлуатаційних властивостей лісотransпортних засобів, які застосовуються на трельованні і вивезенні деревини в передгірських і гірських районах Карпат. На основі аналізу результатів досліджень зроблені такі висновки:

на трельованні дерев від рубок догляду на відстані до 1 км доцільно використовувати колісні агрегати на базі малогабаритних сільськогосподарських тракторів класу 6-14 кН; покращення їх компоновки шляхом зчленування з активним напівпричіпом дозволяє суттєво підвищити тягові властивості і прохідність /для трактора Т-25А реалізована сила тяги зростає в середньому на 21%, буксування зменшується на 33%, що обумовлює значне збільшення рейсового навантаження /приблизно на одну третю/; при обладнанні гідроманіпулятором і затискним коником вони не поступаються за витратами трельовальним тракторам класу 30 кН;

при відстані більш як 1 км трельовання дерев від рубок догляду ефективно проводити в два ступені; використовуючи на першому ступені малогабаритні трактори з активним напівпричіпом і на другому - лісопромислові трактори класу 20-30 кН, обладнані гідроманіпулятором і затискним коником, в комплекті з двососовим розпуском /порівняно з одноступеневим трельованням ріст продуктивності досягає 25%, а зниження витрат - 50%/; при транспортуванні деревини в підвішеному положенні зменшується опір розміщенню пачки дерев /в 1,9-2,6 разів/, що дозволяє збільшити навантаження на рейс /в 1,5-2 рази/ і обумовлює відчутне пониження навантажень в трансмісії /для трактора Т-157 приблизно на одну третину/ та покращення швидкісних властивостей і плавності ходу агрегату /критичні швидкості руху з плавності ходу зростають в 1,3-2 рази/ при задсволенні вимог до його поперечної стійкості;

для трельовання дерев /хлестів/ від рубок головного користу-

вання доцільно використовувати на невеликих відстанях /до 2 км/ лісопромислові трактори класу 30 кН, а при більших відстанях, на другому ступені - транспортні агрегати на базі тракторів цього ж класу з розпуском /порівняно з одноступеневим трельованням ріст продуктивності досягає 14%, а пониження витрат - 11%/ або сортиментовози на їх базі; обладнання лісопромислового трактора /4 x 4/ додатковою активною віссю забезпечує значне підвищення його вантажопід'ємності /майже в 2 рази/ і понижує інтенсивність коливань /вертикальні прискорення задньої секції трактора зменшуються на 36%/; забезпечення потрібної плавності ходу сортиментовозів на базі колісних тракторів класу 30 кН з подовженою рамою досягається шляхом підресорювання обох секцій з введенням як додаткових пружних елементів порожнистих гумових ресор стиску /вертикальні прискорення на сидінні в діапазоні частот 0,88 - 1,4 Гц понижуються на 17 - 20%, остова над задньою віссю на 24 - 39%/ при збільшенні довготривалості ресор /в 1,6 - 2 рази/ і зменшенні їх металемісткості;

для вивезення деревини на дорогах з низькою несучою здатністю доцільно використовувати автопоїзди на базі автомобілів групи В, які володіють високими тягово-швидкісними властивостями, плавністю ходу і прохідністю, а на дорогах з твердим покриттям - автопоїзди на базі автомобілів групи А, що відрізняються високими техніко-економічними показниками /комплексний показник ефективності - умовна питома продуктивність в середньому в 1,5 разів вища, а витрати на перевезення 1 т деревини на 17% нижчі, ніж для автопоїздів групи В/; обладнання автомобілів групи В широкопрофільними шинами забезпечує їх задовільну прохідність на зволжених ділянках ненакатаних ґрунтових доріг; встановлення на автомобілях групи А гідроманіпуляторів для навантаження деревини обумовлює збільшення змінної продуктивності /на 10 - 22%/ і пониження витрат на перевезення деревини /на 4 - 10%/; забезпечення потрібної плавності ходу балансирних розпусків при вивезенні сортиментів досягається введенням в конструкцію їх системи підресорювання підвіски зі статичним прогином 5-7 см /вертикальні прискорення зменшуються на 10 - 45%, переміщення осі - на 27 - 40% і ймовірність відриву коліс від поверхні дороги - в 3,1-3,6 разів/.

Для забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей лісотransпортних засобів, призначених для перевезення деревини в

навантаженому положенні, доцільно дотримуватися таких рекомендацій при обґрунтуванні параметрів їх загальної компоновки /рис.5/:

зміщення коника від задньої осі до центру ваги тягача повинно знаходитися в межах - 20...30 см, в т.ч. для автопоїздів, обладнаних гідроманіпулятором - 0...15 см, для транспортних агрегатів на базі лісопромислових тракторів - 0...20 см;

довжина транспортованого пакету деревини повинна бути не менша 9-12 м, а розподіл навантаження від нього на коники тягача і розпуска - в співвідношенні 1:2 /при необхідності долю навантаження на розпуск можна понизити до співвідношення 1:1,4, але не менше/;

для керованого повороту розпуску необхідно застосовувати поворотний пристрій з передавальним числом, яке не виходить за межі 0,55...0,75 /рис.5, і/, а в разі жорсткого зв'язку тягача з розпуском - компенсатор кінематичної невідповідності або кріпити дишло безпосередньо до коника тягача.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаного комплексу робіт по створенню прикладних методів теорії руху колісних лісотранспортних засобів обґрунтована методика визначення характеристик опорної поверхні, як випадкової стаціонарної і ергодичної функції, з використанням ЕОМ; проведені перші заміри макро- та мікропрофіля і ~~ма-~~
~~ни~~ трельзвальних волоків і лісовозних автодоріг в гірській місцевості; одержані нові дані про статистичні характеристики лісних доріг і вперше проведено їх узагальнення для поперічного мікропрофілю; створені алгоритми і програма моделювання реалізації випадкових функцій профілю і плану за заданими щільністю розподілу і кореляційною функцією;

розроблені прикладні методи аналітико-експериментального визначення фізико-механічних характеристик стовбурів деревини без порушення їх цілісності і пакетів з них; створена експериментальна установка і проведені заміри модулів пружності деревини ялини, коефіцієнтів жорсткості і непружного опору пакету хлестів при згині і крученні; вперше виявлено характер їх зміни по довжині стовбура /пакету/ і отримані вимірні вирази для його опису;

розроблена оригінальна математична модель пакету хлестів, побудована на заміні його ступінчастим стержнем, розподілена маса і жорсткість якого змінюються ступенями при переході від од-

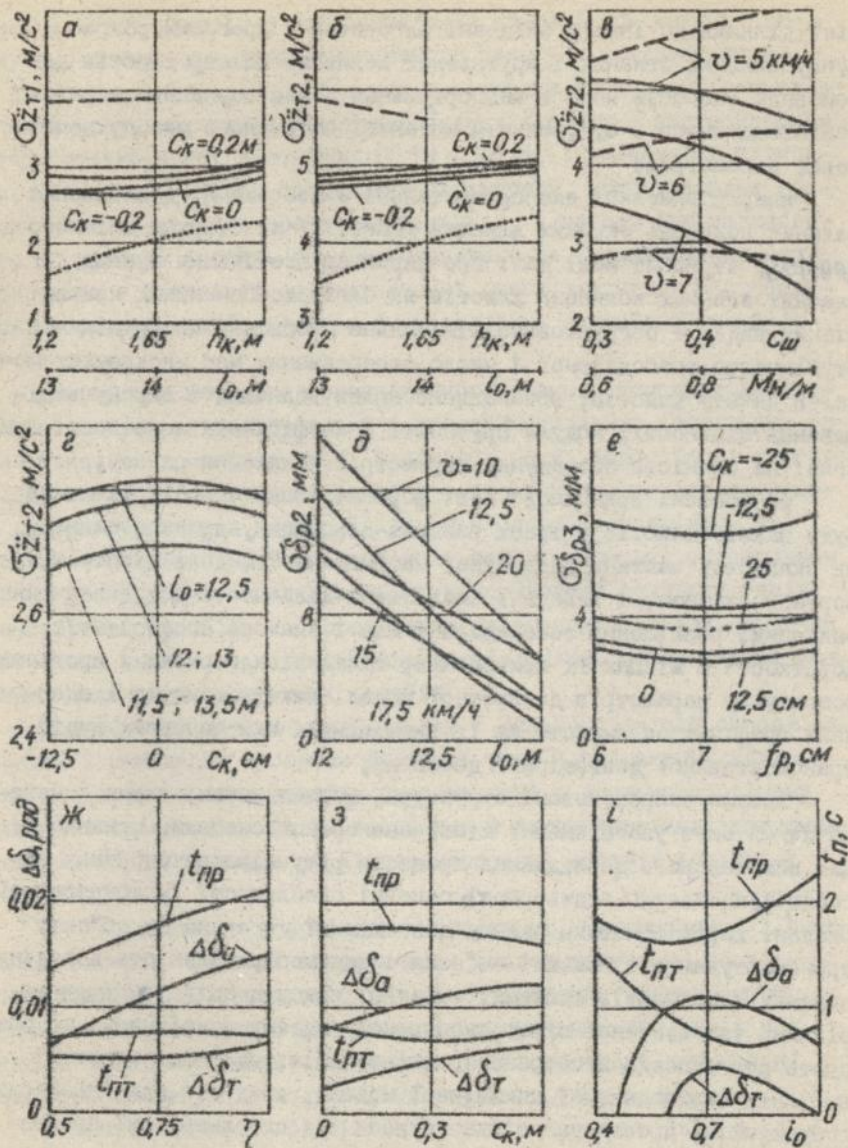


Рис.5. Вплив параметрів конструкції на показники плавності ходу /а-в/ і керуваності /ж-и/ лісотранспортних засобів на базі а-в - Т-157 /-/, Т-25АМ /-/-/, Т-157 з розпуском /.../; г-с - МАЗ-509А; ж-і - ЗІЛ-131

нієї ділянки до іншої; складені алгоритми і програми розрахунку вільних згинних і крутильних коливань пакету хлестів для основних способів його транспортування з застосуванням широко розповсюдженого в будівельній механіці матричного методу початкових параметрів;

вперше виконані експериментальні і теоретичні дослідження вільних коливань окремих хлестів /пакетів/ як стержня змінного ~~перерізу~~; отримані нові дані про характер протікання кривих власних згинних коливань хлестів як багатокомпонентних кривих різних видів і обґрунтовано мінімально необхідне число ділянок ступінчасто-розподіленої і число зосереджених мас дискретних модулів пакету хлестів; встановлено вплив величини і закону вимірювання щільності, модуля пружності і коефіцієнта жорсткості при згині на точність розрахунку параметрів коливання пакету;

розроблені принципово нові формалізована схема і рівняння руху пакету хлестів у трьох взаємно-перпендикулярних площинах, як складової частини дискретної математичної моделі лісотранспортної системи, і виведені аналітичні залежності для визначення величини, розміщення зосереджених мас і значень коефіцієнтів жорсткості в місцях їх приведення; складені алгоритми і програми розрахунку параметрів дискретної моделі пакету хлестів і одержані графічні залежності за їх визначенням для основних видів транспортованої довгомірної деревини;

вперше запропоновані структура, формалізовані схеми і математичний опис узагальненої лісотранспортної системи, призначені для комплексного дослідження процесів руху лісотранспортних засобів, ~~що~~ адекватно відтворюють основні особливості їх конструкції, реальні характеристики пакету довгомірної деревини як об'єкту транспортування і взаємні зв'язки і взаємообумовленість поведінки окремих компонентів системи; складені рекомендації до зведення рівнянь узагальненої лісотранспортної системи до рівнянь, що описують рух типових лісотранспортних засобів; одержані спрощені варіанти еквівалентної динамічної моделі, придатні для інженерних розрахунків; проведена оцінка похибок від спрощень, які приймаються при складенні розрахункових моделей;

складені алгоритми і програми формування керуючих впливів і відтворення коливань підсистеми двигун - трансмісія - шини в поступальному русі лісотранспортного засобу з урахуванням його позадкових кренів, відтворення коливань системи транспортні

ланки + пакет хлестів в горизонтальній площині при криволінійному курсовому русі лісотransпортного засобу з урахуванням його поперечних кренів і розрахунку параметрів випадкових вимушених коливань основних типів лісотransпортних засобів з застосуванням методу статистичної лінеаризації їх пружних і демпфуючих елементів, матричного методу початкових параметрів, який дозволяє гранично систематизувати процес розрахунків, і методу автоматизованого формування рівнянь руху, побудованого на їх знаходженні безпосередньо з топології формалізованої схеми і заданих настрояватися на розрахунок будь-якого виду коливань одномірної механічної системи;

розроблена методика дорожніх випробувань і комплект виміральної апаратури для проведення експериментальних досліджень тягово-швидкісних властивостей, плавності ходу, керованості курсової стійкості лісотransпортних засобів у виробничих умовах; проведені виміри параметрів взаємодії коліс з опорною поверхнею, які входять в рівняння руху транспортних ланок; виконані експериментальні дослідження експлуатаційних властивостей основних типів транспортних засобів, застосовуваних на транспортуванні деревини в гірських умовах, і підтверджена достовірність створених математичних моделей і програмних засобів.

Розроблений математичний апарат і складені на цій основі алгоритми і прикладні програми імітації руху і розрахунку коливань лісотransпортних засобів представлені в систематизованому вигляді і орієнтовані на застосування в автоматизованих системах дослідження і проектування лісотransпортних засобів довільної комплектації.

З використанням розроблених методичних, математичних і програмних засобів виконані теоретичні і експериментальні дослідження впливу умов експлуатації і конструктивних властивостей, розроблені рекомендації для вибору раціональних варіантів компоновки і технологічних схем роботи і обґрунтовані оптимальні параметри конструкції колісних лісотransпортних засобів.

Економічний ефект від впровадження в період з 1978 р. до 1988 р. розроблених рекомендацій по загальній компоновці і параметрах конструкцій лісотransпортних засобів на чотирьох підприємствах Мінлісдеревпрому УРСР і двох підприємствах Мінлісгоспу УРСР склав 33 /очікуваний - 106 тис.крб./, методика проведення експериментальних досліджень транспортних засобів і обробки результатів в Івано-Франківському ЛІСГ Мінлісдеревпрому

УРСР, ДИТБ сільгоспзілмаш Міністерства тракторного і сільсько-
господарського машинобудування СРСР і ВКЕІ автобуспром Мінавто-
прому СРСР - 42 /106 тис.крб./ складених на основі розробленого
математичного апарату алгоритмів і програм розрахунку показни-
ків експлуатаційних властивостей в ДИТБ сільгоспзілмаш і ВКЕІ
автобуспром - 49 /100 тис.крб./.

СПИСОК ОСНОВНИХ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Роботи монографічного і учбового плану:

1. Библюк Н.И. Основы динамики колесных лесотранспортных машин. - Львов, 1969. - 208 с. - Деп. в УкрНИИТИ 15.01.91, № 126 Укр1.

2. Библюк Н.И. Прикладная теория динамических процессов лесотранспортных машин: Учебное пособие для вузов по специальности "Лесной инженерное дело" - Киев: Вища школа, 1992.

Інші роботи:

3. Библюк Н.И. Воздействие лесовозного автомобиля на гравийную дорогу // Лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Межвед. респ. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1965. - Вып. 2. - С. 80-91.

4. Гастев Б.Г., Библюк Н.И., Билык Б.В. Исследование статистических характеристик микропрофиля горных лесовозных автомобильных дорог // Лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Межвед. респ. науч. сб. - Киев: Будівельник, 1966. - Вып. 3. - С. 97-105.

5. Библюк Н.И. Аналитическое определение измерителей плавности хода и безопасности движения лесовозного автопоезда // Лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Межвед. респ. науч. сб. - Киев: Будівельник, 1966. - Вып. 3. - С. 98-106.

6. Гастев Б.Г., Библюк Н.И., Билык Б.В. Расчет долговечности рессор лесовозного автомобиля по заданным статистическим характеристикам дорожного микропрофиля // Лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Межвед. респ. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1967. - Вып. 4. - С. 93-99.

7. Гастев Б.Г., Библюк Н.И. Статистическое исследование вертикальной динамики связанной системы. // Лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Межвед. респ. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1967. - Вып. 4. - С. 75-86.

8. Библюк Н.И. Исследование некоторых вопросов вертикальной динамики лесовозных автопоездов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Львов, 1966. - 16 с.

9. Библюк Н.И., Библюк М.А., Яремич В.В. До питання про методику експериментальної оцінки плавності ходу лісовозних автопоїздів // Лісова палер. і деревообробна пром-сть: Респ. міжвід. наук.-техн. сб. - Київ: Будівельник, 1972. - Вип. 9. - С. 22-27.

10. Библюк Н.И., Перетятко Б.Т. Экспериментальное исследование собственных частот хлыста как предмета транспортирования // Лесн. хоз-во, лесн., бум. и деревообработ. пром-сть: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1974. - Вып. 3. - С. 64-69.

11. Библюк Н.И., Модвиць С.И. Экспериментальное исследование свободных колебаний лесовозного автопоезда // Лесн. журн. - 1974. - № 5. - С. 47-51 /Изв. высш. учеб. заведений/.

12. Библюк Н.И. Исследование влияния дорожных условий и состава лесовозного автопоезда на плавность его хода // Лесн. журн. - 1975. - № 4. - С. 44-49. /Изв. высш. учебн. заведений/.

13. Библюк Н.И. О выборе расчетной модели при исследовании вертикальных колебаний лесовозного автопоезда // Лесн. журн. - 1977. - № 1. - С. 40-44 /Изв. высш. учеб. заведений/.

14. Библюк Н.И. Применение матричного метода начальных параметров для расчета колебаний лесовозного автопоезда // Лесн. журн. - 1977. - № 3. - С. 42-47 /Изв. высш. учеб. заведений/.

15. Библюк Н.И., Витвицкий В.Н., Паллаг М.М. Влияние параметров лесовозного автопоезда на его тормозную безопасность // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообаб.пром-сть: Респ.межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1976. - Вып. 9. - С. 64-68.

16. Библюк Н.И. Применение электрического моделирования для исследования колебаний лесовозного автопоезда // Лесн.хоз-во., лесн., бум. и деревообаб.пром-сть: Респ.межвед.научно-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1978. - Вып. 9. - С. 68-72.

17. Библюк Н.И. О влиянии микропрофиля дороги на продольные колебания лесовозного автопоезда // Машины и орудия для механизации лесозаготовок и лесного хозяйства: Межвуз. сб. науч.тр. / ЛТА. - Л., 1978. - Вып. 7. - С. 45-49.

18. Библюк Н.И., Слипачук В.М., Мирецкий И.Л. О влиянии некоторых параметров лесовозного автопоезда на поперечную устойчивость его движения // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообаб.пром-сть: Респ.межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1979. - Вып. 10. - С. 25-28.

19. Библюк Н.И. О выборе расчетной модели при исследовании поперечных колебаний лесовозного автопоезда // Лесн.журн. - 1979. - № 2. - С. 32-37 /Изв. высш. учеб. заведений/.

20. Библюк Н.И. Исследование свободных колебаний пакета хлыстов переменного поперечного сечения // Лесн.журн. - 1981. - № 5. - С. 41-45 /Изв. высш. учеб. заведений/.

21. Бойко А.А., Библюк Н.И., Мирецкий И.Л. Определение модуля упругости хлыстов при кручении // Лесн.журн. - 1981. - № 6. - С. 59-63 /Изв. высш. учеб. заведений/.

22. Библюк Н.И., Витвицкий В.Н., Бойко А.А., Перетятко Б.Т., Мирецкий И.Л. Определение модуля упругости при изгибе хлыстов без нарушения их целостности // Лесн.журн. - 1981. - № 6. - С. 45-50 /Изв. высш. учеб. заведений/.

23. Мирецкий И.Л., Библюк Н.И. О применении упрощенных расчетных схем для исследования вертикальных колебаний лесовозного автопоезда // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообаб.пром-сть: Респ.межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1982. - Вып. 13. - С. 78-82.

24. Библюк Н.И., Перетятко Б.Т. О схожести результатов теоретических и экспериментальных исследований изгибных колебаний хлыстов // Лесн.журн. - 1983. - № 6. - С. 38-42 /Изв. высш. учебн. заведений/.

25. Библюк Н.И. Влияние параметров компоновки на плавность хода лесовозного автопоезда // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообаб.пром-сть: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1983. - Вып. 14. - С. 50-54.

26. Библюк Н.И. Метод расчета величины и размещения дискретных масс пакета хлыстов // Лесн. журн. - 1984. - № 3. - С. 35-39 /Изв. высш. учеб. заведений/.

27. Библюк Н.И., Бойко А.А., Мирецкий И.Л., Стыранивский О.А. О динамических характеристиках пакета хлыстов как предмета транспортирования // Лесн. журн. - 1985. - № 6. - С. 31-35 /Изв. высш. учеб. заведений/.

28. Библюк Н.И., Стыранивский О.А., Перетятко Б.Т., Бойко А.А. Обобщенные статистические характеристики микропрофилей лесных дорог // Лесн. журн. - 1986. - № 4. - С. 44-48 /Изв. высш. учеб. заведений/.

29. Дузанов В.Г., Библюк Н.И. Математическая модель курсового движения лесовозного автопоезда // Лесн. журн. - 1986. - № 6. - С. 35-42 /Изв. высш. учеб. заведений/.

30. Библюк Н.И., Стыранивский О.А. Анализ влияния вариантов компоновки трелевочного трактора на технико-экономические показатели его работы // Лесн. журн. - 1987. - № 5. - С. 50-55 /Изв. высш. учеб. заведений/.

31. Бойко А.А., Библюк Н.И., Перетятко Б.Т. Статистическая модель поперечного микропрофиля лесовозных дорог // Лесн. журн. - 1987. - № 6. - С. 44-48 /Изв. высш. учеб. заведений/.

32. Библюк Н.И. Оценка эффективности применения колесных средств на транспортировании древесины в горных условиях // Перспективы развития лесного хозяйства: Материалы междунауч. конф., посвящ. 70-летию основания СХИ, 5-7 сентября 1989 г. Секция 2, Технологии лесного хозяйства с учетом окружающей среды /СХИ, -Врно, 1989. - С. 35-38.

33. Библюк Н.И. Имитация и анализ движения лесотранспортных средств с использованием ЭВМ // Механизация и автоматизация переместительных работ на предприятиях лесного комплекса: Тез. докл. V Всесоюзной науч.-техн. конф. 25-27 окт. 1989 г. /МЛТИ. - М., 1989. - С. 237-238.

34. Библюк Н.И. Исследование вынужденных колебаний лесовозного автопоезда с учетом переменного сечения пакета хлыстов // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообработ. пром.-сть: Респ. междунауч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1989. - Вып. 20. - С. 50-54.

35. Библюк Н.И., Бойко А.А. Определение коэффициента жесткости пакета хлыстов при изгибе и кручении // Лесн. журн. - 1990. - № 2. - С. 38-42 /Изв. высш. учеб. заведений/.

36. Библюк Н.И., Литвинчук Б.Н. Статистическая оценка параметров микропрофиля трелевочных волоков // Лесн.хоз-во, лесн., бум. и деревообработ. пром.-сть: Респ. междунауч.-техн. сб. - Киев: Будівельник, 1990. - Вып. 21. - С. 50-53.

37. Библюк Н.И. Автоматизация досліджень і випробувань колісних лісотранспортних машин // Взаємодія науки і виробництва в лісопромисловому комплексі: Тез. доп. Респ. наук.-техн. конф. 5-7 лютого 1991 р. /МЛТИ. - Львів, 1991. - С. 34-35.

38. Библюк Н.И., Перетятко Б.Т., Литвинчук Б.Н. Моделирование поступательного движения лесотранспортного средства // Лесн. журн. - 1991. - № 2. - С. 33-38 /Изв. высш. учеб. заведений/.

39. Библюк Н.І., Стиранівський О.А., Герис М.І. Параметри імітуючих пристроїв при стандартних умовах роботи лісотранспортних машин // Лісове гос-во, лісова, папер. і деревообробна пром-сть: Респ. міжвід. наук.-техн. об. - Київ: Будівельник, 1991. - Вип. 22. - С. 41-44.
40. Библюк Н.И. Математическая модель пакета хлыстов // Лесн. журн. - 1991. - № 5. - С. 38-42 / Изв. высш. учеб. заведений /.
41. Библюк Н.І., Борис М.М., Герис М.І. Україномовне програмне забезпечення для імітації руху лісотранспортних засобів // Проблеми українізації комп'ютерів: Тези доп. 2 між. конф. 28 вересня - 2 жовтня 1992 р. / НТШ. - Львів, 1992. - С. 4-5
42. Библюк Н.И. Моделирование колебаний системы трансмиссии - транспортные звенья - пакет хлыстов // Лесн. журн. - 1992. - № 1 - С. 48-53. / Изв. высш. учеб. заведений /.
43. Библюк Н.И., Борис М.М., Герис Н.И., Литвинчук Е.Н. Статистическая характеристика макропрофиля и плана лесных дорог // Лесн. журн. - 1992. - № 3. - С. 37-40 / Изв. высш. учеб. заведений /.
44. Библюк Н.І., Борис М.М. Математична модель перехідних процесів руху лісотранспортної системи // Лісове гос-во, лісова, папер. і деревообробна пром-сть: Респ. міжвід. наук.-техн. об. - Львів: Світ, 1992. - Вип. 23. - С. 35-41.
45. Библюк Н.И., Герис Н.И. Моделирование криволинейного курсового движения колесной лесотранспортной системы // Лесн. журн. 1992. - № 6. - С. 42-48. / Изв. высш. учеб. заведений /.
46. Библюк Н.І., Стиранівський О.А., Всього А.А., Борис М.М., Герис М.І. Принципи створення екологічно-прийнятної технічного забезпечення лісозаготівель в Карпатах // Проблеми Гупульщини: Тези доп. між. наук.-техн. конф. 27-28 травня 1993р. / Чернівці, 1993. - С. 27-28.
47. Библюк Н.І. Колісні лісотранспортні засоби в Карпатах // Укр. ліс. - 1993. - № 3. - С. 35-38.