

УДК 629.45.46 *З.В. СОВА¹; А.І. БАССАРАБ²; І.А. ЗАЯЦЬ; І.Ф. ХОЛЯВА³;
Н.В. БІЛИК⁴; В.М. ПОСУВАЙЛО⁴*

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОБЕЗПЕКИ РУХОМОГО СКЛАДУ ВУЗЬКОКОЛІЙНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Розглянуто шляхи покращення експлуатаційних характеристик рухомого складу вузькоколійних залізниць. Проаналізовано основні види пошкоджень та відмов, запропоновано шляхи модернізації рухомого складу. Запропоновано основні шляхи модернізації локомотиву ТУ7. Оцінено можливість використання дизельного двигуна МБЕ 4000–350 "Mercedes Benz" на локомотивах ТУ4, ТУ6 та ТУ7. Розраховано тягові характеристики модернізованої дрезини ГМД-2 за умов мінімального коефіцієнта зчеплення та при 75 %-му завантаженні. Порівняння параметрів ГМД-2ТМ "Карпатець" та мотовоза МУЗГ-4 показали ефективність модернізації. Запропоновано нові можливості експлуатації та модернізації самохідних електростанцій ЕСУ (СЕП). Запропоновано шляхи розробки і виготовлення ретро-автодрезин та розраховано їх тягові характеристики.

*Z.V. SOVA; A.I. BASSARAB; I.A. ZAYATS; I.F. HOLYAVA;
N.V. BILYK; V.M. POSUVAJLO*

Ways of increasing reliability and ecological safety of rolling stock on narrow-gauge railway

The ways of the improvement of operation characteristics of rolling stock on narrow gauge railway are considered in this paper. The basic causes of failures and breakages are analyzed, the ways of modernization are proposed. The means of TU7 modernization are proposed. The possibility of using MBE 4000–350 "Mercedes Benz" diesel engine on TU4, TU6 and TU7 locomotives are estimated. For the modernized GMD-2 railcars the propulsion performance characteristics are calculated under condition of minimum value of coefficient of rolling friction at complete and 75 % capacity. Comparison of the GMD-2TM "Karpatets" parameters with light diesel locomotive MUZG-4 showed efficiency of modernization. New exploitation and modernization possibility of locomotive electro station ESU (SEP) are proposed. The way of designing and producing retro-railcar are analyzed and its tractive characteristics are calculated.

Keywords: rolling stock, narrow gauge railway, railcar, tractive characteristics

Протягом XIX-XX ст. вузькоколійні залізниці (ВЗ) шириною колії 750 мм були високоефективним поліфункціональним промисловим транспортом. Наприклад, на 1984 р. в лісопереробній галузі СРСР функціонувало 200 ВЗ загальною довжиною 20 тис. км з врахуванням тимчасових ліній [1]. У Карпатському регіоні України та Галичині в період найбільшого розквіту ВЗ мережа сягала понад 1000 км. На сьогоднішній день в цьому регіоні залишилося ~200 км ВЗ. Вузькоколійні залізниці використовувалися, переважно як лісоперевізні (85,5 %), торфовивізні (10 %) та при виробництві будівельних матеріалів (4,5 %). Сьогодні – це перші недержавні залізниці в Україні, оскільки вони перебувають у власності колективних або приватних власників підприємств. Це – Вигодська лісова залізниця (фірми "Уніплита" та "Інтер'єр"); заліз-

¹ генеральний директор ТЗОВ "Уніплита"

² канд. техн. наук, ФМІ НАН України. E-mail: bassarab@ipm.lviv.ua

³ директор ПП "Слобода"

⁴ інженер ФМІ НАН України

ниці Лопатинського та Стоянівського торфобрикетних заводів; залізниці цегельних заводів № 1 та № 2 у Коломиї. Скорочення у 80-90 рр. протяжності ліній було зумовлене економічним занепадом, що викликав структурні зміни у лісогосподарській діяльності: подрібнення та зростання кількості суб'єктів лісозаготівлі та переробки, зростання частки автотракторного лісовивезення, невизначеність статусу власності залізниці. В інших галузях – зниження обсягів видобутку торфу (на 1985 р. ~ 90 % вивозу здійснювалося ВЗ [1]) та бурого вугілля, вивільнення ВЗ з технологічного процесу у виробництві будівельних матеріалів. Зараз показники ВЗ близькі до самоокупності, хоча не можна говорити про їх прибутковість.

Міжнародний досвід показує [1, 2], що вузькоколійки після втрати транспортно-технологічної функції можуть використовуватися як туристичні, ефективним також є змішане використання. Важливий момент – такі залізниці практично не порушують екологічний баланс природоохоронних територій (парків, заповідників та заказників), прикладом чого можуть слугувати залізниці в Сновдоуні (Уельс, Велика Британія) та Бещадському парку (Польща). В Україні реструктуризація діючих вузькоколієвих залізниць можлива таким чином:

- промислово-технологічна експлуатація залізниць та організація оглядових екскурсій для технічних туристів й освітніх лекцій;
- туристично-промислова експлуатація залізниць – вантажно-технологічні перевезення поєднуються з туристично-пасажирськими маршрутами.

Експлуатація рухомого складу в сучасних умовах ставить не лише підвищені вимоги до надійності та довговічності, але й до його економічності, ергономіки та екобезпеки. Висвітленню шляхів вирішення цих проблем і присвячена ця робота.

Обґрунтування вибору типу локомотива. Парк локомотивів на недержавних залізницях регіону (табл. 1) складається з тепловозів марок ТУ 4, ТУ 6, ТУ 7, ТУ 8, мотовозів МД 54-4, самохідних електростанцій ЕСУ та автодрезини Деміхівського машинобудівного заводу (Росія). Розглянемо ряд обмежень, які впливають на вибір типу локомотива:

1. *Допустиме навантаження на вісь*, яке регламентується характером верхньої будови шляху. Переважна більшість ліній є полегшеної (допустиме навантаження $[P]_{\text{lim}} = 4$ т/вісь) або близькі до нормальної (6 т/вісь) будови, а для допоміжних та тимчасових ліній – $[P]_{\text{lim}} = 2$ т/вісь. Дану вимогу задовольняють лише локомотиви ТУ 6 і ТУ 8 (3,2 т/вісь) та їх модифікації, МД 54-4 (2,5 т/вісь). За даним параметром випадають тепловози ТУ7 (ТУ7Е) (4,8...5,9 т/вісь), та ТУ4 (4,4 т/вісь).

Табл. Локомотиви вузькоколієвих залізниць Карпатського Єврорегіону

Марка локомотива	ТУ4	ТУ6, ТУ-6П	ТУ7	ТУ8, ТУ-8П	ТУ2	ТУ3	Спец. рух. склад	ЕСУ	ГМД, ПД, СМД	МД 54-4
Питома частка в рухомому складі регіону (%)	4,2	14,5	25	16,7	12,5	2,08	8,34	4,17	8,34	4,17

2. *Екологічна безпека.* Зараз лісогосподарські залізниці часто перетинають або проходять по границях заповідних територій з різним статусом правового регулювання, а також посилення уваги державних природоохоронних структур до збереження торф'яних боліт, формує вимоги до рухомого складу за нормами викиду, "природними" та можливими аварійними втратами паливно-мастильних речовин (ПМР). Під ці обмеження, перш за все, попадають локомотиви з гідропередачею (ТУ4, ТУ7) через можливість аварійного витoku великої кількості мастила, а також значні "природні" втрати ПМР. Запобігти цьому зараз практично неможливо через складність обслуговування та ремонтів гідропередачі, оскільки рівень технологічного забезпечення ремонтних баз недостатній для якісного виконання даних робіт, а обслуговування на базовому підприємстві "Львівський завод гідромеханічних передач" пов'язане зі значними транспортними та фінансовими витратами. Тому даний критерій задовольняють локомотиви ТУ6, ТУ 6П, ТУ6Д, ТУ8, ТУ8П, ТУ8Г, МД 54-4, а також самохідні електростанції ЕСУ1, 2, 3 та автодрезини. При цьому дизельні локомотиви в перспективі повинні оснащуватися адсорбційними фільтрами.

3. *Експлуатаційні обмеження.* ТУ7 та ТУ4 – найбільш потужні радянські вузькоколійні тепловози – тривала сила тяги становить для них 53 та 44 кН відповідно. Однак встановлені на них дизелі типу 1Д12-400К та У1Д6-250ТКС3 та гідропередача викликали значні перевитрати ПМР. Така ситуація загострилася після зниження кількості магістральних рейсів, довжини робочих плеч та ваги поїзда до рівня ≤ 250 т/рейс. Використання не відрегульованих "конверсійних" двигунів 1Д12 викликали перевитрати ПМР, на 75 кілометровий рейс ТУ7: дизельне паливо ~ 200 л, *трансмійне мастило* ~ 70 л, олива веретенна ~ 30 л. Подібно – ТУ4. Зрозуміло, що експлуатація таких локомотивів на недержавній залізниці з порівняно невисокими обсягами перевезень – економічно недоцільна.

Локомотиви з електричною передачею типу СЕП та ЕСУ розроблено як тягові агрегати колієперекладача ППР та колійного комбайна УПК. Тому в них складна, розширена електрична схема. Однак в складі ППР (або УПК) дані локомотиви в регіоні не експлуатуються. Складності викликає також невдала конструкція колішень, які часто виходять з ладу, відсутність ремонтної документації, а після припинення Губінським машинобудівним заводом (Росія) їх виробництва – оригінальних запчастин. Однак простора кабіна, вдало спроектований привід дає змогу здійснювати їх переоснащення.

Кранові установки ТУ6Д та ТУ8Г задовольняють всім попереднім вимогам, і практика експлуатації показує, що вони можуть використовуватися як мотовоз для товарно-пасажирських перевезень на лініях з легкою будовою шляху. Але згідно з заводськими технічними умовами вони не призначалися для локомотивної служби, тому їх постійне використання для поїзної роботи вимагає певного переобладнання, а від машиніста відповідних навичок.

Найбільш відповідними за рівнем ремонтної складності, обслуговування та тягових характеристик (тривала сила тяги 26 кН) є локомотиви ТУ6А та ТУ8. Для дрібних вантажно-пасажирських перевезень зазначені умови задовольняють вантажні дрезини ГМД 2(4); пасажирські – У_а та ПД.

Пасажи́рські мото́риси ТУ-8П, ТУ-6П з комфортабельними кондиційованими салонами є незамінні для туристично-пасажи́рських перевезень. Але особливості динаміки мото́риса – несприятливе співвідношення висоти екіпажу до ширини, вимагають особливої акуратності при експлуатації.

Шляхи переоснащення рухомого складу. Отже, локомотиви ТУ4 та ТУ7 за більшістю обмежень на даний час не придатні до використання. Реальним варіантом переоснащення даних локомотивів є демонтаж гідропередачі, баласту та гідрогальм; заміна дизелів типу Д-6, Д-12 на МАЗ або ЯМЗ; встановлення механічної коробки передач МАЗ або ЗІЛ. Після цього одержуємо фактично локомотив ТУ6, тягові характеристики локомотивів ТУ7, ТУ6А наведено на рис. 1а. Перспективним також є використання сучасних двигунів західноєвропейського виробництва. Ми проводили аналітичний розрахунок тягових характеристик локомотива ТУ6 при використанні дизеля МВЕ 4000–350 "Mercedes Benz". Дана заміна дає змогу отримати значний запас по тягових характеристиках навіть на 4, 5 ступенях коробки передач (рис. 1б), крім того – істотну економію ПМР (максимальна витрата ~ 67 л/рейс). Дані характеристики можна дещо мінімізувати, використавши коробки передач з дещо іншими передавальними відношеннями (наприклад $I_1 \sim 2,1$; $I_2 \sim 1,79$; $I_3 \sim 1$; $I_4 \sim 0,78$; $I_5 \sim 0,5$), з іншого боку, при відповідній будові колії за рахунок баласту можна нарощувати зчіпну вагу локомотива. З іншого боку, виходячи з проведеного аналізу, неефективно використовувати двигуни "Mercedes Benz": МВЕ 4000–410; МВЕ 4000–450; ОМ 421.9 через істотно завищену потужність.

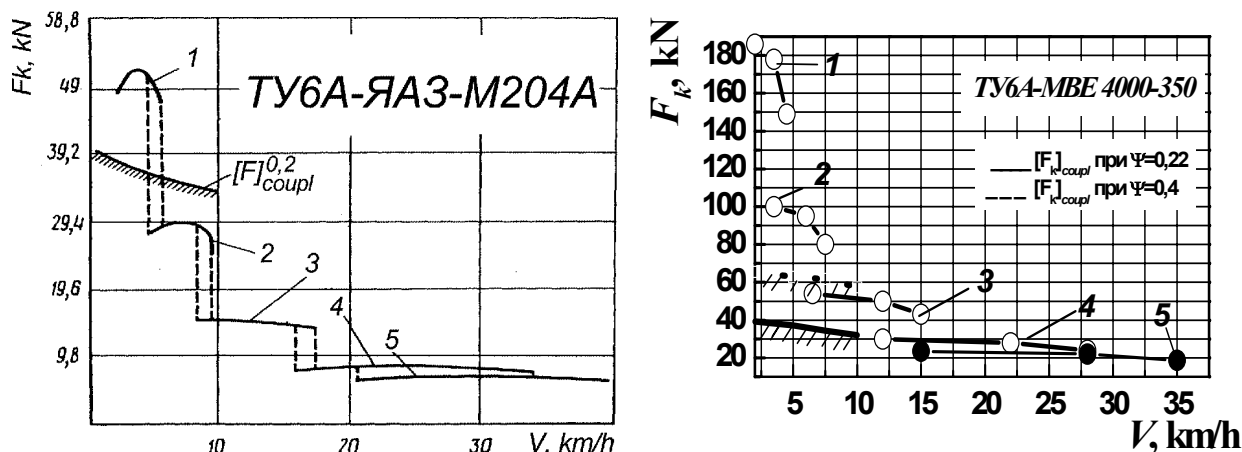


Рис. 1. Тягові характеристики локомотива ТУ6 з дизелем ЯАЗ-М204А (а) та МВЕ 4000-350 (б)

Кранові установки ТУ6Д, ТУ8Г. Існує практика демонтажу кранової установки, що перетворює ТУ-8Г в мотовоз легкого типу. Однак міцність колісних пар недостатня для поїзної служби, тому необхідно застосовувати локомотивні колеса з високоміцного чавуна та осі із заготовок після поперечно-гвинтового прокатування. Крім гальмівного крана № 4ВК для зупинки локомотива, локомотив ТУ8Г для товарно-пасажи́рської роботи необхідно обладнати краном машиніста № 326 для гальмування потяга. Після даних модернізацій локомотив ідеально відповідає умовам поїзної роботи на полегшених лініях.

Розглянемо можливість модернізації автодрезини типу ГМД і створення на її базі надлегкого мотовоза. За основу взято ГМД-2, як більш вдалу модель [3]. Пропонується замінити серійну коробку передач (ГАЗ М-20 "Победа") на ЗІЛ-157КВ, передавальні відношення позицій див на рис. 2а. У 1997 р. двигун М-20 замінено на ЗІЛ-157. Розраховані після цього за методикою [4] тягові характеристики наведено на рис. 2а. За тяговими характеристиками ГМД-2 після модернізації не поступається серійним мотовозам МУЗГ-4 (рис. 2б). Дані локомотиви близькі за зчіпною вагою, тому аналогічні обмеження сили тяги F_k за буксуванням $[F_k]^{100\%}_{\text{coupl}} = 17-18 \text{ кН}$. Розрахунок показав, що одним з недоліків характеристик ГМД-2МТ "Карпатець" є стрімке падіння F_k при швидкостях, вищих 12,5 км/год, а також повна відсутність тягової характеристики при 20 км/год.

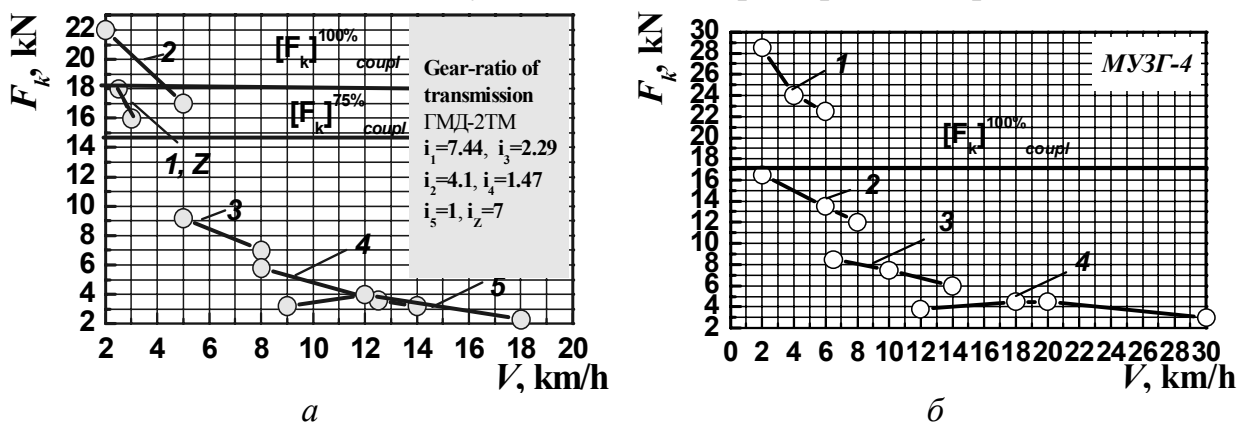


Рис. 2. Тягові характеристики модернізованої автодрезини ГМД-2МТ "Карпатець" (а) та мотовоза МУЗГ-4 [4] (б), коефіцієнт зчеплення $\psi = 0,2$ ("рейка з мокрим листям")

Це пов'язано з використанням коробки передач ЗІЛ-157КВ, яка не розрахована на поєднання високих швидкостей та максимальних тягових зусиль. Як видно з рис. 2а, тривала робота дрезини на першій та задній передачах ($i_1=7.44, i_z=7$) небажана через динамічні обмеження двигуна (оберти $\sim 2800 \dots 3200 \text{ хв}^{-1}$ при оптимальних $1100-1400 \text{ хв}^{-1}$). Зчіпна вага $P_{\text{coupl}} < 100\%$ обмежує використання I і II передач за критерієм $[F_k]_{\text{coupl}}$. Для тривалого режиму роботи більш придатні III-V передачі: третя і четверта – у тяговому режимі, а п'ята – без причіпного складу. Тягові розрахунки показують, що варто модернізувати коробку передач, маючи на першій позиції $I_1 \sim 5$ при існуючій реверс-коробці, або використати реверс-коробку, аналогічну МД-54-4 ($i_{k,p} = 6.67$) [5], і більш легку коробку передач. Тоді при $\psi = 0,38$ для "сухої рейки" всі характеристики будуть відповідати умові:

$$[F_k]_{\text{coupl}} \leq \psi P_{\text{coupl}}, \text{ де } P_{\text{coupl}} - \text{зчіпна вага локомотива.}$$

Правильний добір двигуна та силових передач дає змогу позбутися перевантажень і дострокових відмов приводу та збільшити міжремонтний пробіг дрезин типу ГМД-2МТ, ПД (СМД). На даний момент можливе застосування нових двигунів іноземного виробництва: IVECO 8140.43C.2590. (потужність 78 кВт, максимальний крутний момент 250 Нм), Д.-245.7 (Номінальна потужність 80 кВт, максимальний крутний момент 340 Нм), що забезпечує зниження витрат ПМР у 3...4 рази. Використання даних підходів дає

змогу формувати спеціалізовані господарські, пасажирсько – туристичні та пожежно-наливні поїзди з 2...4 причіпними одиницями.

Самохідні електростанції ЕСУ. Основна їх проблема – недовговічні колісні, які пропонується замінити колішнями від ТУ7; електротехнічна схема може бути спрощена та пристосована до потреб конкретної залізниці. Існує два шляхи використання цих локомотивів: переоблаштування салону (ЕСУ2А) під пасажирську моторису типу ТУ6П; переобладнання в пересувну ремонтну майстерню; створення на базі ЕСУ (СЕР) тягового агрегату канатної транспортної системи (рис. 3). Використовуючи схеми, запропоновані в роботі [6], ЕСУ (СЕР), обладнані тяговими лебідками, можна успішно використовувати для приводу канатних транспортних установок, як в межах станцій, так і на певні віддалі, а також для освітлення вантажної площадки, живлення електроінструментів та зварювального апарату, прокладення (розбирання) тимчасових вусів методом попередньо заготовлених ланок з автоматичними замками.

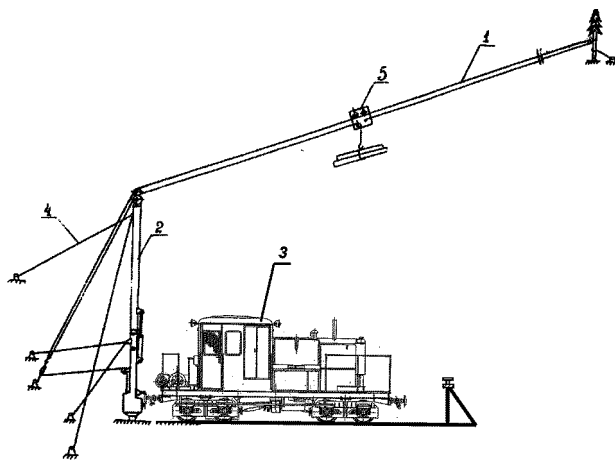


Рис. 3. Схема мобільної канатної установки з тягово-несучим канатом [5]:

- 1 – тягово-несучий канат; 2 – щогла;
3 – ЕСУ (СЕР); 4 – розтяжки;
5 – каретка

Експлуатація локомотива – це комплекс заходів з обслуговування, відновлення, заміни та модернізації деталей. Технології ремонту повинні бути пристосовані до типового універсального обладнання промислових депо та високоефективними. Нанесення оксидокерамічних покриттів [8] на арматурі паливної та пневмосистем разом з впровадженням спеціальної запірної арматури на 15 % знижують втрати в паливній системі, збільшуючи її довговічність в 5-7 разів. Одним з вразливих місць автодрезин, кранів та інших залізничних машин є ролики ланцюгових передач, які часто виходять з ладу. Уніфікувавши привідні ланцюги механізмів, наприклад: кранів МК-6, дрезин У_а, ПД-1 та ГМД-2 можна цілеспрямовано зміцнювати їх методом механо-імпульсної обробки [9] у спеціальному пристрої, що базується на безцентрово-шліфувальному верстаті. Використання даної технології підвищить ресурс роботи деталей машин 2...3 рази при зростанні трудомісткості на 20...30 %.

Одиничне виробництво рухомого складу – додаткове джерело коштів для ВЗ. На даний час на території вузькоколійних транспортних підприємств накопичилася значна кількість елементів ходової та екіпажної частин, а також залишки автотранспортної техніки, яка на сьогодні не придатна для використання. З одного боку, можлива їх утилізація як металобрухт. Однак на деяких ВЗ Румунії вони використовуються для виготовлення на експорт про-

гулянкових автодрезин з використанням елементів автомобілів "ЗІМ" та "Волга М-21", наприклад рис. 4в. Це ефективний, економічно вигідний метод, який відповідає міжнародним підходам до збереження технічної спадщини. З цією метою ми розробили такі варіанти компоновання:

- ГМД-2ТМ "Карпатець" (рис. 4 а) з використанням ходової ГМД-2, модернізованої за вище описаними підходами; екіпажна частина облицьована елементами від автомобілів ЗІЛ-150, 157, 164; кузов за замовленням.

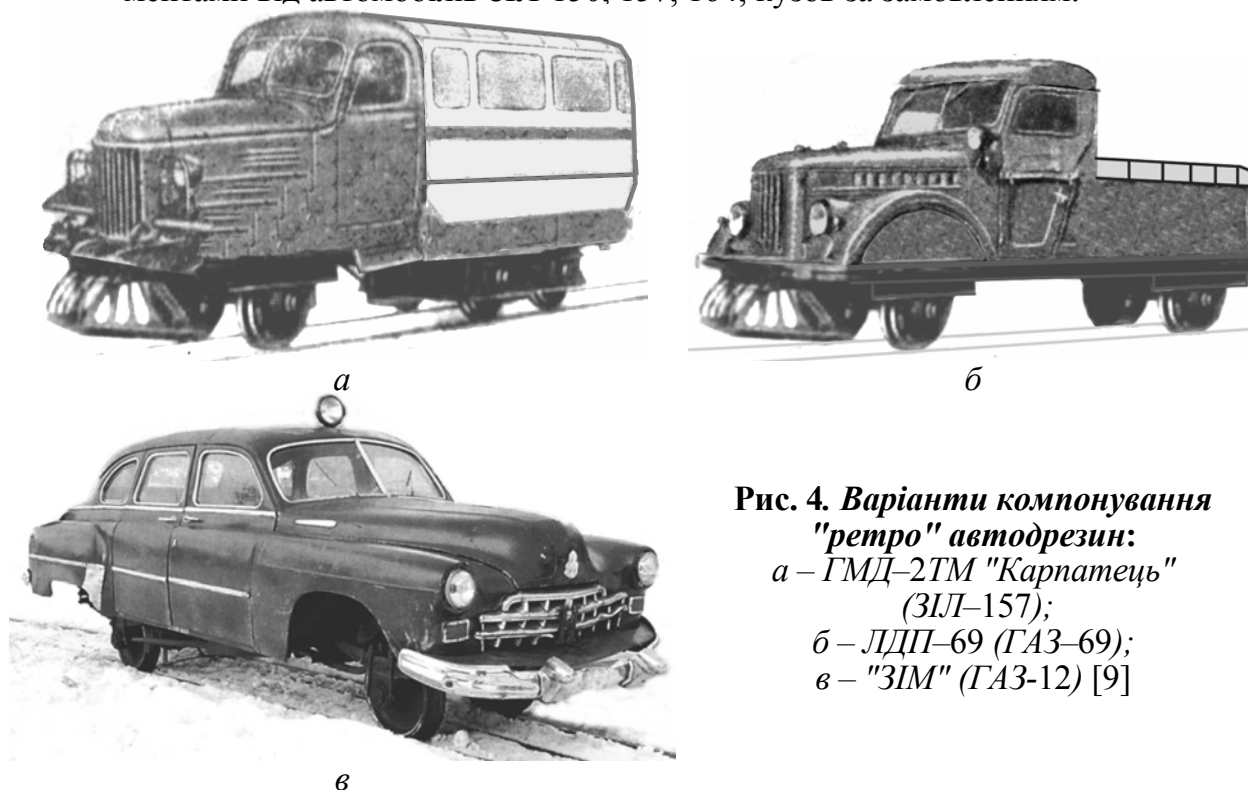


Рис. 4. Варіанти компоновання "ретро" автодрезин:

а – ГМД-2ТМ "Карпатець" (ЗІЛ-157);

б – ЛДП-69 (ГАЗ-69);

в – "ЗІМ" (ГАЗ-12) [9]

- ЛДП-69 (рис. 4 б) – самохідна двовісна автодрезина з використанням колішень ГМД-4, полегшеної рами та облицювання автомобіля ГАЗ-69. Пасажирських місць 8 або 0,6 т вантажу. Може використовуватися як легка тягова одиниця, характеристика приведена на рис. 5. Для пасажирського використання розроблені спеціальні двовісні вантажно-пасажирські причепи вагою ~ 1т. Обладнана модифікованими колішнями, компресором та пневмогальмуванням причепів з використанням крана машиніста №326
- "Москвич 401", "Победа" тощо по аналогії до "ЗІМ"(рис. 4 в) [9].

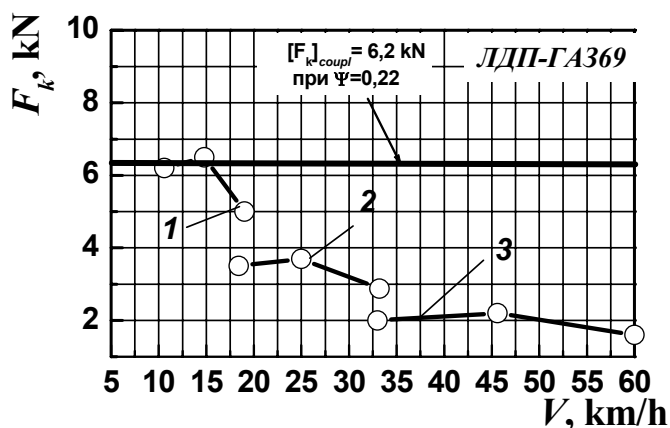


Рис. 5. Тягові характеристики автодрезини ЛДП-ГАЗ 69

Виробництво легкого рухомого складу господарського та туристично-пасажирського призначення для ВЗ ліній з легкою верхньою будовою шляху

актуальне, оскільки питома вага автодрезинного руху на вузькоколіїних туристичних залізницях, поряд з паровозним зростає. Зокрема економічно вмотивована потреба в таких засобах існує в таких країнах Карпатського Єврорегіону, як Польща [7], Угорщина, тощо.

Література

1. Состояние и перспективы развития подвижного состава узкой колеи/ А.И. Логинов, М. Ф. Кузнецова, Г.Г. Музалев и др.: – Обзор. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш. – сер. 5, вып. 6: Транспортное оборудование. – 1985. – 44 с.
2. Franc Cooper. Tourist Railways – the Welsh experience// Промисловий та туристичний транспорт. – 2002, вип. 1. – С. 27-35.
3. Бассараб А.І., Білик Н.В., Посувайло В.І., Кирилів Я.Б. Вантажні автодрезини колії 750 мм. Сучасний стан та перспективи модернізації// Матер. XVIII відкритої наук.-техн. конф. КМН-2003, Львів, 2003. – С. 130-133.
4. Матюнин И.Н. Подвижной состав промышленного транспорта. – Минск: Высшая школа, 1982. – 342 с.
5. Белкин А.С. Мотовозы и дрезины колеи 750 мм. – М.: Высшая школа, 1970. – 320 с.
6. Адамовський М.Г., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Підвісні канатні лісотранспортні системи: Навч. посібник. – К: ІЗМН, 1997. – 156 с.
7. Кляпків М., Посувайло В. Властивості та застосування матеріалів з керамічними покриттями// Промисловий та туристичний транспорт. – 2001, вип. 1. – С. 41-43.
8. Кирилів В., Коваль Ю. Вплив механоімпульсної обробки на зносостійкість партертя// Промисловий та туристичний транспорт. – 2001, вип. 1. – С.44-45.
9. Переславский железнодорожный музей: Каталог – 2003. – 48 с.
10. Концепція zagospodarowania trasy Bieszadskij kolejki wąskotorowej do roku 2006. – Komancza, 2003.

Senior researcher Takeshi YAMADA; Toshiaki ENDO; researcher Tatsuya SASAKI – Department of Forest Machinery, Forestry and Forest Products Research Institute¹

A STUDY ON SITE PREPARATION METHOD FOR MECHANIZATION

We are on the way of developing site preparation equipment in order to mechanize planting operation. As preliminary work for the development, we studied on characteristics of some different site preparation methods. We prepared the test site using vehicle based machines to make patched spots by mounding and scarification. We distinguished test plot to 4 categories, which are mound and pit from mounded spot, scarification and untreated. On each categories we measured soil density, moisture content and its change, survival rate of planted containerized seedlings and vegetation coverage 1 year after treatment. The result of soil density in order of scarified < untreated = mound < pit, that of moisture content are pit > untreated > scarified > mound, that of survival rate are pit > scarified = untreated > mound and that of vegetation coverage are scarified < pit = mound = untreated. In reference to soil density and plant coverage which is more suitable when it is smaller for seedling growth, scarification is found to be most favorable for planting. However in this test the limiting factor is found to be moisture content due to dry site environment, which lead pit plots to have shown the highest seedling survival rate.

Keywords: silvicultural machinery, site preparation, mound, scarification

¹ Matsunosato-1, Tsukuba-city, Ibaraki-pref., 305-8687, Japan. Tel: +81-29-873-3211 ex 503, Fax: +81-29-874-3720. E-mail: kenchan@ffpri.affrc.go.jp