

УДК 625.141.1:656.212.5

С. В. ВОЙТКІВ^{1*}

^{1*} ТзОВ «Науково-технічний центр «Автополіпром», вул. Зубрівська, 32/24, Львів, Україна, 79066, тел. +38 (067) 447 04 90, ел. пошта voytkivsv@ukr.net, ORCID 0000-0002-7789-2081

ОСНОВИ МОДУЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ СПАЛЬНИХ ВАГОНІВ НОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Мета. Метою роботи являється дослідження напрямків створення перспективних конкурентоспроможних пасажирських спальних вагонів на основі застосування принципів модульного проектування технічних виробів. **Методика.** Дослідження виконано на основі аналізу літературних джерел, формування системи модулів вагонів та розроблення на їх базі можливих варіантів систем модульного проектування пасажирських спальних вагонів та оцінки перспективності їх застосування на основі математичного аналізу степені уніфікації конструкцій вагонів різного призначення. **Результати.** У процесі виконання досліджень встановлено, що проектування перспективних пасажирських спальних вагонів нової генерації повинно базуватися на засадах суттєвого покращення якості та підвищення комфортабельності перевезень пасажирів на основі застосування нових компоувальних схем та відповідних принципів модульного проектування. Базовий геометричний модуль пасажирських вагонів будь-якого функціонального призначення передбачає збільшення ширини його кузова 3,4 м. Системи модульного проектування пасажирських спальних вагонів у кількох варіантах, розроблені на основі пропонування нових компоувальних схем, які передбачають застосування двох бокових або лише одного тамбура, розміщеного в одному із кінців вагонів або у середній частині їх кузовів. Пропонувані компоувальні схеми передбачають також збільшення ширини поздовжніх проходів по пасажирських приміщеннях, обладнання вагонів різною кількістю санітарних приміщень у залежності від типу вагонів за призначенням, рівноцінні за розмірними параметрами спальні місця у плацкартних або купейних вагонах відповідного класу. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше, на основі вибраних концепцій сформована система модулів для проектування пасажирських вагонів різного функціонального призначення, наведені їх визначення та проведена оцінка перспективності застосування пропонування систем модульного проектування пасажирських вагонів. **Практична значимість.** Розроблені системи модульного проектування перспективних пасажирських спальних плацкартних та купейних вагонів нової генерації забезпечують суттєве підвищення рівнів їх комфортабельності, покращення якості та безпечності перевезень пасажирів, а також значне зменшення термінів та обсягів фінансування робіт зі створення вагонів різних класів і різного призначення та їх технічного обслуговування і ремонтів у процесі експлуатації.

Ключові слова: модульне проектування, модуль у вагонобудуванні, пасажирський спальний вагон, рівень комфортабельності вагона.

Вступ

Пасажирський залізничний транспорт по праву займає в українській транспортній системі чільне місце, оскільки забезпечує понад 50 % загального обсягу перевезень пасажирів усіма сферами громадського транспорту. Для перевезень пасажирів на нинішній час застосовуються, зокрема, спальні плацкартні та купейні вагони, рівень комфортабельності більшості з яких не відповідає наявним сучасним вимогам. Тим паче, що близько 80 % наявного парку вагонів майже повністю зношені і потребують заміни.

Саме тому, одним із основних завдань вітчизняного пасажирського вагонобудування являється створення і освоєння дрібносерійного виробництва нових перспективних і, що дуже важливо, конкурентоспроможних спальних плацкартних та купейних вагонів суттєво вищого рівня

комфортабельності, тобто вагонів нової генерації. В основу їх створення повинні бути покладені відповідні модульні принципи уніфікації їх конструкцій та системи проектування вищого рівня відносно тих систем, які застосовуються на даному етапі розвитку вітчизняного вагонобудування.

Мета дослідження

Метою дослідження являється розроблення, аналіз та вибір оптимальних напрямків створення перспективних конкурентоспроможних на внутрішньому і зовнішніх ринках збуту спальних плацкартних і купейних вагонів на основі застосування принципів уніфікації та систем модульного проектування вищого рівня для суттєвого підвищення якості та комфортабельності перевезень пасажирів сучасним залізничним транспортом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Модульне проектування на нинішній час широко застосовується практично в усіх галузях промисловості та у різних сферах суспільного життя.

Модульне проектування в машинобудуванні – це процес проектування об'єктів та технологічних процесів їх виробництва на основі застосування модульних принципів.

Модульні принципи полягають у побудові різних технічних систем з різноманітними характеристиками шляхом компонування їх з типових модулів обмеженої номенклатури [1].

Отже, основою модульного проектування будь-яких виробів являються модулі. В теорії модульного проектування технічних виробів розрізняють дві категорії модулів [2]:

- модуль-міра (проектний модуль);
- модуль-виріб (фізичний модуль).

Проектний модуль характеризується відповідними мірами – довжиною (або шириною чи висотою), площею або об'ємом. Відповідно, проектні модулі поділяються на лінійні, площинні та об'ємні. Проектний лінійний модуль характеризує розмірний параметр в одному напрямку. Проектний площинний модуль характеризує площу певної форми певних габаритних розмірів. Проектний об'ємний модуль характеризує об'єм фіксованої форми відповідних габаритних розмірів.

Фізичний модуль – технологічно завершена типова або стандартна складальна одиниця, яка входить до складу двох і більше складніших складальних одиниць (систем), яка виготовляється за притаманною їй технічною документацією, повністю зібрана, функціонально перевірена і готова до монтування. Фізичний модуль характеризується конструктивною і технологічною завершеністю, яка не вимагає проведення додаткових робіт з технічної підготовки для його застосування, і володіє строго фіксованими параметрами. Фізичні модулі поділяються на дві підгрупи – модулі конструктивні та модулі функціональні.

Конструктивний модуль – частина конструкції виробу, яка характеризується сукупністю відповідних деталей та складальних одиниць. Конструктивний модуль являє собою завершену частину конструкції виробу, у якості якої можуть виступати як окремі деталі, так і складальні одиниці.

Функціональний модуль – це частина виробу, за допомогою якої реалізується та чи інша функція виробу як об'єкта експлуатації.

Функціональні модулі, у свою чергу, теж поділяються на дві підгрупи – модулі технологічні та модулі обслуговуючі. Функціональний технологічний модуль трактується як модуль, за допомогою якого, виріб, як об'єкт експлуатації, виконує своє службове призначення. Модулі функціональні обслуговуючі необхідні для забезпечення можливості виконання відповідних функцій функціональним технологічним модулем.

Отже, службове призначення конструктивного модуля, на відміну від функціонального технологічного модуля, не пов'язане безпосередньо з виконанням об'єкта експлуатації його службових функцій.

На основі застосування модулів різних категорій можуть формуватися різні системи модульного проектування виробів. Система модульного проектування виробів – це штучно створена сукупність модулів різних категорій, з яких можливе проектування (складання) системи з двох і більше складних виробів, експлуатаційні властивості яких не зводяться до властивостей окремих їх модулів.

Виробам кожної галузі виробництва або їх конкретних сфер властиві власні системи їх модульного проектування на основі сукупності модулів, характерних для конкретних систем виробів.

Наприклад, системи модульного проектування і сукупність категорій та специфічних типів модулів у галузі суднобудування розглядаються у роботі [3]. У цих системах застосовуються такі типи конструктивних модулів як модуль-панель, модуль-секція та модуль-блок. А функціональні модулі поділені на два умовні типи – малі та великі.

Розгляду систем модульного проектування верстатів з ЧПУ присвячена робота [4]. У ній, зокрема, наведена класифікація рівнів цих систем за такою класифікаційною ознакою як характеристики уніфікованих модулів-вузлів. За цими характеристиками якість модульної системи верстатів характеризується пристосованістю системи до виконання різних виробничих завдань. За наведеною ознакою системи модульного проектування верстатів з ЧПУ поділяються на чотири рівні.

Основи проектування модульних магістральних автопоїздів розглянуті у роботі [5], у якій стосовно вантажного автомобілебудування запропонована відповідна сукупність модулів, сформовані до них основні вимоги та наведена класифікація систем модульного проектування автомобілів, яка передбачає три рівні –

мікромодульність, модульність середнього рівня та макромодульність.

Зародження та етапи становлення модульного виробництва і перспективи його розвитку розглянуті у роботі [6], у якій, зокрема, зазначено, що модульне проектування об'єктів виробництва не вирішує величезної кількості постійно виникаючих виробничих завдань.

Застосування принципів модульності у процесі проектування сучасних автономних локомотивів розглянуто у роботі [7].

Модульні конструкції залізничного рухомого складу і комплексні рішення японської компанії «Hitachi, Ltd.» по інтеграції сучасних технологій у сфері проектування та виробництва пасажирських вагонів, систем сигналізації та управління рухом, а також у сфері їх експлуатації та технічного обслуговування розглянуті у роботі [8].

Принципам проектування пасажирських вагонів за умов забезпечення сучасних вимог до їх екологічної безпеки та підвищення комфортабельності присвячені робота [9] та збірник праць [10].

Переваги створення потягів на основі проектування пасажирських вагонів збільшеної ширини до допустимої за нормативними документами проаналізовані у роботі [11].

Специфічні проблеми проектування вагонів для пасажирів з обмеженою рухливістю наведені у роботі [12], а вагонів, обладнаних модулем-секцією для зберігання вантажів пасажирів у дослідженні [13].

Принципам формування нетрадиційного планування пасажирських салонів та створення нових інтер'єрів для перспективних вагонів модульної концепції присвячена робота [14].

Основний матеріал дослідження

Системи проектування пасажирських вагонів. У сфері пасажирського вагонобудування різними виробниками створено десятки систем модульного проектування потягів на основі застосовуються пасажирських вагонів, принципова відмінність яких полягає у тому, що у їх ходових частинах застосовуються різні компоувальні схеми:

– схема (2-2), при якій кожний кінець вагона спирається двоохвісний візок (рис. 1, а);

– схема (0-1), при якій вагон одним кінцем спирається лише на один одновісний візок, а другим кінцем – на такий же одновісний візок, які являються спільними для зчленованих з ним вагонів (рис. 1, б);

– схема (0-1/2), при якій вагон одним кінцем спирається лише на половину двохвісного візка, а іншим кінцем – на половину такого ж двохвісного візка зчленованого з ним вагона (рис. 1, в);

– схема (0-2), при якій вагон одним кінцем спирається на суто його двохвісний візок, а іншим кінцем – на половину двохвісного візка зчленованого з ним вагона (рис. 1, г).

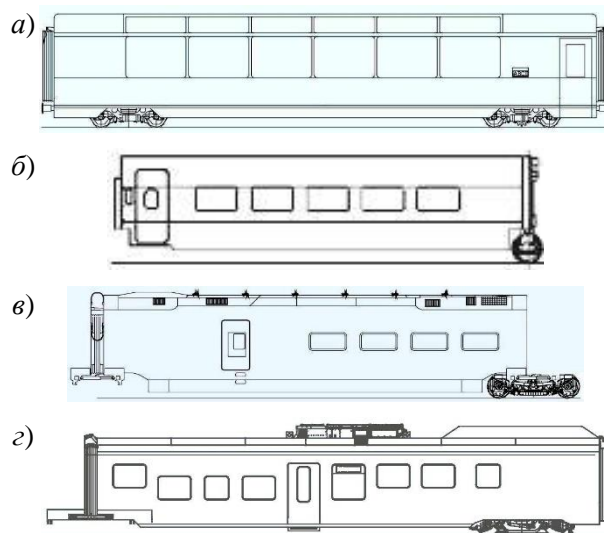


Рис. 1. Компоувальні схеми ходових частин пасажирських вагонів:

а – схема (2-2); б – схема (0-1) фірми «Talgo»; в – схема (0-1/2); г – схема (0-2)

Компоувальна схема ходової частини вагонів (2-2) застосовується більшістю сучасних підприємств з проектування і виробництва пасажирських вагонів. Основні її переваги – більша простота конструкцій вагонів та можливість формування потягів локомотивної тяги. По цій схемі спроектовані і серійно виготовляються, зокрема, вагони усіх типів та потяги виробництва ПАТ «Крюківський вагоноремонтний завод» (рис. 2).

Компоувальна схема (0-1) розроблена, запатентована і використовується для проектування вагонів і потягів виключно іспанською компанією «Patentes Talgo, SAU» [15]. Конструкція вагонів цієї схеми суттєво складніша, а їх довжина практично вдвічі менша у порівнянні з вагонами, спроектованими за схемою (2-2). Окрім того, ці вагони придатні тільки для виробництва зчленованих потягів постійного формування.

Проектування вагонів за схемами (0-1/2) та (0-2) практикують, зокрема, французька компанія «Alstom» [16] та швейцарська фірма «Stadler Rail AG» [17]. Вагонам, створеним за цими схемами, притаманні складність конструкції та дещо менша довжина вагонів. Але застосування

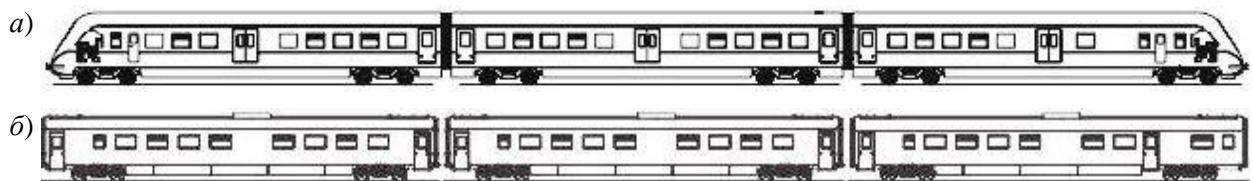


Рис. 2. Пасажи́рські по́тяги та ваго́ни, створе́ні по схемі їх ходових части́н (2-2):
a – дизель-по́тяг ДПКр-2 ви́робництва ПАТ «КрВЗ» [18]; *б* – ваго́ни по́тягу локомотивної тяги



Рис. 3. Пасажи́рський по́тяг з ваго́нами, створе́ними по схемі (0-1) фі́рми «Patentes Talgo, SAU»

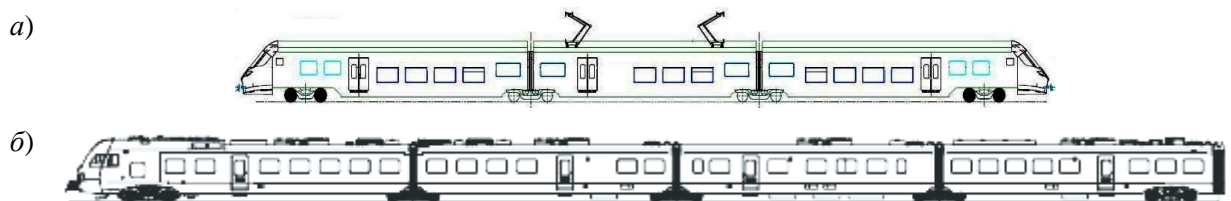


Рис. 4. Пасажи́рські по́тяги з ваго́нами, спрое́ктованими по схемат ходових части́н:
a – схема (0-1/2), по́тяг ко́мпанії «Alstom»; *б* – схе́ми (0-1/2) та (1-2), по́тяг ко́мпанії «Stadler Rail AG»

двох вагонів зі схемою ходової частини (0-2) забезпечує роз'єднання по́тяга на два для подальшого прямування з відповідної станції до двох різних кінцевих пунктів (рис. 4).

Хоча конструкції функціональних модулів цих систем доволі суттєво різняться, їх сукупність практично однакова. До неї входять тягові модулі (локомотиви або моторні вагони) та вагонні модулі різних функціональних призначень (загальний вагон, плацкартний вагон, купейний вагон, вагон-ресторан тощо).

Рівні модульності пасажирських вагонів. Рівень модульності пасажирських вагонів визначається, перш за все, сукупністю, типами та конструкціями модулів, з яких вони складаються. За наведеними ознаками пропонується розрізняти модульність у конструкціях пасажирських вагонів, спроектованих за схемою їх ходової частини (2-2), трьох базових рівнів – I-го, II-го та III-го. Переважна більшість існуючих на нинішній час пасажирських спальних і купейних вагонів спроектовані за системою їх модульного проектування I-го рівня. Вагони цього рівня модульності характеризуються наявністю у їх конструкціях двох груп основних модулів – модуля кузова та модуля двовісного візка (рис. 5). Будь-яка система модульного проектування пасажирських вагонів повинна складатися із конкретної (персональної) сукупності модулів. З погляду не рівень уніфікації усіх типів вагонів цієї системи вона повинна передбачати

один модуль-двовісний візок та необхідну кількість модулів вагонів різного функціонального призначення.

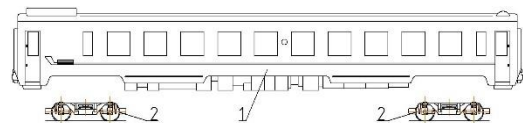


Рис. 5. Базові модулі системи модульного проектування вагонів I-го рівня:
 1 – модуль-кузов; 2 – модуль-двовісний візок

Система модульного проектування вагонів II-го рівня базується на двох основних групах модулів – модуля ходової частини та модулів кузовів (рис. 6).

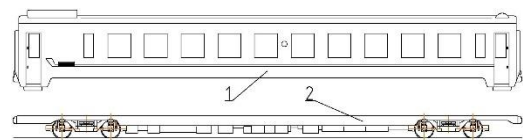


Рис. 6. Базові модулі системи модульного проектування пасажирських вагонів II-го рівня:
 1 – модуль-кузов; 2 – модуль-платформа

Для цієї системи характерна наявність базового модуля-платформи – модуля ходової частини, який, у свою чергу, теж складається з кількох модулів – модуля-рами, модуля-двовісного візка, модуля зчіпного пристрою тощо. Така система забезпечує створення пасажирських вагонів різних модельних рядів з кузовами однакової

довжини на основі застосування єдиного модуля-платформи.

Модельний ряд – це сукупність базової моделі вагонів та кількох її модифікацій, які характеризуються, перш за все, однаковістю більшості формоутворюючих поверхонь, тобто єдиними стилями їх екстер'єру та інтер'єру.

Одна з переваг системи модульного проектування II-го рівня полягає у можливості створення максимально уніфікованих вагонів та потягів постійного формування з різними екстер'єрами, що забезпечує проектування та виробництво:

- потягів постійного формування з оригінальним стилем для фірмових потягів або для потягів різних регіональних філій АТ «Українська залізниця»;

- вагонів або потягів закордонних замовників зі стилем, сформованим за їх специфічними вимогами.

Кузови вагонів систем їх модульного проектування II-го та III-го рівнів можуть створюватися за одним із двох варіантів:

- варіант 1 – кузов, у якому всі його приміщення – тамбурні, службові, пасажирські, санітарні тощо являються невід'ємними його частинами;

- варіант 2 – кузов, який складається з модуля зовнішньої оболонки (підлоги, бокових і торцевих стінок, даху тощо) та окремих модулів різних функціональних приміщень – тамбурного, службового, санітарного, купейного, плацкартного тощо.

У системах модульного проектування пасажирських вагонів I-го та II-го рівнів широко застосовуються проектні модулі у вигляді модулів-купе або плацкартних модулів-секцій.

Система модульного проектування вагонів III-го рівня передбачає наявність сукупності модулів у вигляді модуля-платформи та окремих модулів різних функціональних приміщень (рис. 7).

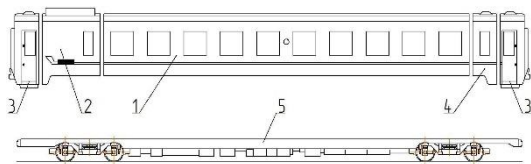


Рис. 7. Базові модулі системи модульного проектування пасажирських вагонів III-го рівня:

- 1 – модуль пасажирського приміщення;
- 2 – модуль службовий; 3 – модуль-тамбур;
- 4 – модуль туалетний; 5 – модуль-платформа

Окремі модулі приміщень встановлюються на модуль-платформу у відповідній

послідовності і кріпляться до рами модуля-платформи та між собою.

Системи модульного проектування пасажирських вагонів та потягів можуть бути розроблені на основі будь-якої сукупності модулів, наприклад тамбур та службові або туалетні приміщення можуть утворювати модуль тамбурно-службовий або модуль тамбурно-туалетний тощо.

На нинішній час системи модульного проектування вагонів II-го і III-го рівнів модульності фактично не застосовуються. Оцінка доцільності їх застосування для створення і виробництва перспективних та конкурентоспроможних вагонів та потягів не являється метою даної роботи і потребує проведення відповідних досліджень.

Концепція модульної системи проектування пасажирських вагонів нової генерації. Забезпечення конкурентоспроможності та підвищення рівня комфортабельності перспективних спальних вагонів нової генерації можливе шляхом застосування пропонованої концепції їх проектування, яка передбачає:

- застосування принципів і методів модульного проектування складних технічних об'єктів виробництва;

- формування системи (сукупності) основних (базових) та допоміжних модулів пасажирських вагонів;

- збільшення розмірних параметрів кузовів вагонів, перш за все їх ширини, до максимально допустимого габаритами рухомого складу 1-Т або 1-ВМ, тобто до 3,4 м;

- розроблення нових компоновальних схем вагонів на основі застосування лише одного тамбура [19], розміщеного у середній частині їх кузовів;

- суттєве підвищення рівнів комфортабельності спальних плацкартних та купейних вагонів.

Підвищення рівнів комфортабельності вагонів різних типів за призначенням пропонується за рахунок:

- обладнання вагонів усіх типів, окрім туалетних приміщень, окремими душовими кабінами;

- створення купейних вагонів, обладнаних не тільки дво- або чотиримісними, але й одномісними купейними відсіками;

- збільшення ширини проходів по пасажирських приміщеннях;

- застосування двох окремих пасажирських відсіків замість одного суцільного пасажирського приміщення;

– обладнання кожного з двох пасажирських відсіків вагона купейними відсіками різної місткості;

– часткового відокремлення та однакових розмірних параметрів усіх спальних полиць плацкартних вагонів зі сторони проходу по пасажирському приміщенню.

Ще однією важливою умовою запропонованої концепції являється збереження номінальної пасажиромістимості на рівні кращих моделей сучасних вагонів, або й, навіть, її збільшення.

Система модульного проектування пасажирських вагонів. Для проектування перспективних пасажирських вагонів нової генерації прийнята система модульності вагонів II-го рівня на базі схеми їх ходової частини (2-2). Пропонована система передбачає проектування вагонів нової генерації на основі сукупності наступних чотирьох груп загальних типів проектних площинних модулів:

- модуля кузова;
- тамбурно-службового модуля;
- модуля пасажирського приміщення;
- модуля туалетних відсіків.

Відповідно до прийнятої концепції проектування вагонів нової генерації, яка передбачає застосування лише одного тамбура та розміщення його у середній частині кузова, проектний площинний модуль-кузов розбитий на п'ять зон та три складові проектні площинні модулі (рис. 8).

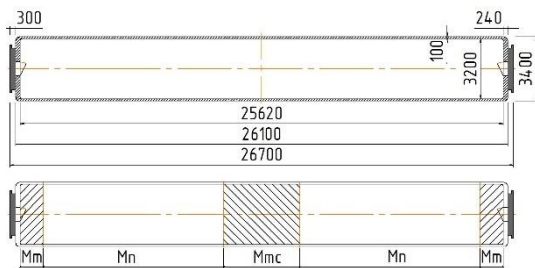


Рис. 8. Складові модулі модуля-кузова системи модульного проектування пасажирських спальних вагонів II-го рівня:

- Mп – модуль пасажирського відсіку;
- Mтс – модуль тамбурно-службовий;
- Mт – модуль туалетних відсіків

Розмірні параметри проектного модуля вагона прийняті на основі розмірів пасажирських спальних вагонів виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» за винятком ширини кузова, яка збільшена до 3,4 м відповідно до вимог нормативних документів.

Пропонована система модульного проектування пасажирських спальних вагонів орієнтована на створення модельного ряду з наступних типів вагонів:

– купейного вагона, обладнаного однимісними купейними відсіками з поздовжнім розміщенням вздовж обох боковин кузова;

– купейного вагона, обладнаного дво- або чотиримісними купейними відсіками з поперечним розміщенням спальних місць;

– плацкартного вагона, обладнаного шести-місними плацкартними відсіками з однаковими розмірами спальних місць.

Отже, у сукупності проектних модулів системи повинно бути:

- три різновиди максимально-уніфікованих тамбурно-службових модулів однакової довжини, основна відмінність яких полягає у різному розміщенні дверей входів до обох пасажирських приміщень;
- два типи модулів-секцій купейних вагонів;
- один тип модуля-секції плацкартного вагона;
- три типи максимально-уніфікованих модулів туалетних відсіків.

Визначальним для визначення довжини проектного модуля обох пасажирських відсіків являється довжина проектного модуля купейного відсіку з двома одномісними купе, розміщеними вздовж боковин кузова вагона.

Розрахункова схема для визначення основних розмірних параметрів модуля такого купейного відсіку наведена на рис. 9.

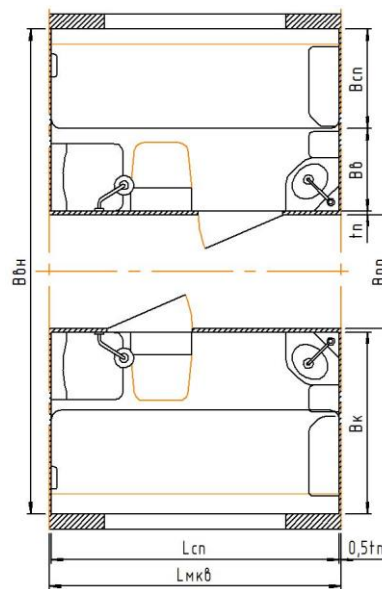


Рис. 9. Розрахункова схема проектного модуля купейного відсіку з двома одномісними купе

За основу для визначення основних розмірних параметрів цього модуля прийняті наступні нормативні вимоги (не менше):

- довжина спальної полиці, м 1,9
- ширина спальної полиці, м 0,6

- відстань від спальної полиці до перегородки, м0,5
- ширина проїми дверей, м0,56
- ширина проходу по пасажирських відсіках, м.....0,75

Мінімальна довжина проектного модуля купейного відсіку, у якому встановлено два одномісні купе,

$$L_{МКВ} = L_{СП} + t_{П}, \quad (1)$$

де $L_{СП}$ – довжина спальної полиці, м;

$t_{П}$ – товщина перегородки, м.

За умови $t_{П} = 0,025$ м мінімальна довжина проектного модуля такого купейного відсіку рівна 1,925 м.

Довжина проектного модуля кожного пасажирського відсіку визначається за формулою

$$L_{МП} = n_{МКВ} \times L_{МКВ}, \quad (2)$$

де $n_{МКВ}$ – кількість модулів купейних відсіків у проектному модулі пасажирського відсіку, од.

За умови прийнятої кількості модулів купейних відсіків $n_{МКВ} = 5$ довжина модуля пасажирського відсіку $L_{МП} = 9,625$ м.

Ширина купе цього модуля визначається з виразу

$$(B_{СП} + B_{В}) \leq B_{К} \leq 0,5(B_{ВН} - B_{ПР} - 2t_{П}), \quad (3)$$

де $B_{СП}$ – ширина спальної полиці, м;

$B_{В}$ – відстань між спальною полицею і перегородкою між купе і проходом по відсіку, м;

$B_{ВН}$ – внутрішня ширина вагона, м;

$B_{ПР}$ – ширина проходу по відсіку, м;

$t_{П}$ – товщина перегородки між модулями купейних відсіків, м.

З виразу (3), при $t_{П} = 0,025$ м, ширина купе прийнята рівною $B_{К} = 1,2$ м.

Мінімальна довжина модуля туалетного відсіку (рис. 10) визначається з виразу

$$L_{МТ} = \frac{[S_{Т}]}{B_{К}} + (t_{Т} - 0,5t_{П}) \geq [B_{Т}], \quad (4)$$

де $[S_{Т}]$ – регламентована мінімальна площа туалетного приміщення, м²;

$t_{Т}$ – товщина перегородки між туалетним приміщенням і купейним відсіком, м;

$[B_{Т}]$ – допустима мінімальна ширина туалетного приміщення, м.

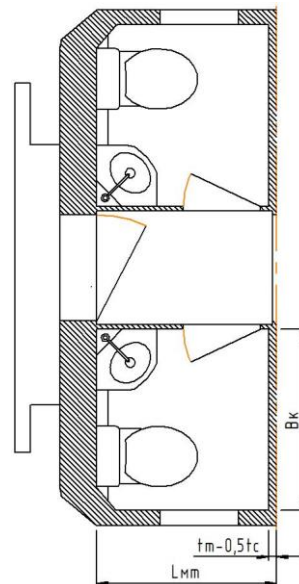


Рис. 10. Розрахункова схема модуля туалетної секції з двома туалетними приміщеннями – варіант МТ-1

За вимогами нормативних документів $[S_{Т}] = 1,2$ м², $[B_{Т}] = 0,9$ м, а величина $t_{Т}$ прийнята рівною 0,065 м.

Оскільки $B_{К} = 1,2$ м $>$ $[B_{Т}] = 0,9$ м мінімальна довжина модуля туалетної секції приймається з умови $L_{МТ} \geq 1,0525$ м.

Мінімальна довжина тамбурно-службового модуля (рис. 11) визначається за формулою

$$L_{МТС} \geq L_{СПР} + L_{ТВ} + L_{Т} + 2(t_{С} - 0,5t_{П}) + t_{ВБ} + t_{С}, \quad (5)$$

де $L_{СПР}$ – довжина службового приміщення, м;

$L_{ТВ}$ – довжина технічного відсіку, м²;

$L_{Т}$ – ширина тамбурного проходу, м;

$t_{С}$ – товщина стінки між модулем купейного відсіку та тамбурно-службовим модулем, м;

$t_{ВБ}$ – товщина стінки між службовим приміщенням та технічним відсіком, м.

Мінімальна довжина модуля службового приміщення провідників визначається з умови

$$L_{СПР} \geq \frac{[S_{СПР}]}{B_{К}}, \quad (6)$$

де $[S_{СПР}]$ – регламентована мінімальна площа службового приміщення, м².

Ширина тамбурного проходу має становити

$$L_{Т} \geq [B_{Т}], \quad (7)$$

де $[B_T]$ – регламентована мінімальна ширина тамбура, м.

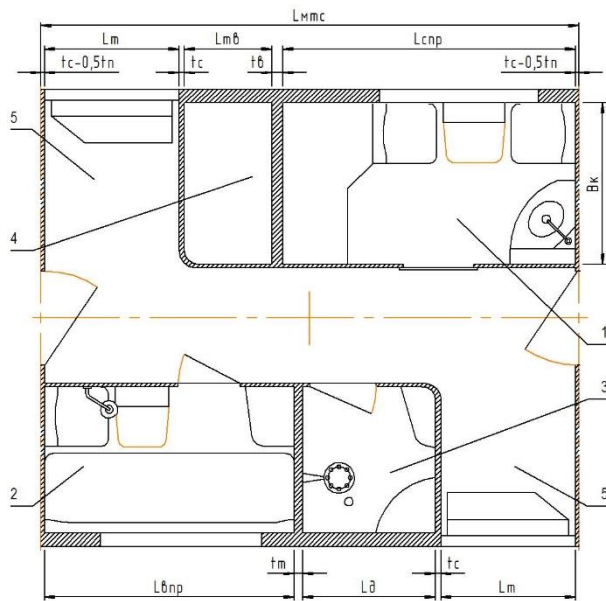


Рис. 11. Розрахункова схема тамбурно-службового модуля (варіант Мтс-1): 1 – службове приміщення; 2 – купе для відпочинку провідників; 3 – душова кабіна; 4 – технічний відсік; 5 – тамбурні відсіки

Для пасажирських спальних вагонів за вимогами нормативних документів $[B_T]=1,0$ м, $[S_{cnp}]=2,6$ м². Величини інших розмірних параметрів: $L_{TB}=0,65$ м; $t_c = 0,04$ м і $t_{Bб} = 0,1$ м.

Розмірні параметри іншої половини проектного тамбурно-службового модуля має менший вплив на його довжину, оскільки сума $(L_{впр} + L_D)$ у даному випадку може бути меншою за $(L_{cnp} + L_{TB})$.

Довжина купе для відпочинку провідників визначається з умови

$$L_{впр} \geq [L_{впр}], \quad (8)$$

де $[L_{впр}]$ – регламентована мінімальна довжина купе для відпочинку провідників, м.

Оскільки $[L_{впр}]=1,665$ м, $L_{впр} \geq 1,665$ м, а розрахункова мінімальна довжина тамбурно-службового модуля рівна $L_{MTC}=3,97$ м

Остаточні довжини пропонованих проектних модулів визначаються графічним методом при проведенні робіт з розроблення ескізних компонувань перспективних вагонів нової генерації. У результаті цих робіт прийняті наступні довжини проектних модулів: модуль пасажирського відсіку – $L_{мп}=9,625$ м; модуль тамбурно-службовий – $L_{MTC}=4,0$ м; модуль туалетного відсіку – $L_{MT}=1,725$ м.

Планування пасажирського спального купейного вагона нової генерації високого рівня комфортабельності, обладнаного модулями-відсіками з двома одномісними купе, наведено на рис. 12.

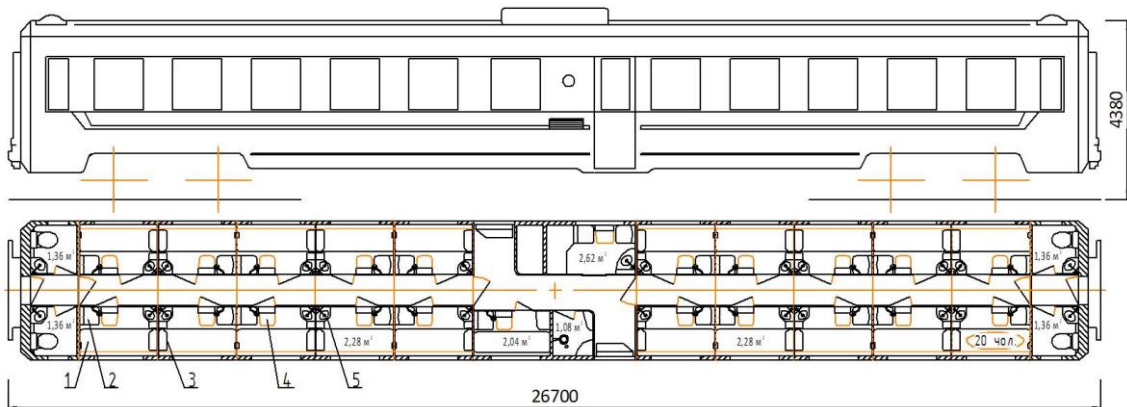


Рис. 12. Купейний вагон нової генерації проекту sV-g01: 1 – спальна полиця; 2 – сидіння; 3 – вішак для одягу; 4 – відкидний столик; 5 – умивальник/ ящик для сміття

Для створення спальних вагонів інших типів необхідно сукупність модулів пропонованої системи їх модульного проектування, з огляду на інше розміщення проходів по пасажирських секціях, доповнити іншими варіантами тамбурно-службового модуля та модуля туалетної секції.

Тамбурно-службові модулі у двох інших варіантах – Мтс-2 та Мтс-3 – відрізняються лише розміщенням дверей входів до пасажирських секцій (рис. 13).

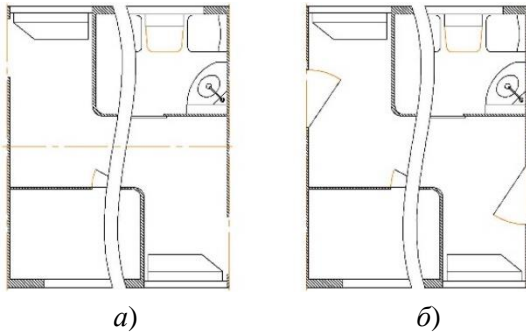


Рис. 13. Модулі тамбурно-службові:
 а – варіант Мт-2 для купейних вагонів з дво- або чотиримісними модулями-секціями;
 б) – варіант Мт-3 для плацкартних вагонів

Туалетні модулі-секції Мт-2, для купейних вагонів з дво- і чотиримісними купе, та Мт-3, для плацкартних вагонів, обладнані лише одним туалетним приміщенням а також ящиком для сміття та аварійними дверима (рис. 14).

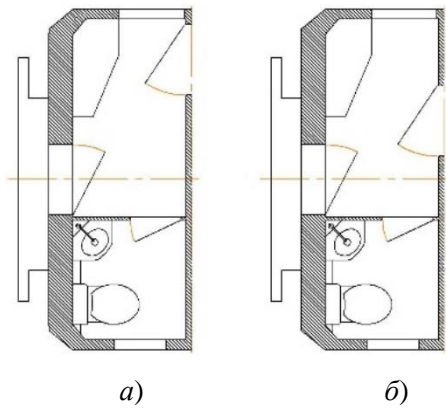


Рис. 14. Модулі туалетні:
 а – варіант Мт-2 для купейних вагонів;
 б – варіант Мт-3 для плацкартних вагонів

Розрахункова схема для визначення основних розмірних параметрів модуля купейного відсіку з поперечним розміщенням спальних полиць наведена на рис. 15.

Оскільки $L_{МКВ} = 1,925$ м ширина спальних полиць визначається з виразу

$$B_{СП} \geq 0,5(L_{МКВ} - B_c - t_{П}), \quad (9)$$

де B_c – відстань між спальними полицями, м.

За вимогами нормативних документів $B_c \geq 0,6$ м, тоді $B_{СП} = 0,65$ м (допустима ширина спальної полиці $[B_{СП}] = 0,6$ м).

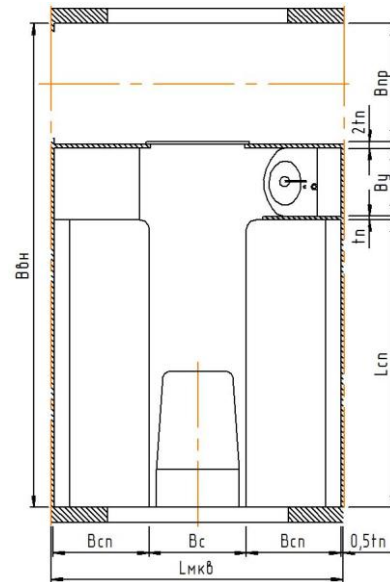


Рис. 15. Розрахункова схема проектного модуля дво- або чотиримісного купейного відсіку

Максимальна ширина блоку з умивальником та шафою для одягу визначається з умови

$$B_y \leq B_{ВН} - (L_{СП} + B_{ПР} + 3t_{П}). \quad (10)$$

Розрахункова схема для визначення основних розмірних параметрів модуля плацкартного відсіку, за умови рівності розмірів спальних полиць, наведена на рис. 16.

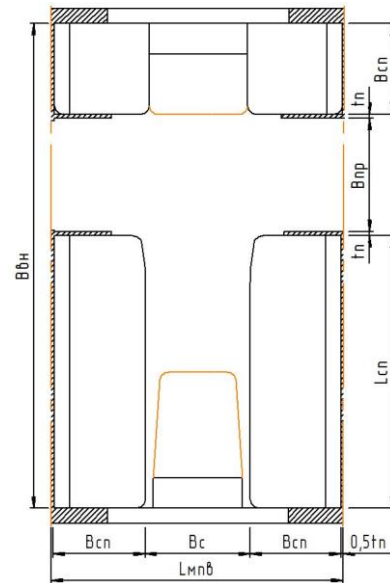


Рис. 16. Розрахункова схема проектного модуля плацкартного відсіку

Ширина спальних полиць плацкартного вагона розраховується за формулою

$$B_{СП} = B_{ВН} - (L_{СП} + B_{ПР} + 2t_{П}). \quad (11)$$

При заданих допустимих розмірних параметрах $V_{сп} = 0,6$ м.

Планування пасажирських спальних купейних вагонів нової генерації проекту sV-g02, обладнаного дво- або чотиримісними купе, суттєво вищих рівнів комфортабельності у порівнянні з сучасними вагонами виробництва ПАТ «КрВЗ», наведено на рис. 17.

Планування пасажирського спального плацкартного вагона нової генерації підвищеного рівня комфортабельності, обладнаного шестимісними відсіками, наведено на рис. 18.

Сукупність фізичних та проектних модулів різних типів пропонованої системи модульного проектування II-го рівня для створення пасажирських максимально-уніфікованих спальних плацкартних і купейних вагонів нової генерації наведена на рис. 19.

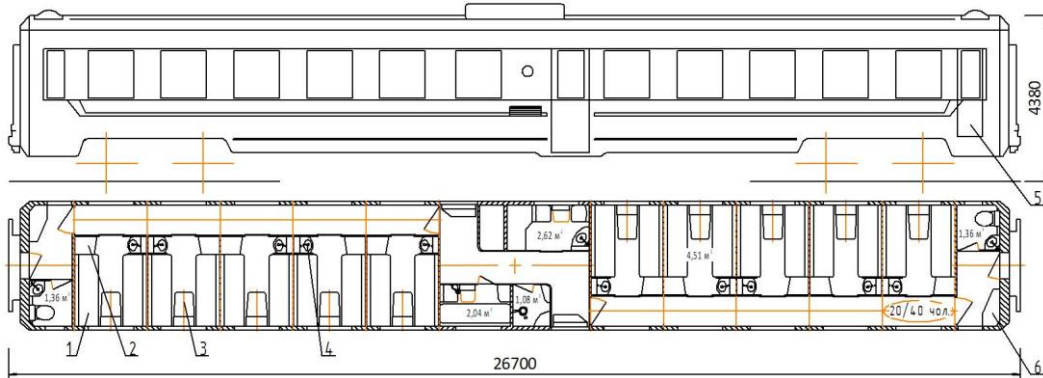


Рис. 17. Купейний вагон нової генерації проекту sV-g02: 1 – спальна полиця; 2 – шафа для одягу; 3 – відкидний столик; 4 – умивальник/ ящик для сміття; 5 – аварійний вихід; 6 – ящик для сміття

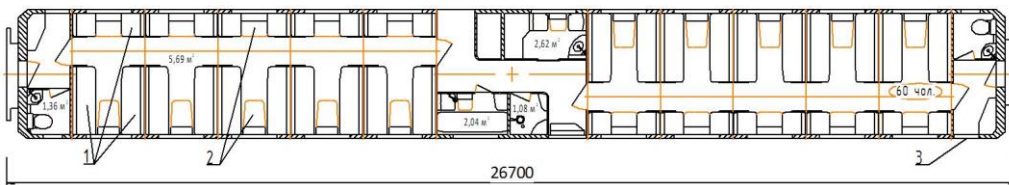


Рис. 18. Плацкартний вагон нової генерації проекту sV-g03: 1 – спальна полиця; 2 – відкидний столик; 3 – ящик для сміття



Рис. 19. Сукупність модулів системи модульного проектування спальних вагонів нової генерації

Отже, пропонована система модульного проектування спальних вагонів нової генерації забезпечує дуже велику степінь уніфікації їх конструкцій. Зокрема, навіть за умови застосування замість одного модуля-платформи двох модулів двовісних візків. Така система модульного

проектування вагонів являється проміжною між системами I-го та II-го рівнів., тобто системою I+ рівня.

Аналіз технічної довершеності та рівнів комфортабельності вагонів нової генерації. Основні конструктивні та експлуатаційні

параметри і оцінка технічної досконалості та рівнів комфортабельності пасажирських купейних і плацкартних вагонів за методикою [20],

компонувальні схеми яких розроблені на основі запропонованої системи їх модульного проектування II-го рівня, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка комфортабельності пасажирських купейних спальних вагонів

Найменування параметра	Регламентовані величини	Проект вагону			
		sV-g01	sV-g02		sV-g03
Параметри кузовів вагонів: довжина/ ширина, м		26,7/ 3,4			
- довжина/ ширина пасажирських відсіків, м		2 відсіки 9,6/ 3,2			
- площа пасажирського приміщення, м ²		61,44 (2x30,72)			
- ширина проходу по вагону, м	[0,75]	0,75	0,78	0,75	
- ширина дверей проходу по вагону, м	[0,7]	0,7			
- довжина/ ширина тамбурів, м	[2,7/ 1,0]	5,895/ 1,0			
- ширина вхідних дверей тамбурів, м	[0,78]	0,78			
Коефіцієнт комфортабельності вагонів, k_B		0,75	0,78	0,75	
Параметри пасажирських купе або відсіків:					
- площа, м ²		2,28	4,51		5,69
- вмістимість, чол.		1	2	4	6
- довжина/ ширина нижньої спальної полиці, м	[1,9/ 0,6]	1,9/ 0,6	1,9/ 0,625		1,9/ 0,6
- довжина/ ширина верхньої спальної полиці, м	[1,83/ 0,6]	1,9/ 0,625	1,9/ 0,625		1,9/ 0,6
- відстань між спальними полицями, м	[0,6]	0,6	0,65		0,68
- ширина дверей, м	[0,56]	0,56		-	
Коефіцієнт комфортабельності купе, $k_{ПК}$		2,28	2,53	1,27	1,07
Параметри службового купе:					
- площа, м ²	[2,6]	2,62			
- ширина дверей, м	[0,43]	0,43			
Коефіцієнт зручності службового купе, $k_{СК}$		1,01			
Параметри купе відпочинку, м:					
- довжина/ ширина спального місця	[1,665/ 0,58]	1,885/ 0,6			
- відстань між спальним місцем і перегородкою	-	0,5			
- ширина дверей	[0,43]	0,43			
Коефіцієнт зручності купе відпочинку, $k_{КВ}$		2,01			
Параметри туалетів загального користування:					
- площа, м ²	[1,2]	1,36			
- ширина, м	[0,9]	1,1325			
- ширина дверей, м	[0,49]	0,5			
Коефіцієнт зручності туалетів, $k_{ТП}$		1,67			
Кількість туалетів загального користування, од.	[2]	4	2		
Коефіцієнт туалетів на 1-у особу, $k_{ТП}^n$		0,18	0,09	0,05	0,03
Кількість душових кабін загального користування, од.		1			
Коефіцієнт душових кабін на 1-у особу, $k_{Д}^n$		0,05		0,25	0,02
- кількість спальних полиць		1	2	4	6
- кількість окремих сидінь		1	-		
- наявність шафи для верхнього одягу		0,5	1		-
- наявність умивальника/ ящика для сміття в купейному відсіку		1 + 1			-
Коефіцієнт комфортабельності пасажирського купе або плацкартного відсіку, $k_{К}^{ПК}$		2,75	1,75	1,12	0,75
Узагальнений коефіцієнт комфортабельності пасажирських спальних вагонів, $k_{КОМ}$		9,73	7,58	5,00	2,83

Порівняння показників технічної досконалості та рівнів комфортабельності пропонуваніх проектів перспективних конкурентоспроможних пасажирських купейних і плацкартних вагонів нової генерації проектів sV-g01, sV-g02 і sV-

g03 та сучасних серійних вагонів моделей 61-779А, 61-779 і 61-779П виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Аналіз комфортабельності пасажирських спальних купейних і плацкартних вагонів

Найменування параметра	Модель вагону						
	sV-g01	sV-g02		sV-g03	61-779А	61-779	61-779П
Параметри вагонів:							
- довжина/ ширина кузова, м	26,7/ 3,4				16,696/ 3,021		
- вмістимість, чол.	20	20	40	60	20	40	58
Коефіцієнт комфортабельності вагонів, k_B	0,75	0,78		0,75	0,60		0,34
Коефіцієнт комфортабельності купе, $k_{ПК}$	2,28	2,53	1,27	1,07	1,71	0,86	0,67
Коефіцієнт зручності службового купе, $k_{СК}$	1,01				1,0		
Коефіцієнт зручності купе відпочинку, $k_{КВ}$	2,01				0,92		
Коефіцієнт зручності туалетів, $k_{ТП}$	1,67				1,44		
Коефіцієнт туалетів на 1-у особу, $k_{ТП}^n$	0,18	0,09	0,05	0,03	0,09	0,05	0,03
Коефіцієнт душових кабін на 1-у особу, k_D^n	0,05		0,25	0,02	-		
Коефіцієнт комфортабельності пасажирського купе або плацкартного відсіку, $k_K^{ПК}$	2,75	1,75	1,12	0,75	1,0	0,75	0,5
Узагальнений коефіцієнт комфортабельності пасажирських спальних вагонів, $k_{КОМ}$	9,73	7,58	5,00	2,83	3,63	2,67	1,59

Аналіз величин коефіцієнтів технічної досконалості та комфортабельності пропонуваніх пасажирських спальних вагонів показує, що за усіма оціночними показниками комфортабельності та зручності користування вагонами беззаперечну перевагу мають купейні вагони пропонуваніх проектів Sv-g01, Sv-g02, Sv-g03, оскільки:

– рівень комфортабельності перспективних спальних плацкартних вагонів проекту Sv-g03 вищий на 178 %, порівняно з вагоном 61-779П, при тому, що їх пасажировмістимість більша на 2 чол.;

– рівень комфортабельності перспективних спальних купейних вагонів проекту Sv-g02 вмістимістю 40 чол. вищий на 187 %, вмістимістю 20 чол. – на 209 %, а проекту Sv-g01 з одномісними купе – на 268 % порівняно з, відповідно, вагонами моделей 61-779 та 61-779А.

За рахунок оптимізації довжини тамбурно-службових модулів, зокрема, модуля Мтс-3 спального плацкартного вагона проекту Sv-g03, довжина всіх спальних полиць у плацкартних відсіках збільшена на 0,1 м порівняно з проектами плацкартних вагонів sV-п2.01, sV-п2.02, sV-п3.01 та sV-п3.02, наведених у роботі [21] і становить 1,9 м. Крім того, за умови забезпечення ширини проходів по пасажирських відсіках

$[B_{пр}] = 0,75$ м, поперечно та поздовжньо розміщені спальні полиці частково відокремлені від проходу перегородками висотою від підлого до стелі. Таке конструктивне рішення сприятиме створенню більш затишних умов пасажиром під час снання.

Висновки

Застосування пропонуваної системи модульного проектування пасажирських спальних вагонів II-го рівня забезпечує створення спальних плацкартних і купейних вагонів нової генерації вищого у 1,87...2,68 разів рівня комфортабельності.

Розділення суцільних пасажирських приміщень вагонів усіх проектів на два відокремлені відсіки сприятиме суттєвому зменшенню рівнів шуму у цих відсіках, особливо у плацкартних вагонів, пасажировмістимість яких у 1,5-2 рази більша ніж купейних.

Крім того, пасажировмістимість плацкартного вагона проекту Sv-g03, яка становить 60 чол., більша на 2 чол. порівняно з плацкартним вагоном моделі 61-779П.

Пропонувана система модульного проектування спальних вагонів нової генерації забезпечує створення необхідних максимально-

уніфікованих модифікацій наведених вище базових проєктів, наприклад:

– купейних вагонів проєктів Sv-g01 і Sv-g02 змішаного планування, у яких один пасажирський відсік обладнаний дво-/чотиримісними купейними відсіками, інший – купейними відсіками з двома одномісними купе;

– плацкартних вагонів проєкту Sv-g03. обладнаних третім туалетним приміщенням замість душевої kabіни при зменшенні довжини купе відпочинку провідників на 0,105 м, тобто до 1,75 м, що суттєво перевищує допустиму мінімальну довжину спальної полиці цього купе, яка становить $[L_{впр}] = 1,665$ м.

Проєктування та організація виробництва пропонованих вагонів нової генерації за пропонованою системою модульності їх конструкцій потребує у кілька разів менших обсягів фінансування та термінів виконання усіх етапів цих циклів.

Подальший розвиток пропонованої системи модульного проєктування пасажирських спальних вагонів вбачається у застосуванні окремих фізичних конструктивних модулів, наприклад модулів туалетних та душевих kabін. Така система, яку можна віднести до систем рівня П+, забезпечила би можливість виготовлення вагонів базових моделей у різних модифікаціях при мінімальних фінансових витратах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
2. Васильев А. Л. Модульный принцип формирования техники. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 238 с.
3. Модульная постройка судов (Модульные методы в судостроении) / Л. Ц. Адлерштейн, Г. В. Бавыкин, А. Л. Васильев и др. Л. – Судостроение, 1983. – 320 с.
4. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станок с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
5. Высоцкий М. С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик – Минск: Беларус. навука, 2011. – 392 с.
6. Княгинин В. Н. Модульная революция: расширение модульного дизайна и эпоха модульных платформ. учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой. – СПб., 2013. – 80 с.
7. Балабин В. Н. Принципы модульности в проектировании современных автономных локомотивов / В. Н. Балабин, Ф. Винклер // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 22-24.
8. Kera K. Hitachi's Total Solutions for Railway Systems and Services / K. Kera, T. Uchimura, K.

Kimura, M. Nagakura // Hitachi Review. – 2001. – Vol. 50 (), No. 4. pp. 122-129.

9. Horihata K, Sakamoto H., Kitabayashi H., Ishikawa A. Environmentally Friendly Railway-car Technology // Hitachi Review. – 2008. – Vol. 57 (1). – pp. 18-22.

10. Railway systems. Hitachi Review. – 2015. – Vol. 63 (10). 80 p.

11. Andersson E. Extra wide-body passenger trains in Sweden - background and introduction // E. Andersson, K. Kottenhoff, Bo-L. Nelldal // Submitted for World Congress on Railway Research (WCRR.01), Koln, Nov. – 2001. – Paper 99. – 16 p.

12. Bosso N. Design and Simulation of a Railway Vehicle for the Transport of People with Reduced Mobility // N. Bosso, A. Gugliotta, N. Zampieri // Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy. – 2018. – 15 p.

13. Cucu L. Modular design for storage of luggage in passenger trains / L. Cucu, I. Simion, G. F. Stoica, S. Cananau // U.P.B. Sci. Bull., Series D. – 2015. – Vol. 77, Iss. 2. – pp. 225-234.

14. Wood, J. Research Relating to New Passenger Train Interiors for 2020 and beyond, in Partnership with Government, Industry and Academia, in Israsena, P., Tangsantikul, J. and Durling, D. (eds.) / J. Wood, J. Findlay // Research: Uncertainty Contradiction Value - DRS International Conference 2012, 1-4 July, Bangkok, Thailand. – URL: <https://dl.designresearchsociety.org/drs-conference-papers/drs2012/researchpapers/149> (дата звернення 09.04.2022).

15. Talgo 250. – URL: http://web.talgoamerica.com/images/Trainset/Talgo_250_WebComp.pdf (дата звернення 09.04.2022).

16. Electrical low-floor multiple unit flirt.: – URL: https://www.stadlerrail.com/media/pdf/flirt%20bzd%20ic%20epmii_en.pdf (дата звернення 09.04.2022).

17. Elektrischer triebzug flirt. – URL: https://www.stadlerrail.com/media/pdf/flirt_pkp_d.pdf (дата звернення 09.04.2022).

18. ПАТ “Крюковский вагоностроительный завод”. Пассажирское вагоностроение. Каталог [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.kvsz.com/images/catalog/tsn.pdf> (дата звернення 09.04.2022).

19. Основные принципы и критерии технических требований к техническим средствам для использования их на пространстве 1520: Документ 998_314. Законодавство України: офіц. веб-сайт. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_314/sp:max25. (дата звернення: 23.12.2019).

20. Войтків С. В. Методика оцінки рівня комфортабельності пасажирських купейних спальних вагонів / С. В. Войтків // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2020. – № 1 (85). – С. 44-55. doi : 10.15802/stp2020/200751.

21. Войтків С. В. Напрямки створення перспективних конкурентоспроможних спальних плацкартних вагонів підвищеної комфортабельності / С. В.

S. V. VOYTKIV

FUNDAMENTALS OF MODULAR DESIGN OF PROSPECTIVE NEW GENERATION PASSENGER SLEEPING WAGONS

Purpose. The aim of the work is to study the directions for creating promising competitive passenger sleeping wagons based on the application of the principles of their modular design. **Methodology.** The research is based on the analysis of literature sources, formation of a system of wagon modules and development on their basis of possible variants of modular design of passenger sleeping wagons and assessment of prospects for their application based on mathematical analysis of the degree of unification of car designs. **Findings.** In the course of research, it was established that the design of promising passenger sleeping wagons of the new generation should be based on the principles of significantly improving the quality and comfort of passenger transport based on the use of new layout schemes and relevant principles of modular design. The basic geometric module of passenger wagons of any functional purpose assumes increase in width of its body of 3,4 m. Systems of modular design of passenger sleeping wagons in several variants developed on the basis of the offered new layout schemes providing application of two lateral or only one vestibule located in one end wagons or in the middle of their bodies. The proposed layout schemes also provide for increasing the width of longitudinal passages in passenger rooms, equipping wagons with different numbers of bathrooms depending on the type of wagons for their intended purpose, equivalent in size parameters berths in reserved or compartment wagons of the appropriate class. **Originality.** The scientific novelty of the work is that for the first time, based on selected concepts, a system of modules for the design of passenger wagons for various functional purposes, their definitions and evaluation of the prospects of the proposed modular design systems for passenger wagons. **Practical value.** Developed systems of modular design of promising passenger sleeping wagons and compartment wagons of the new generation provide a significant increase in their comfort levels, improve the quality and safety of passenger transport, as well as significantly reduce the timing and amount of funding for cars of different classes and purposes, maintenance and repairs during operation.

Keywords: modular design, wagon module, passenger sleeping wagon, comfort criteria, wagon comfort level.