

Ж. Мусаев, **Н. Ивановцева**, **Н. Сүлеева**

Логистика және көлік академиясы

E-mail: m.zhanat@alt.edu.kz

TALGO ЖОЛАУШЫЛАР ВАГОНДАРЫНЫҢ ДӨҢГЕЛЕКТЕРІНІҢ СЫРҒАНАУ БЕТІНІҢ ПРОФИЛІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Түйіспелі-шаршау зақымдануы доңғалақ блогының істен шығуына және темір жолдардағы қозғалыс қауіпсіздігінің бұзылуына әкелуі мүмкін. Доңғалақтардың жылдам айналуы қосымша экономикалық шығындарды талап етеді және доңғалақтардың қызмет ету мерзімінің қысқаруына әкеледі.

Мақалада доңғалақтардың сырғанау бетінің ақаулары мен тозу ықтималдығын азайту үшін жаңа дизайн шешімдерін зерттеу жүргізілді. Пневматикалық аспа және шанақты еңкейту жүйесімен біріктірілген үлгідегі құрамдардың дөңгелектерін домалату бейінін оңтайландыру «Universal Mechanism» бағдарламалық кешенді қолдану арқылы орындалды.

Оңтайландырылған профиль стандартты профильмен салыстырғанда тозу факторының 50% - ға дейін төмендеуін, бүйірлік күштердің аздап төмендеуін (10% - ға дейін), түзулердегі орнықтылық қорының коэффициентінің едәуір жақсаруын (30% - ға дейін), қисықтардағы орнықтылық қорының коэффициентінің жақсаруын (10% - дан аспайтын) қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер. Теміржол дөңгелегі, сырғанау профилі, ақаулар, тозу, талдау, сандық эксперимент, оңтайландыру

Кіріспе.

Теміржол дөңгелектері жылжымалы құрамның маңызды бөлігі болып табылады, бұл оның тиімді жұмысын және қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Соңғы жылдары доңғалақтардағы жүктеме деңгейінің жоғарылауы және қозғалыс жылдамдығының жоғарылауы дөңгелектер санының көбеюіне, сондай-ақ рельстердің тозу қарқындылығының артуына әкелді. Бұл мәселелерді шешу көбінесе доңғалақ пен рельстің өзара әрекеттесетін беттерінің құрылымдық және технологиялық параметрлеріне байланысты болады. Көптеген авторлардың жұмыстары осы параметрлерді зерттеу мен оңтайландыруға арналған [1]. Доңғалақ пен рельстің геометриясы, жүріс бөліктері мен жолдың басқа параметрлерімен қатар, доңғалақ жұптарының тегістігіне ғана емес, сонымен қатар доңғалақ пен рельстің байланыс беттерінің тозуына және байланыс кернеулеріне де әсер етеді.

Түйіспелі-шаршау зақымдануы доңғалақ блогының істен шығуына және темір жолдардағы қозғалыс қауіпсіздігінің бұзылуына әкелуі мүмкін. Мұндай ақаулардың пайда болу жағдайларын анықтау және олардың пайда болу ықтималдығын төмендететін жаңа дизайн шешімдерін іздеу өзекті болып табылады.

Параметрлік оңтайландыру белгілі бір критерий тұрғысынан жүйенің параметрлерінің мәндерін іздеу процесі ретінде әртүрлі тәсілдерді қолдана отырып шешілуі мүмкін.

«Universal Mechanism» (UM) бағдарламалық кешенінде мамандандырылған Модульдер, атап айтқанда тозу процесінде теміржол доңғалақтарының профильдерінің

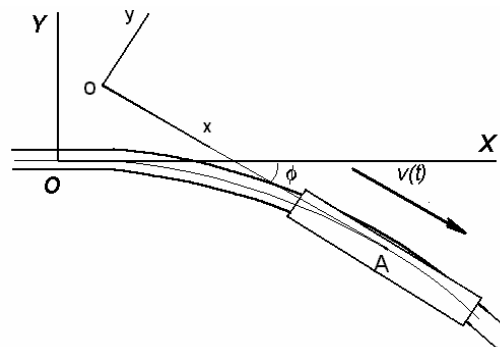
өзгеруін болжауға арналған Wheel Profile Wear Evolution құралы бар. Құрал доңғалақ профильдерінің тозуын модельдеуге параллель дискретті тәсілді қолданады [2].

Материалдар мен тәсілдер.

Модельдеу уақыт облысында орындалады, яғни уақыттан тәуелді. UM Loco көмегімен толығымен параметрленген модельдерді құруға болады, яғни бұл дегеніміз идентификатор немесе туындылар көмегімен инерциялы, геометриялық параметрлерді (соның ішінде элементтердің графикалық көріністерінде), және де күштік элементтердің негізгі сипаттамаларын (мысалы, серіппелер қатандығы, өшіргіштер диссипациясының коэффициенттері, түйісулердегі үйкеліс коэффициенттері және т.с.с) беруге болады. Модельдің параметрленуі РЭ-ның негізгі қалыптастырылу есептемесі болып келеді.

UM-да қабылданған, координаталардың базалық жүйесі (КБЖ), келесі стандартты талаптарды қанағаттандыру керек:

1. Z осі тігінен орналасқан, X осі қозғалыс бағытында экипаж бойымен бағытталған (яғни РЭ X осінің оң бағытында қозғалады).
2. Координаталар басы рельс басының деңгейінде немесе идеалды тік жолдағы доңғалақ жұптарының осьтер деңгейінде орналасқан.



1 сурет - Координаталар жүйелері.

Динамиканы модельдеу кезінде пайдаланушы координаталардың базалық жүйесінің екі түрлі типін таңдай алады:

- 1) Инерциалды емес КБЖ.
- 2) Инерциалды КБЖ.

Координаталар жүйесінің берілген типтері экипаждың қисықтағы қозғалысы кезінде ерекшелінеді (1 сурет). Инерциалды КБЖ жерге қатысты белгіленген (1 суреттегі ОХУ). Инерциалды емес КБЖ (1 суреттегі ОХУ) инерциалдымен уақыттың бастапқы моментінде және экипаждың өтпелі қисыққа келуіне дейін сәйкес келеді, бірақ ох осі жанама бойымен қисыққа қарай шанақтың масса ортасына сәйкес жағдайында бағытталады, яғни ох ось экипажды «бақылай» отырып, көлденең жазықтығында қисықтық бастапқы моментінде шанақтың масса ортасының X координатасы нольге тең болса, онда қозғалыс кезіндегі X координатасы экипажбен жүріп өткен жолға тең болады.

Уақыттың бастапқы моментінде екі типтің де КБЖ –сі сәйкес келгендіктен, енгізу бағдарламасында РЭ моделінің сипаты ерекшелінбейді.

Инерциалды КБЖ-ін қолдану ұсынылады:

- құрамында бірнеше экипажы бар модельдер үшін (тіркес, пойыз, құрам);
- кіші радиусты қисықта және РЭ қозғалысы кезінде.

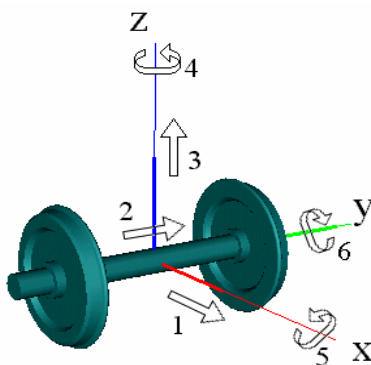
Экипаждың бағытаушы аударымда немесе құрамында бірнеше қисығы бар, еркін профильдің жолы бойымен қозғалысы кезінде автоматты түрде инерциалды КБЖ қолданылады.

Жолдың макрогеометриясын таңдауды қараңыз (түзу, қисық, S-қисық, бағыттаушы аударым, профиль бойымен)

Әдетте модельдің сол жақ элементі болып Y оң координатасына саналады (яғни РЭ қозғалысының жүрісі бойындағы сол жақтағы).

УМ-ғы доңғалақ жұбы стандартты жүйе асты болып көрсетілген. Еркіндік дәрежесінің саны бойынша ерекшеленетін доңғалақ жұбының екі типі орындалған.

Алты еркіндік дәрежесі бар доңғалақ жұбының моделі екі денеден, екі шарнирден және доңғалақ жұбының графикалық көрінісінен құралады. Бір дене доңғалақ жұбының базасын құрайды және онда бес еркіндік дәрежесі болады (бұнда доңғалақ жұбының симметрия осінің айналасындағы бұрылысының еркіндік дәрежесі болмайды), 2 суретте ДЖ базасының стандартты аталуы – W_{set} . Екінші дене гиристат болып келеді, яғни симметриялы дене, бұда Y осіне (ДЖ симметриясының осі) қатысты инерция моменті ғана нөлден ерекшеленеді. Гиристаттық стандартты аталуы – $W_{SetRotat}$. Гиристат доңғалақ жұбының базасына қатысты бір еркіндік дәрежесіне ие – ДЖ симметриясының осі айналасындағы айналым. База қозғалысының гиристатпен теңдеуі алты еркіндік дәрежесі бар жалғыз дене қозғалысының теңдеуімен нақты сәйкес келеді.



2 сурет - Доңғалақ жұбының еркіндік дәрежелері

Бір емес, екі денемен көрсетілген доңғалақ жұбы келесі маңызды мақсатқа ие: бұл буксаларды абсолютті қатты денелер ретінде алып тастауға мүмкіндік береді, яғни бұл модельдің еркіндік дәрежелер санын азайтады және сандық модельдеу жылдамдығын айтарлықтай жоғарлатады. Шынымен де, егерде доңғалақ жұбы алты еркіндік дәрежесі бар бір денемен модельденсе, онда тігінен осы денеге, оның айналу күшіне байланысты, бірінші сатыдағы өшіргіштердің, жетектегіштердің, серіппелердің қосылуы мүмкін емес болып қалады, бұл буксалардың модельденуін тудырады. ДЖ екі денемен модельдену кезінде айтылған элементтерді тігінен доңғалақ жұбының базасына тікелей қосуға болады, өйткені онда қиғаш осі айналасындағы айналым болмайды, сондықтан көп жағдайда буксаларды РЭ компьютерлік моделіне енгізбей-ақ қоюға да болады [3, 4].

Нәтижелер.

Сырғату шеңберінің радиус ақауы бірдей ДЖ-ның сол және оң жақ доңғалағының сырғату шеңберлерінің радиустар айырмашылығына тең (мысалы, бірқалыпсыз тозу нәтижесінен), және де мына формуламен анықталады:

$$dr = r_l - r_r,$$

мұндағы: r_l, r_r – сәйкес шеңберлердің сол және оң жақ радиустары dr параметрі оң болып келеді, егерде сол жақ доңғалағы сырғату шеңберінің радиусы оң жақтағыдан кіші болса, r_l, r_r радиус ақауларының нольден емес мәнінде мына формуламен анықталады:

$$r_l = r, r_r = r - dr.$$

Яғни сол жақ доңғалақтың сырғату шеңберінің радиусы әрқашанда енгізу бағдарламасында берілген мәнге тең, және де ақау оң жақ доңғалаққа таралады.

Профильдер УМ стандартты профильдер базасынан таңдалады, және де пайдаланушымен Динамикалы модельдеу модуліндегі арнайы құрал көмегімен құрылады.

Сандық эксперименттерді орындаудың кейбір ерекшеліктерін қарастырыңыз. Машина уақытының шығындарына қойылатын ықтимал талаптарды қарастырыңыз. Сонымен, компьютердегі Жолаушылар вагонының қозғалысын бір есептеу нақты уақыттың шамамен 10 минутын алады. Вагондардың жұмыс істеуінің негізгі шарттарын ескеру үшін әрбір бейіндегі экипаждардың динамикасын келесі санаттар бойынша вариациямен бағалаймыз:

- композиция түрі өзгермейді;
- құрам брутто жүктемесімен есептеледі (пневматикалық аспа және шанақтың бір вагонға 18 т еңкею жүйесі бар артикуляциялы типті құрамдар үшін);
- жолдың түзу және қисық учаскелеріндегі қозғалыс;
- қисық сызықтағы рельстің тозу дәрежесі (Р65 жаңа, Р65 бүйірлік тозуы 4 және 8 мм).

Барлығы бір Профильді зерттеу шамамен екі жарым сағаттан астам уақытты алады.

Осылайша, Машина уақытының ықтимал шығындарын азайту өте қажет болып көрінеді. Ол үшін, біріншіден, Жолаушылар вагонының жеңілдетілген моделі таңдалды. Екіншіден, нақтылайтын есептеулер әдістемесін қолдану ұсынылды. Есептеулерді жеделдету үшін бірінші кезеңде Герц шешімі мен FastSim алгоритмін қолдану өте қолайлы болып көрінеді.

Әрі қарай, мақсатты функцияны есептеу жүргізілді. 1-кестеде ұсынылған нәтижелер. Келтірілген нәтижелер i02.317 бейіні үшін тиісті мәндерге нормаланады және i02.317 - мен салыстырғанда өлшемшарт жақсарған кезде нәтиже бірден аз, ал нашарлаған кезде-көбірек алынатындай етіп беріледі. Стандартты профиль үшін Нәтижелер салыстыру үшін келтірілген. Ұсынылған жаңа профильдер «#» белгісімен белгіленеді және 1-кестеде мақсатты функция мәндерінің нашарлау тәртібімен келтірілген. Мақсатты функцияның ең жақсы мәні (0.835) «# 12» профилін ұсынады.

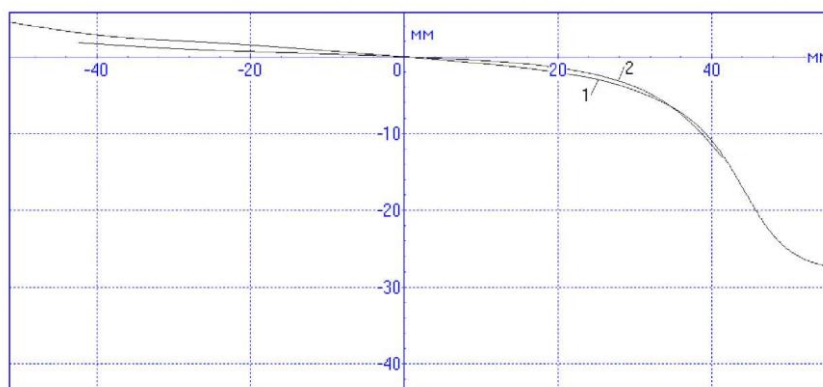
1 кесте - Қарастырылған профильдер үшін мақсатты функцияның салыстырмалы мәндері

Профильдер	Мақсатты функцияның	Критерийлер				
		Тозу	Бүйірлік күштер	Тік тұрақтылықтың қоры	Қисықтағы тұрақтылық қоры	Байланыс қысымы
i02.317	1	1	1	1	1	1
Стандартты профиль	1,124	1,232	0,984	0,859	1,195	0,912

конустық 1/10						
# 12	0,835	0,529	0,911	0,692	0,914	0,949
# 15	0,842	0,576	0,921	0,651	0,895	0,961
# 9	0,848	0,521	0,915	0,715	0,901	0,951
# 16	0,851	0,621	0,895	0,724	0,926	0,952
# 28	0,859	0,684	0,936	0,683	0,962	0,961
# 5	0,863	0,698	0,941	0,667	0,919	0,958

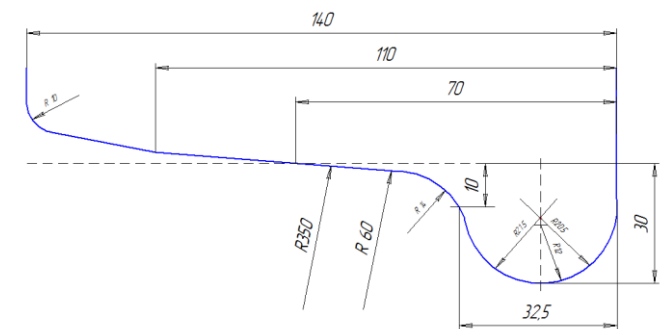
Талқылау.

Алынған нәтижелерді талдайық. І02. 317 бейінімен салыстырғанда қаралған бейіндер тозу факторының 50% - ға дейін төмендеуін, бүйір күштерінің аздап төмендеуін (10% - ға дейін), тіке тұрақтылық қоры коэффициентінің айтарлықтай жақсаруын (30% - ға дейін), қисықтардағы орнықтылық қоры коэффициентінің жақсаруын (10% - дан аспайтын) және байланыс қысымдарының аздап төмендеуін (5%).



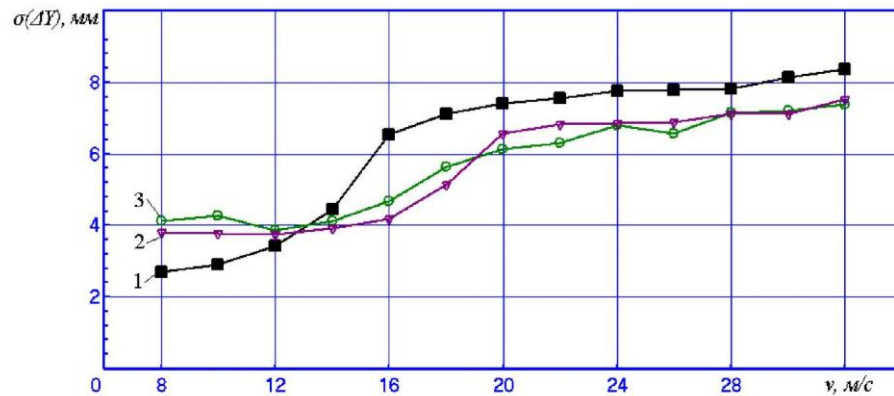
1 – профиль І02.317; 2 – профиль «# 12»
3 сурет - Профиль «# 12» және профиль І02.317

Профильдерді қарап шығу кезінде ең жақсы нәтижелер і02.317 радиусымен салыстырғанда төмен профильдер екендігі анықталды. Рационалды профильдерді одан әрі іздеу конькимен сырғанау шеңберіне бекітілген радиуста жалғасты. Профильдердің ең жақсысы «# 12» және і02.317 профилі 3-суретте көрсетілген. 3-суретте І02.317-мен салыстырғанда «# 12» профилінің домалақ шеңберде радиусы аз екендігі айқын көрінеді. Барлық геометриялық параметрлері бар ұсынылған профильдің толық бейнесі 4-суретте көрсетілген.

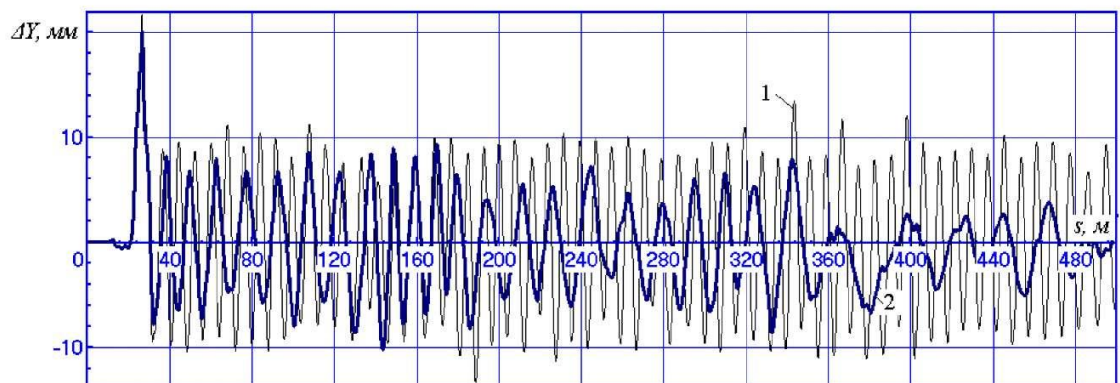


4 сурет - Оңтайландырылған профиль «# 12»

Қаралатын бейіндері бар экипаждардың жолға әсерін бағалау және олардың орнықтылығын бағалау үшін жұмыста ең жоғары көлденең күштер критерийі пайдаланылды. І02.317 профиліндегі және ұсынылған жаңа профильдегі экипаждардың критикалық жылдамдығының шамаларын салыстыру қажет болды. Жолдың тікелей учаскесіндегі экипаждың бірінші доңғалақ блогының көлденең ауытқуларының орташа квадраттық ауытқу жылдамдығына тәуелділік графигі 5-суретте көрсетілген.



5 сурет - Жылдамдыққа байланысты КБ1 көлденең ауытқуының орташа квадраттық ауытқуы 1-профиль стандартты; 2 - профиль І02.317; 3 - профиль «# 12»



1 - профиль І02.317; 2 - профиль «# 12»

6 сурет - Көлденең тербелістер КБ1

Келтірілген нәтижелерді талдау і02.317 профиліндегі экипаждың критикалық жылдамдығы 12 - ден 16 м/с-қа дейінгі аралықта, ал «#12» профилінде-16-дан 20 м/с-қа дейінгі аралықта болатындығын көрсетеді.

Көрнекі иллюстрация үшін і02.317 және «#12» профильдерінде 16 м/с жылдамдықпен қозғалу кезінде экипаждың бірінші доңғалақ блогының көлденең тербелістерінің осциллограммалары келтірілген, 6-суретті қараңыз. Шынында да, «#12» профиліндегі экипаж көлденең тербелістердің қарқындылығын көрсетеді.

Қорытынды.

Talgo құрамдарының дөңгелектерін қайрау себептері бойынша статистикалық деректерді талдау құрамның әрбір рейсінен кейін екі, үш позицияны қайрау талап етілетіндігін көрсетті, қайраудың 50% дөңгелектерді домалату бетінің геометриялық параметрлерінің бұзылуы себебінен орындалады.

«Universal Mechanism» бағдарламалық кешеніндегі доңғалақ профильдерін оңтайландыру әдісіне сүйене отырып, пневматикалық суспензия және шанақты еңкейту жүйесі бар бірлескен типтегі доңғалақтар үшін ұтымды профиль таңдалды.

Профильдерді қарап шығу кезінде ең жақсы нәтижелер $i_{0.317}$ радиусымен салыстырғанда төмен профильдер екендігі анықталды. $I_{0.317}$ профилімен салыстырғанда ұсынылған оңтайландырылған профиль тозу факторының 50% - ға дейін төмендеуін, бүйірлік күштердің аздап төмендеуін (10% - ға дейін), тікелей тұрақтылық қорының коэффициентін едәуір жақсартуды (30% - ға дейін), қисықтардағы тұрақтылық қорының коэффициентін жақсартуды (10% - дан аспайтын) және байланыс қысымдарының аздап төмендеуін қамтамасыз етеді (5%).

Ұсынылған профильге көшу пойыздардың жүгірісін арттырады және доңғалақтардың санын азайтады. Бұл сөзсіз айтарлықтай экономикалық нәтижеге әкеледі, өйткені қайта құру процесі үлкен қаржылық салымдарды қажет етпейді және дөңгелектерді жоспарланған айналдыру кезінде мүмкін болады.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Мусаев, Ж. С. Динамика сочлененных вагонов скоростных поездов / Ж. С. Мусаев // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2009. – № 1(56). – С. 28-30.

[2] Pogorelov, D. & Yazykov, V. & Lysikov, N. & et al. Train 3D: the technique for inclusion of three dimensional models in longitudinal train dynamics and its application in derailment studies and train simulators. *Vehicle System Dynamics*. 2017. Vol. 55. No. 4. P. 583-600.

[3] Pogorelov, D.Y. Simulation of constraints by compliant joints. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2011. Vol. 50. No. 1. P. 158-173.

[4] J.Musayev, Abilkaiyr Zhastalap, Kaiym Talgat, Alpeisov Azamat, Alimbetov Assylkhan, Zhauyt Algazy «The interaction of the freight car and way taking into account deformation of assembled rails and sleepers». В сб.тр.: *VibroengineeringPROCEDIA*, Vol. 8, 2016, p. 269-274. (SCOPUS).

Zhanat Musaev, doctor of technical sciences, professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, m.zhanat@alt.edu.kz

Natalya Ivanovtseva, candidate of technical sciences, associate professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, n.ivanovceva@alt.edu.kz

Nurgul Suleyeva, candidate of technical sciences, associate professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, n.suleeva@alt.edu.kz

OPTIMIZATION OF THE PROFILE OF THE ROLLING SURFACE OF THE WHEELS OF TALGO PASSENGER CARS

Abstract. Contact-fatigue damage can lead to failure of the wheel block and violation of traffic safety on railways. The rapid wear of the wheels leads to additional economic costs and contributes to a reduction in the service life of the wheels of passenger cars.

The article investigates new design solutions to reduce the appearance of defects and the likelihood of wear on the rolling surface of the wheels. Optimization of the rolling profile of the wheels of passenger cars of the Talgo type, combined with an air suspension and a body tilt system, was performed using the Universal Mechanism software package.

It was found that the optimized profile provides a reduction in the wear factor of up to 50% compared to the standard profile, a slight reduction in lateral forces (up to 10%), a significant improvement in the coefficient of stability margin on straight lines (up to 30%), an improvement in the coefficient of stability margin on curves (no more than 10%).

Keywords. Railway wheel, rolling profile, defects, wear, analysis, numerical experiment, optimization.

Жанат Мусаев, д.т.н., профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан, m.zhanat@alt.edu.kz

Наталья Ивановцева, к.т.н., доцент, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан, n.ivanovceva@alt.edu.kz

Нұргүл Сүлеева, к.т.н., доцент, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан, n.suleeva@alt.edu.kz

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ TALGO

Аннотация. Контактно-усталостные повреждения могут привести к выходу из строя колесного блока и нарушению безопасности движения на железных дорогах. Быстрое изнашивание колес приводит к дополнительным экономическим затратам и способствует сокращению срока службы колес пассажирских вагонов.

В статье проведено исследование новых конструктивных решений для снижения появления дефектов и вероятности износа поверхности качения колес. Оптимизация профиля катания колес пассажирских вагонов типа Тальго, объединенных пневматической подвеской и системой наклона кузова, выполнена с применением программного комплекса «Universal Mechanism».

Установлено, что оптимизированный профиль обеспечивает снижение фактора износа до 50% по сравнению со стандартным профилем, небольшое снижение боковых сил (до 10%), значительное улучшение коэффициента запаса устойчивости на прямых (до 30%), улучшение коэффициента запаса устойчивости на кривых (не более 10%).

Ключевые слова. Железнодорожное колесо, профиль катания, дефекты, износ, анализ, численный эксперимент, оптимизация.
