

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ КУЗОВА ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДУ

Вступ. Вельми важливими критеріями ефективності роботи транспортного засобу є швидкість та пропускна здатність. На залізницях передових в технічному відношенні країн їх вдалося істотно підвищити, запровадивши високошвидкісний електричний транспорт [1-5].

Аналіз літературних джерел. Підвищення швидкості руху можна здійснити двома основними шляхами. По-перше, можна відмовитися від використання кривих порівняно малого радіусу. По-друге, можна залишити в експлуатації існуючу мережу залізниць, вживши заходів по зміні конструкції рухомого складу, що дозволяють підвищити швидкість проходження кривих за рахунок впровадження систем нахилу кузовів [6]. Такий шлях представляється менш витратним, оскільки вводити новий рухомий склад можна поступово, витісняючи існуючий у міру його фізичного та морального зносу. [1,4,5].

У роботі [1,2,7,8] запропонована конструктивна схема комбінованого приводу нахилу кузова транспортного засобу для застосування на електропоїзді. А у роботах [1,2,9] запропоновані математичні та імітаційні моделі складових частин комбінованого приводу нахилу кузова.

Мета роботи провести імітаційне моделювання комбінованої пневматичної та електромеханічної системи нахилу кузова швидкісного електропоїзду при нахилі кузова на максимальний кут 7° .

Імітаційна модель. Для моделювання процесів у механічній системі застосовані функції пакету SimMechanics, а напівпровідникового перетворювача SimPowerSystem. Блок-схема загальної моделі представлена на рис. 1.

Імітаційна модель складається з наступних основних блоків: приводу нахилу кузова, перетворювача і модулів керування та контролю.

Привід нахилу кузова містить підсистему моделювання лінійного електромеханічного перетворювача енергії (ЛЕМПЕ) magnit, та допоміжну підсистему mehanika, яка у свою чергу містить підсистему моделювання механічної частини mekhanizm.

Вхідним параметром цієї допоміжної підсистеми є сила, що реалізується на якорі ЛЕМПЕ, вихідними параметрами - проміжок X між якорем лінійного двигуна і опорою статора, кут θ нахилу кузова екіпажу ($tetatek$) і швидкість його зміни ($Vtek$). Сигнал X подається на вхід підсистеми «magnit», як і сигнал U , що є напругою на електромагнітному двигуні, отриманий з відповідного виходу перетворювача. Вихідним параметром підсистеми magnit є сила F , що діє у робочому зазорі лінійного двигуна приводу нахилу. Також вихідним є струм I двигуна електромагнітного типу.

Хід досліджень. Моделювання механізму нахилу кузова проводилось у найбільш напруженому режимі. Задано максимальний кут нахилу кузова, як електричним – 5° , так і пневматичним приводом $2,1^\circ$. Моделювання проводилось при заданій швидкості нахилу $2^\circ/\text{сек}$. Процес нахилу складається з наступних етапів:

- від 0 до 2 с попередній процес підготовки, у якому вага кузова та механізм нахилу встановлюються у заданому положенні в залежності від номінального тиску у пневморесорах, проходить процес попереднього заряду конденсатора C у напівпровідниковому перетворювачі;

© Б.Х. Єрціян, 2015

- від 2 с. до близько 7с проходить процес нахилу кузова до заданого кута;
 - від близько 7 с. до 13 с. механізм нахилу підтримує заданий кут нахилу;
 - від 13 до близько 18 с. механізм нахилу повертає кузов у вихідне положення.
- Результати моделювання наведені на рис. 2 – 16.

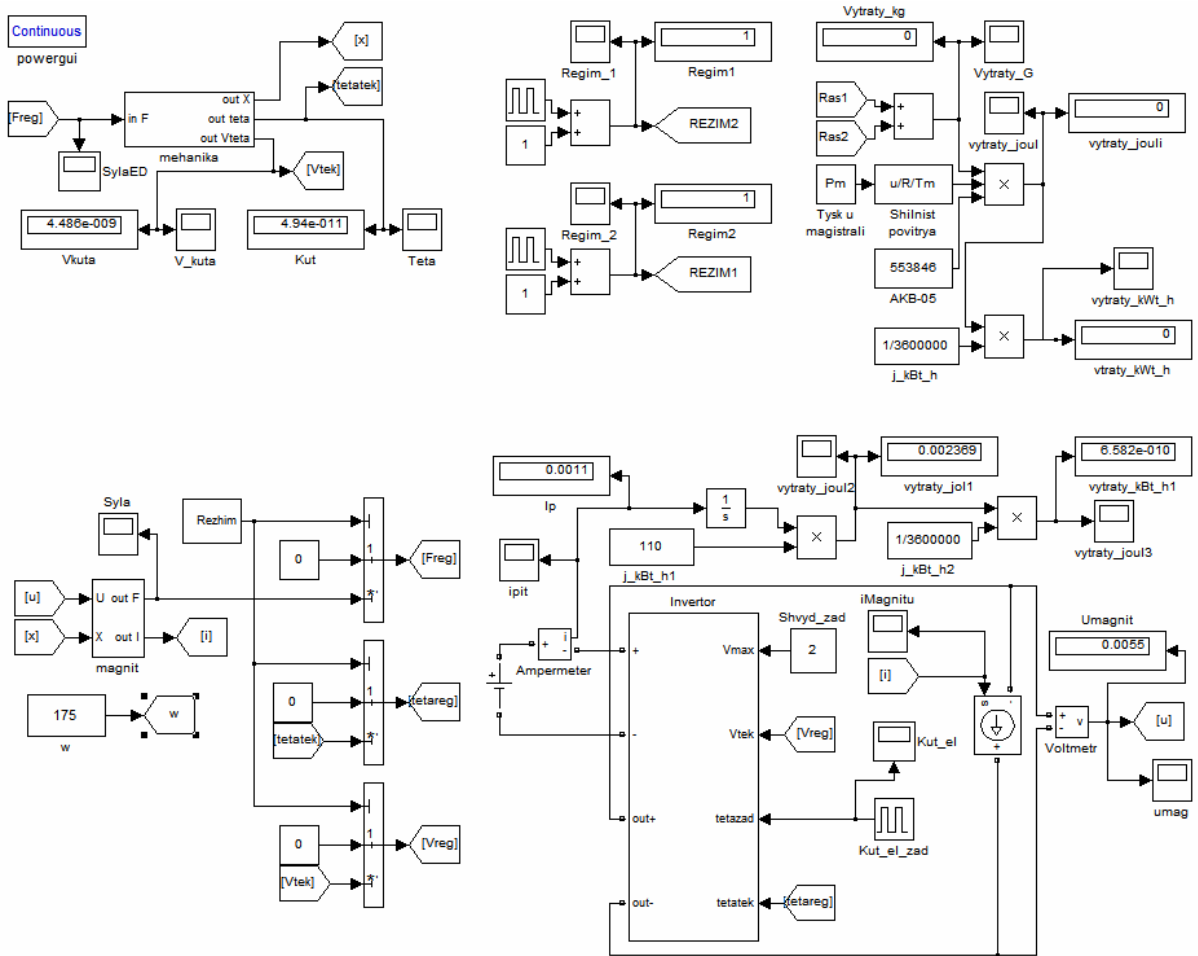


Рис. 1. Блок-схема загальної моделі механізму нахилу

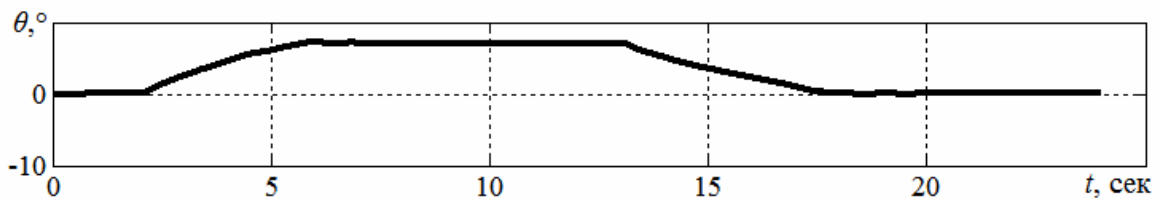


Рис. 2. Залежність загального кута нахилу кузова від часу.

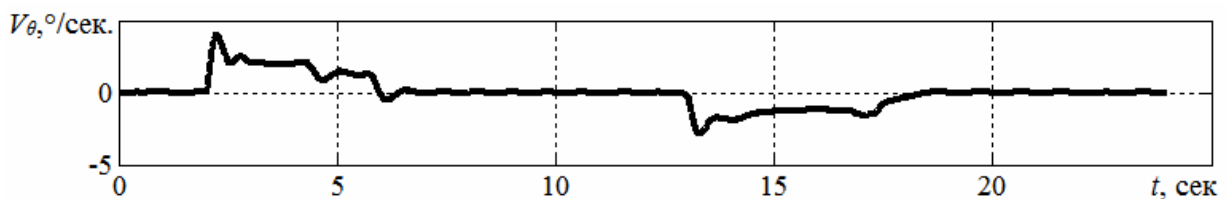


Рис. 3. Залежність загальної швидкості нахилу кузова від часу.

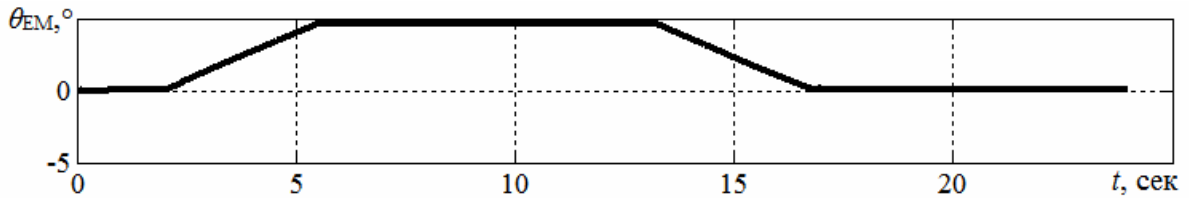


Рис. 4. Залежність кута нахилу проміжної балки, реалізованого електромагнітними ЛД, від часу.

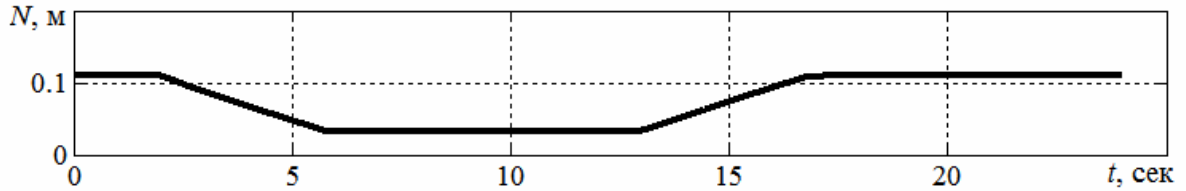


Рис. 5. Залежність робочого зазору електромагнітного ЛД від часу.

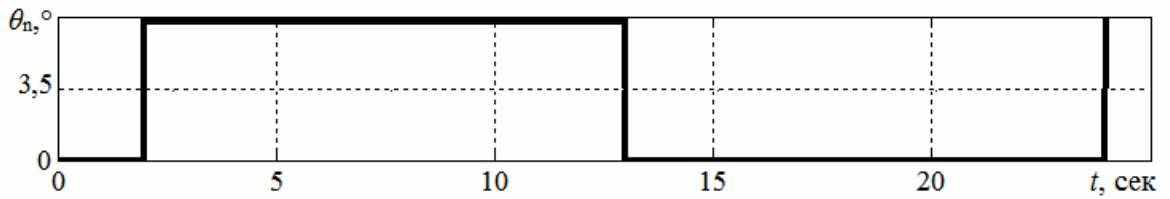


Рис. 6. Залежність заданого кута нахилу кузова від часу.

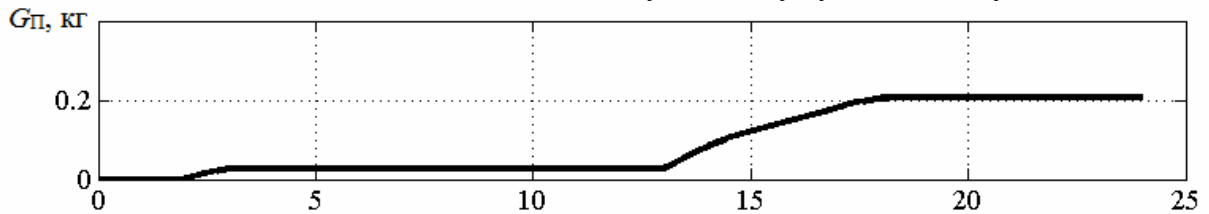


Рис. 7. Залежність вагової витрати повітря від часу.

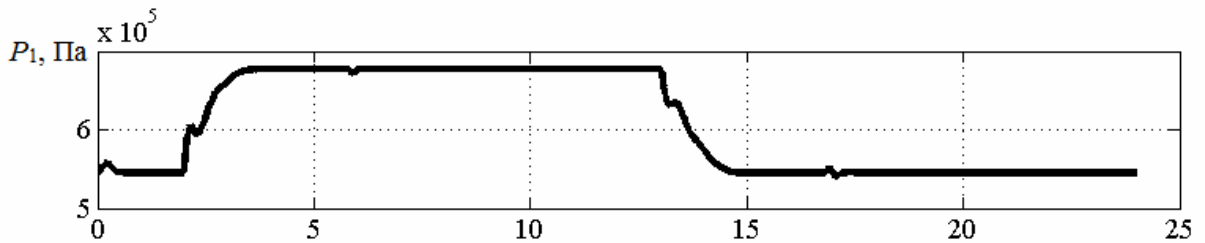


Рис. 8. Залежність тиску у першій пневморесорі від часу.

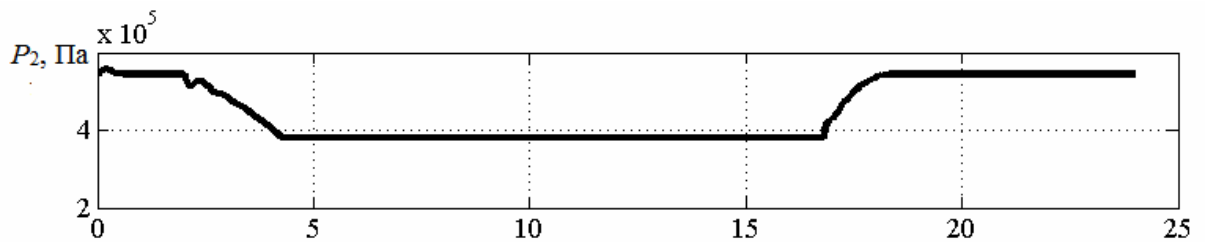


Рис. 9. Залежність тиску у другій пневморесорі від часу.

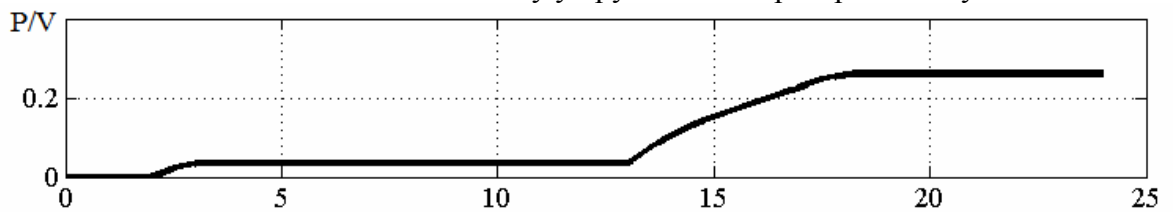


Рис. 10. Залежність витрат електроенергії при роботі компресора від часу

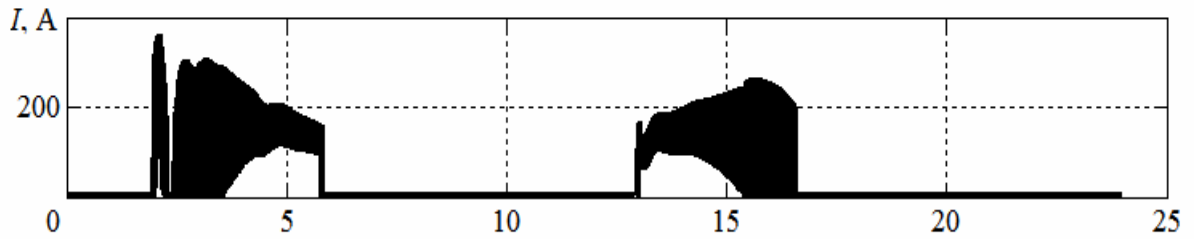


Рис. 11. Залежність струму ЛД від часу.

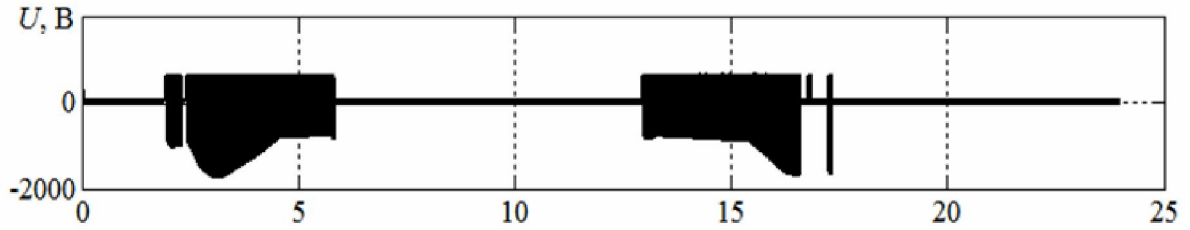


Рис. 12. Залежність напруги ЛД від часу.

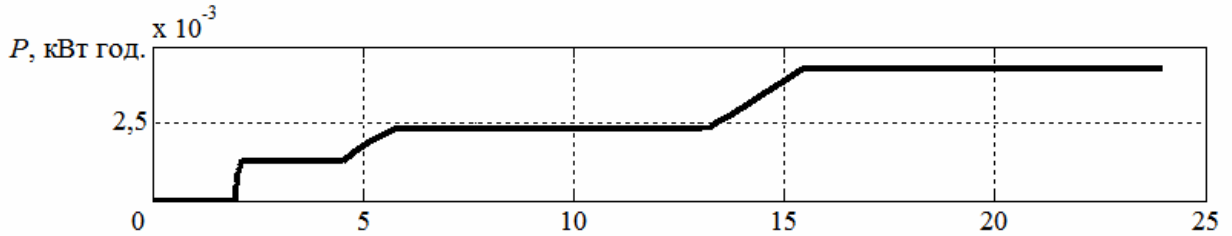


Рис. 13. Залежність витрат енергії ЛД1 та ЛД2 від часу.

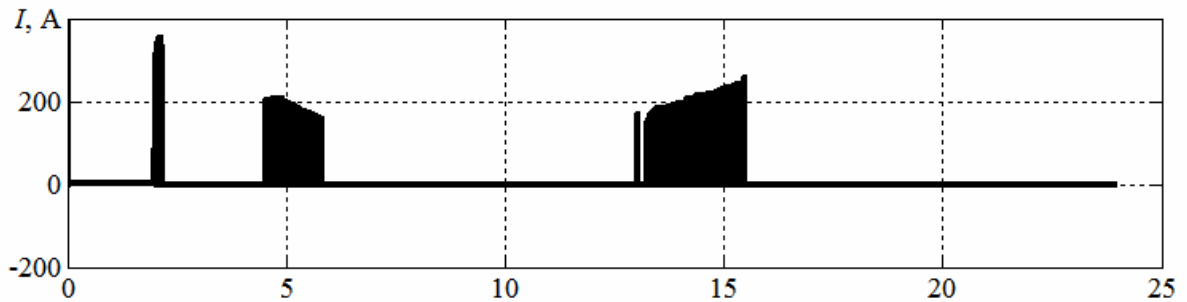


Рис. 14. Залежність струму, що притикає у джерелі живлення напівпровідникового перетворювача від часу.

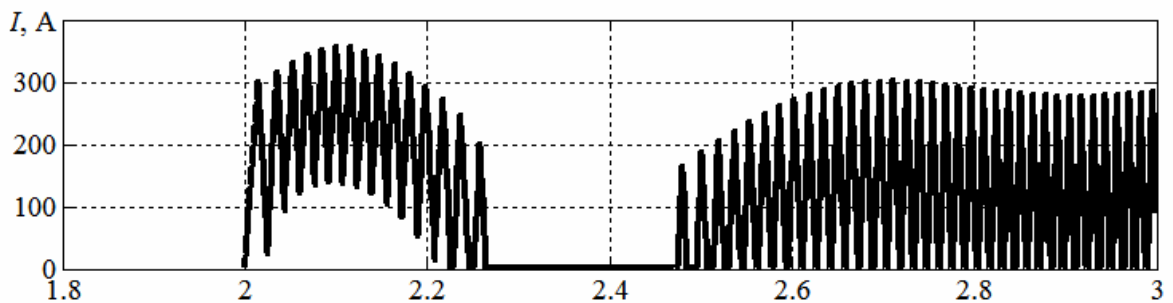


Рис. 15. Фрагмент залежності струму ЛД від часу

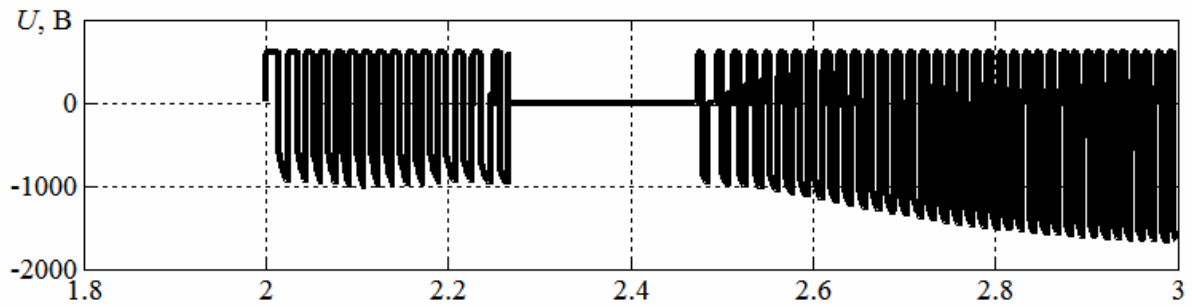


Рис. 16. Фрагмент залежності напруги ЛД1 від часу.

Аналіз результатів імітаційного моделювання. Процес нахилу кузова починається на 2с. Він супроводжується ростом швидкості нахилу кузова до максимального значення короткочасно до 3,7 град/с., що обумовлено одночасною роботою обох систем нахилу та інерційністю кузова (рис. 3). При цьому швидкість електромеханічної системи не перевищує 1,3 град/с (рис. 2.). Далі швидкість стабілізується на заданому рівні від 1,8град/с. до 2,1град/с., що обумовлено сумісною роботою обох складових системи нахилу кузова (див. рис. 3). Найбільший вплив на швидкість на початку руху має пневматична система, оскільки, у той час коли відносний тиск у обох пневморесорах мінімальний, функція розходу має надкритичне максимальне значення що обумовлює максимальне змінення тиску у пневморесорах (див. рис. 8-9). Близько 4,7с. спостерігається зменшення швидкості до 1,1град/с. (див. рис. 3), що обумовлено відключенням пневматичної системи нахилу у зв'язку з досягненням заданого рівня тиску в обох пневморесорах (див. рис. 8-9). З 5с. по 5,8с. швидкість підтримується на рівні 1,1 до 1,3град/с. (див. рис. 3) – електрична складова приводу нахилу працює окремо.

Кут нахилу зростає відповідно швидкості з 2 по 6с. З 5,8 до 6 с спостерігається незначне перерегулювання системи до 0,2° та подальший коливальний процес зупинки нахилу, що закінчується до 7 с. за 1,5 періоду коливань (див. рис. 3).

Тиск у пневморесорі що наповнюється (див. рис. 8), зростає з 2с по 3,5с з 0,545 МПа до 0,677 МПа, а у пневморесорі що стравлюється у повітря, зменшується з 2 по 4,7с з 0,545 МПа до 0,38МПа (див. рис. 9). Близько 2,2 с спостерігається зменшення швидкості росту тиску у пневморесорі що наповнюється, та різке збільшення швидкості стравлення у іншій, що обумовлено інерційністю кузова (див. рис. 9).

Напруга на обмотці якоря має пульсуючий характер, зумовлений дією системи керування (див. рис. 12, 16). Додатна частина імпульсу, що обмежена напругою джерела живлення, складає 600В. Від'ємна частина, що обумовлена дією обмотки якоря, обумовлена рівнем індуктивності що зростає з рухом ЛД при нахилі, та тривалістю імпульсу, який обумовлено надлишком електромагнітної сили над гравітаційною силою опору самоповернення. Таким чином, на початку руху ці дві складові найбільші, тому від'ємні імпульси напруги складають максимального рівня близько 1650В біля 3,2с. Вони знижуються до 740В до 5,8с. руху (див. рис. 12, 16).

Струм ЛД змінюється за пилоподібним законом з амплітудою близько 270А (див. рис. 11, 15), що має постійну складову яка зростає з 2с. до 2,1с. Перша складова обумовлена процесом наростання струму при заряді (лівий фронт) та розряді (правий фронт) індуктивності обмотки якоря ЛД. Постійна складова обумовлена дією проти-

ЕРС обмотки двигуна. Вона зростає з 2с. до 2,1с. у момент початку руху. Далі швидкість починає обмежуватися, тому постійна складова знижується. З 2,26с до 2,45с спостерігається вимкнення електричного приводу нахилу (напруга та струм дорівнюють нулю), що обумовлено максимальною швидкістю нахилу пневматичного приводу. Протягом руху змінна складова зменшується до 53А близько 5,8с, а постійна зростає до 125А. Це обумовлено ростом індуктивності обмотки якоря зі зменшенням робочого зазору.

Процес повертання кузова у вихідне положення розпочинається на 13с. та закінчується близько 18,5с (рис. 2). Крива зміни швидкості носить характер, аналогічній кривій при нахилі, але з від'ємним знаком, тому як обумовлена таким ж процесами. Перерегулювання становить $0,05^\circ$ (рис. 2), що значно менше ніж при нахилі, це обумовлено меншими значеннями сил, як електромагнітних так і опору при початковому положенні кузова.

Криві струмів якоря та напруги ЛД (рис. 11, 12) при поверненні механізму у вихідне положення близькі до кривих при нахилі, але характер їх змін проходить у зворотному порядку. Також на них чинить вплив сила ваги кузова, що діє у зворотному русі.

Розхід повітря при нахилі кузова обумовлений при нахилі лише роботою пневморесори, що наповнюється (рис. 10). Інша пневморесора стравлює повітря у атмосферу. Рівень розходу зумовлюється відносним тиском (чим він менший тим більший розхід повітря). При нахилі кузова він значно більший і лежить у межах $0,852 \dots 1$ проти $0,697 \dots 1$. Тому втрати повітря на нахил значно менші – 0,026кг, відносно втрат повітря на повертання кузова у вихідне положення – 0,181кг. Загальні витрати повітря за увесь цикл роботи приводу становлять 0,208кг.

Струм джерела живлення носить імпульсний характер (рис. 14). Максимальне значення досягає 360А, на 2,1с. Тривалість імпульсів лежить в межах 0,03 до 0,15с. Найбільша вона на початку процесу нахилу. Кількість імпульсів обумовлюється різницею сил тяги та опору повернення.

Загальні витрати енергії електричної частини приводу нахилу за весь цикл роботи становить 1,318 кДж (див. рис. 13), сумарний розхід повітря пневматичної частини 0,208 кг (рис. 12).

Висновки. За результатами імітаційного моделювання знайдені основні залежності енергетичних показників приводу нахилу. Отже, встановлено наступне.

– Втрати повітря на нахил значно менші 0,026кг за втрати повітря на повертання кузова у вихідне положення, які становлять 0,181кг, що обумовлено різними значеннями відносного тиску у цих режимах. Загальні витрати повітря за увесь цикл роботи приводу становлять 0,208кг.

– Струм джерела живлення носить імпульсний характер з максимальним значенням до 360А. Тривалість імпульсів лежить в межах від 0,03 до 0,15с. Найбільша вона на початку процесу нахилу. Кількість імпульсів обумовлюється різницею сил тяги та опору повертання.

– Загальні витрати енергії електричної частини приводу нахилу за весь цикл роботи становлять 1,318 кДж, сумарний розхід повітря пневматичної частини 0,208 кг.

Литература: 1. Якунин Д.И. Электромеханическая система привода с линейным двигателем для наклона кузовов скоростного подвижного состава. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.– Харьков, 2010, 202 с. 2. Любарський Б.Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09. - «Електротранспорт». Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, - 2014. 368с. 3. Корниенко В.В. Высоко-скоростной электрический транспорт. Мировой опыт / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159с. 4. Омеляненко В.И. Поезда с наклоняемыми кузовами для скоростного пассажирского движения / В.И. Омеляненко, Г.В. Кривякин, Д.И. Якунин, Е.С. Редченко // Локомотив-информ. – Харьков: Техностандарт, 2008. – №5 С. 12-17. 5. Развитие технологии наклона кузовов вагонов // Железные дороги мира, 2001. – №11.– Режим доступа до журн.: <http://css-rzd.ru/zdm/11-2001/01185-1.htm>. 6. Якунин Д.И. Влияние наклона кузова вагона при движении по кривым участкам пути на взаимодействие колес с рельсами / Д.И. Якунин, Ю.В. Макаренко, Маслиев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетр.: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна.–Д. 2009.– Вип.30. – С. 248–251. 7. Єрціян Б.Х., Якунін Д.І. Лінійний двигун для комбінованої електропневматичної системи нахилу кузова швидкісного електрорухомого складу. // Тези XXII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології» MicroCAD. . – Харьков:2014. 8. Єрціян Б.Х, Якунін Д.І. Развитие имитационного моделирования механизма наклона кузова с линейным электромеханическим преобразователем// Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ».–№39.–2010.– С. 92–97. 9. Макаренко Ю.В. Усовершенствование пневматического рессорного подвешивания электропоезда путем применения регулятора положения кузова на основе механотроники. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.– Харьков, 2014, 170 с.

Bibliography (transliterated): 1. JАkunin D.I. JElektromehanicheskaia sistema privoda s linejnym dvigatelem dlja naklona kuzovov skorostnogo podvizhnogo sostava. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk.– Kharkov, 2010, 202 s. 2. Ljubars'kij B.G. Teore-tichni osnovi dlja viboru ta ocinki perspektivnih sistem elektromehanichnogo peretvorennja energii elektroruhomogo skladu. – Disertacija na zdobuttja naukovogo stupenja doktora tehnicnih nauk za special'nistju 05.22.09. - «Elektrotransport». Nacional'nij tehnicnij universitet «Harkivs'kij politehnicnij institut». Kharkov, - 2014. 368s. 3. Kornienko V.V. Vysokoskorostnoj jelektricheskij transport. Mirovoj opyt / V.V. Kornienko, V.I. Omel'janenko – Kharkov: NTU «HPI», 2007. – 159s. 4. Omel'janenko V.I. Poezda s naklonjaemyimi kuzovami dlja skorostnogo passazhirskogo dvizhenija / V.I. Omel'janenko, G.V. Krivjakin, D.I. JАkunin, E.S. Redchenko // Lokomotiv-inform. – Kharkov: Tehnostandart, 2008. – №5 S. 12-17. 5. Razvitie tehnologii naklona kuzovov vagonov // ZHeleznye dorogi mira, 2001. – №11.– Rezhim dostupu do zhurn.: <http://css-rzd.ru/zdm/11-2001/01185-1.htm>. 6. JАkunin D.I. Vlijanie naklona kuzova vagona pri dvizhenii po krivym uchastkam puti na vzai-modejstvie koles s rel'sami / D.I. JАkunin, JU.V. Makarenko, Masliev // Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu im. akad. V. Lazarjana.– Dnipropetr.: DNUZT im. akad. V. Lazarjana.–D. 2009.–Vup.30. – S. 248–251. 7. Ericjan B.H., JАkunin D.I. Linijnij dvigun dlja kombinovanoї elektropnevmatichnoї sistemi nahilu kuzova shvidkisnogo elektroruhomogo skladu. // Tezi XXII mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferentsii «Informatsiyni tekhnologii» MicroCAD.– Kharkov:2014. 8. Ericjan B.H, JАkunin D.I. Razvitie imitacionnogo modelirovanija mehanizma naklona kuzova s linejnym jelektromehanicheskim preobrazovatelem// Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu «HPI» .–Kharkov: NTU «HPI».–№39.–2010.–S. 92–97. 9. JU.V. Makarenko. Us-overshenstvovanie pnevmati-cheskogo ressornogo podveshivanija jelektropoezda putem primenenija reguljatora polozhenija kuzova na osnove mehanotroniki . Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk.– Kharkov, 2014, 170 s.

Єрціян Б.Х., Любарський Б.Г., Якунін Д.І.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ КУЗОВА ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДУ

Проведено імітаційне моделювання комбінованої пневматичної та електромеханічної системи нахилу кузова швидкісного електропоїзду при нахилі кузова на максимальний кут 7° . Встановлено, що втрати повітря на нахил значно менші 0,026кг за втрати повітря на повертання кузова у вихідне положення, які становлять 0,181кг, що обумовлено різними значеннями відносного тиску у цих режимах. Загальні витрати повітря за увесь цикл роботи приводу становлять 0,208кг. Струм джерела живлення носить імпульсний характер з максимальним значенням до 360А. Тривалість імпульсів лежить в межах від 0,03 до 0,15с. Найбільша вона на початку процесу нахилу. Кількість імпульсів обумовлюється різницею сил тяги та опору повертання. Загальні витрати енергії електричної частини приводу нахилу за весь цикл роботи становлять 1,318 кДж, сумарний розхід повітря пневматичної частини 0,208 кг.

Єрціян Б.Х., Любарський Б.Г., Якунін Д.І.

ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДА НА- КЛОНА КУЗОВА ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДУ

Проведено імітаційне моделювання комбінованої пневматичної та електромеханічної системи нахилу кузова швидкісного електропоїзду при нахилі кузова на максимальний кут 7° . Установлено, що втрати повітря на нахил значно менші 0,026кг за втрати повітря на повертання кузова у вихідне положення, які становлять 0,181кг, що обумовлено різними значеннями відносного тиску в цих режимах. Загальні витрати повітря за увесь цикл роботи приводу становлять 0,208кг. Ток джерела живлення носить імпульсний характер з максимальним значенням до 360А. Длительність імпульсів лежить в межах від 0,03 до 0,15с. Найбільша вона на початку процесу нахилу. Кількість імпульсів обумовлюється різницею сил тяги та опору повертання. Загальні витрати енергії електричної частини приводу нахилу за весь цикл роботи становлять 1,318 кДж, сумарний розхід повітря пневматичної частини 0,208 кг.

Yeritsyan B.H., Liubarskyi B.G., Yakunin D.I.

SIMULATION ON THE COMBINED SLOPE BODY HIGH-SPEED TRAINS

A combination of air simulation and-night system elektromeha body tilting high-speed trains with tilting body on maxi-posure angle of 7° . It is established that the loss of air on the slope 0,026kg much smaller loss for the air to rotate the body to the starting position, which are 0,181kg, due to the different values of relative pressure in these modes. Total expenditure by air over the entire cycle of up 0,208kg. The current power source is pulsed nature of the maximum value to 360A. The duration of the pulse is in the range from 0,03 to 0,15s. The largest is at the beginning of the slope. Number of pulses determined by the difference of traction forces and resistance to rotation. Total cost of electrical power tilt over the entire cycle of up 1,318 kJ, the total air flow rate of 0.208 kg of air.