

# ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

УДК 62-83:621-313.333

*В.А. Бородай, канд. техн. наук, О.Р. Ковальов*

*(Україна, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")*

## РЕЗУЛЬТАТИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПРОРОБКИ АВАРІЙНО-РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБМЕЖЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ

**Анотація.** Запропоновано комплексне рішення перетворення напруги кислотних акумуляторних батарей у напругу змінного типу, що відповідає промисловим стандартам та потужності джерела рівня мінімальних вимог одиничного споживача, яке відрізняється від відомих потенційною можливістю зниження капітальних витрат на його виготовлення.

**Ключові слова:** система підвищення напруги гальванічних батарей, однофазний автономний інвертор напруги із жорсткою фіксацією частоти, автоматична система стабілізації вихідної напруги.

**Аннотация.** Предложено комплексное решение преобразования напряжения кислотных аккумуляторных батарей в напряжение переменного типа, которое соответствует промышленному стандарту и мощности источника уровня минимальных требований единичного потребителя, отличающийся от известных, потенциальной возможностью снижения капитальных затрат на его изготовление.

**Ключевые слова:** система повышения напряжения гальванических батарей, однофазный инвертор напряжения с жёсткой фиксацией частоты, автоматическая система стабилизации выходного напряжения.

**Abstract.** A complex solution is proposed for converting the voltage of acid storage batteries into a voltage of a variable type, which corresponds to the industry standard and the power of the source of minimum requirements level of a single consumer, which differs from the known ones by the potential possibility of reducing the capital expenditures for its production.

**Keywords:** a system for increasing the voltage of galvanic batteries, a single-phase voltage inverter with a hard fixing frequency, an automatic system for stabilizing the output voltage.

Наявність територій України із нестабільною роботою систем промислової енергетики вимагає використання в приватній сфері джерел незалежного живлення. Аналіз побутових споживачів енергії, які забезпечують мінімум життєвих потреб, при знеструмленні від промислової мережі, ставить обладнання за пріоритетами – холодильники, освітлення, телевізійні та радіоприймачі. Необхідна потужність для зазначеного комплексу споживачів, за умови використання енергозберігаючих технологій, може коливатись у межах 0,3...0,8 кВт.

У якості первинних аварійних систем живлення такої потужності можуть використовуватись генератори із приводом від двигунів внутрішнього згоряння з орієнтовною вартістю 4...14 тис. грн., повітряні генератори - 6...15 тис. грн., комплекти сонячних систем від 50 тис. грн. Вартість окремого інвертора такого класу складає приблизно 3,5...17 тис. грн. Виходячи із огляду цін мобільного електрообладнання можливо стверджувати, що існуючі системи є мало доступними для середнього споживача. Тому розробка більш дешевих та надійних систем незалежного електропостачання є актуальною науковою та практичною задачею.

Вирішити проблему електропостачання, за таких умов, пропонується при використанні автомобільних акумуляторних батарей із поновленням заряду, або від промислової мережі із простим адаптером, або від бортової автомобільної системи енергоживлення. Зважаючи на те, що побутові прилади розраховані на змінну напругу 220 В частоти 50 Гц, структура нової системи живлення (рис.1) повинна містити блоки ПН підвищення напруги від 12 до 220 В, інвертор ІН, який створює із отриманої постійної напруги змінну, та блок Р стабілізації вихідної координати при хаотичній зміні навантаження.

Перший етап - створення моделей блока підвищення напруги акумуляторної батареї до рівня напруги промислової мережі та блока її інвертування [1]. Для вирішення цієї задачі використано компонент електронної лабораторії Multisim із складу пакету National Instruments. Результуючу модель перетворювача напруги наведено на рис.2.

До складу модуля 1 (рис.2 а) входить генератор прямокутних імпульсів із вихідною частотою 100 Гц. Його побудовано на RS - тригері із постійною часу 0,0075 с., яка визначається вхідними ємностями і резисторами зворотного зв'язку. Правильність роботи перезаряду ємностей визначається зворотними діодами, які увімкнено паралельно до резисторів зворотного зв'язку.

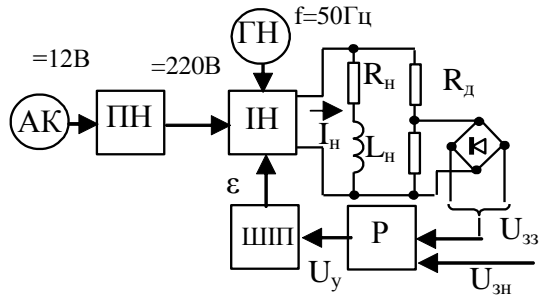
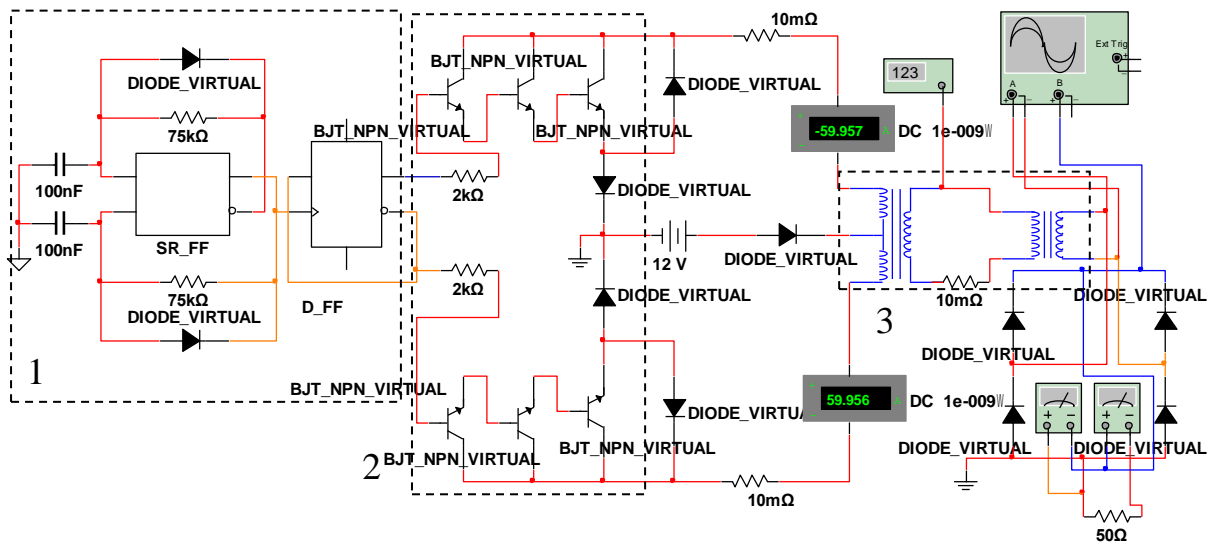
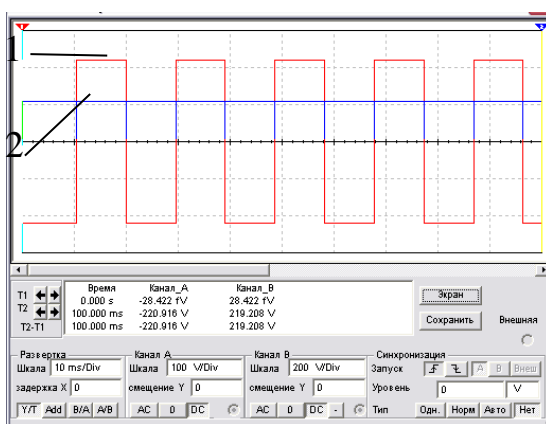


Рис.1. Функціональна схема системи живлення

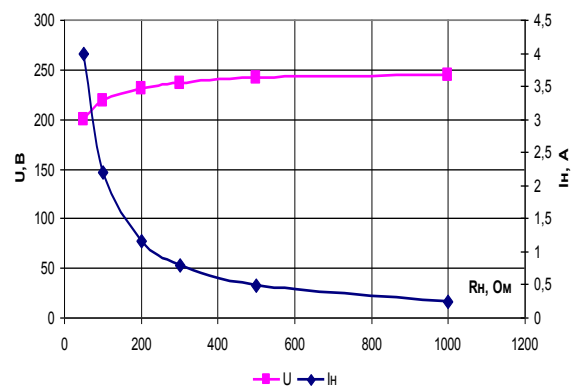
- АК – джерело постійної напруги (акумулятор);
- ПН – перетворювач напруги;
- ІН – інвертор напруги;
- ГН – генератор визначення частоти напруги;
- ШПП – широтно-імпульсний перетворювач;
- Р – регулятор напруги;
- $R_n, L_n$  – параметри навантаження;
- $R_d$  – параметри давача напруги



а



б



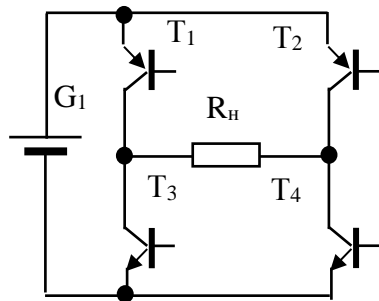
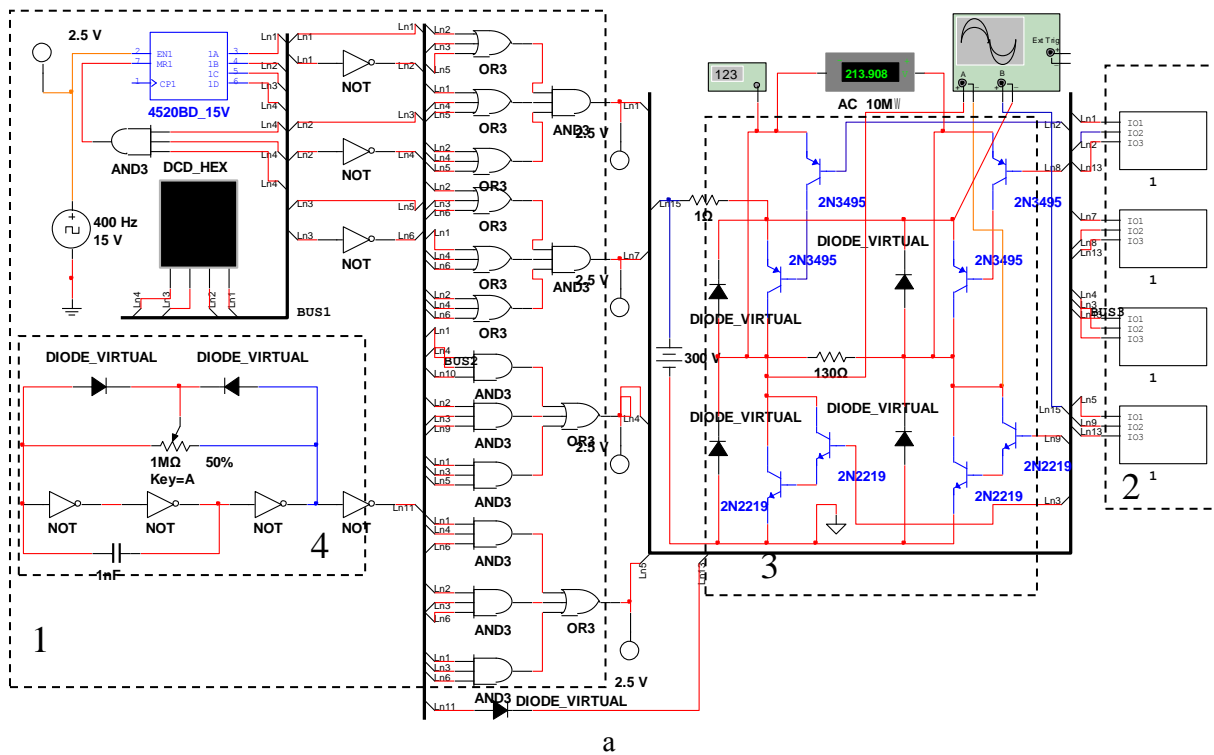
в

Рис.2. Модель блоку підвищення напруги.  
а) схема моделі; б) часові діаграми на виході, масштаб 1 – 100 В/діл., 2 – 200 В/діл.;  
в) зовнішні характеристики

Сигнали керування на канали двохтактного підсилювача потужності пропускаються через ділянку частоти на два, побудований на D-тригері. Необхідний рівень струму через первинну обмотку трансфор-

матора вдалось отримати завдяки побудові підсилювачів потужності за схемою складового увімкнення транзисторів. У зв'язку із тим, що підсилювачі працюють на активно-реактивне навантаження колекторно-емітерний перехід охоплено зворотнім діодом. Додатково первинне джерело підключено через діоди для зменшення впливу на всі елементи кола первинної обмотки трансформатора. Коефіцієнт передачі першого каскаду трансформації дорівнює 8, а другого 6. Для захисту силових кіл першого і другого каскаду трансформації послідовно з навантаженням увімкнено резистори номіналом 0,1 Ом. Результиуюча напруга на виході трансформаторного блоку 3 представлено міандром 1 рис.2 б, а кінцева випрямлена напруга лінією 2. Вигляд зовнішніх характеристик при зміні навантаження ілюструють можливість отримання при даному схемному рішенні потужності близько 0,8 кВт. Зниження напруги джерела при навантаженні не виходить за межі встановлені стандартами для промислових мереж. Моделювання блоку перетворювача напруги на жаль не відображає впливу частоти на елементи трансформації. Як наслідок, зорієнтуватись щодо масо-габаритних показників для реальної системи неможливо. Є очевидним, що цю задачу слід вирішувати на подальших етапах розробки.

Другий етап досліджень - розробка блоку інвертора однофазної напруги розрахункової потужності (рис.3). Компоненти, що входять до складу інвертора розділено таким чином: розподільник імпульсів – 1 (рис.3 а); проміжні підсилювачі – 2 для узгодження потужності між розподільником і силовим блоком; підсилювач потужності – 3; генератор прямокутних імпульсів із змінною шпаруватістю – 4.



№ п.п.	Вхідні сигнали			Вихідні сигнали			
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0	0	0	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0	1
2	0	1	0	0	1	0	1
3	1	1	0	0	1	0	1
4	0	0	1	1	1	0	0
5	1	0	1	1	0	1	0
6	0	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0

Рис.3. Модель блоку інвертування напруги.  
а) схема моделі; б) силова схема інвертора; в) таблиця істинності розподільника

Розподільник імпульсів містить генератор прямокутної напруги 4, вихід з якого заведено на чотирьох розрядний лічильник із непарним модулем та скидом у початковий стан при наявності коду бінарної вісімки. Такий код лічильника потрібен для створення умов відпрацювання таблиці істинності (рис.3 в). Запропонована послідовність імпульсів надає співвідношення 1:3 тривалості нульового стану або раціональної більшої вихідної напруги інвертора на навантаженні при одночасному уникненні режиму короткого замкнення (КЗ) силових ключів 3 при перехресному перемиканні плечей моста. Частота тактового генератора розподільника визначена на рівні 400 Гц, оскільки лічильник виконує функцію дільника частоти на 8, що забезпечує на виході інвертора стабільну частоту у 50 Гц. Схема узгодження 2, крім передачі імпульсів керування потрібного рівня напруги, виконує функцію широтно-імпульсної модуляції роботи силових ключів 3. Ця функція зарезервована для подальшого створення системи автоматичної стабілізації вихідної координати інвертора. Силовий блок 3 побудовано на складаних схемах транзисторів різної провідності, що відповідає особливостям стикування схем узгодження і підсилення потужності. Усі силові ключі охоплено зворотними діодами захисту від перенапруги.

Вигляд часових діаграм (рис. 4) наглядно показує працездатність однофазного інвертора напруги.

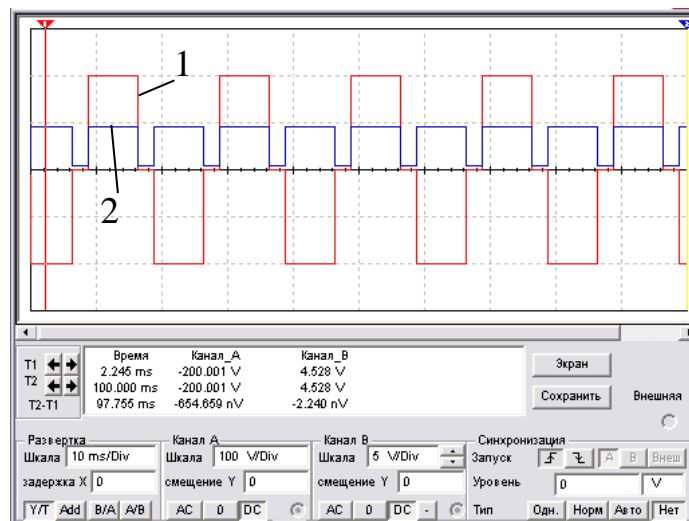


Рис.4. Часові діаграми інвертора

1 – напруга навантаження (масштаб 100 В/діл.); 2 – струм навантаження (масштаб 5 А/діл.)

При його роботі на активне навантаження отримана потужність складає приблизно 0,9 кВт. Розподільник імпульсів спроектовано так, що система одночасно забезпечує раціональний рівень напруги на навантаженні при умові уникнення режиму КЗ при переході із позитивного на негативний напівперіод вихідної величини.

Наступний етап – розробка системи стабілізації вихідної координати на виході інвертора напруги, яка у більшому ступені залежить від величини навантаження.

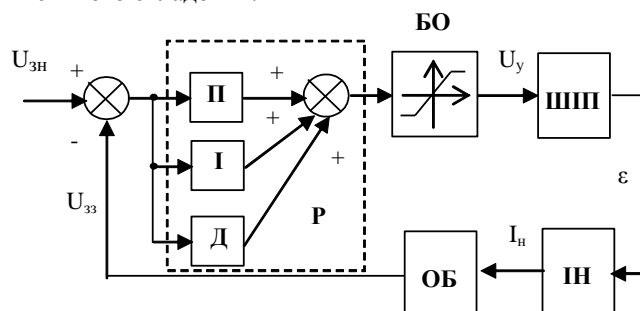
Як згадувалось вище однофазний інвертор ІН (рис.1) має зарезервовану можливість регулювання вихідної напруги за допомогою широтно-імпульсної модуляції сигналів керування. Для реалізації такого способу в системі управління джерелом живлення пропонується задіяти широтно-імпульсний регулятор ШПІ [2] із координатно-фазовою зміною шпаруватості  $\varepsilon$ . Тобто регулюючи шпаруватість імпульсів керування інвертора та контролюючи зворотній зв'язок за напругою  $U_{зз}$  формується управляючий вплив на ШПІ з боку регулятора Р. Синтез Р і  $\varepsilon$  головним питанням при побудові автоматичної системи стабілізації напруги малопотужного джерела живлення.

Розглядаючи функціональну схему рис.1 перехідні функції ІН та ШПІ, як відомо, представляють собою аперіодичні ланки із постійною часу та коефіцієнтом передачі відповідно:

$$T_{\mu} = 0,005; \quad k_u = \frac{I_H}{\varepsilon}; \quad T_{\mu} = 0,005; \quad k_{ш} = \frac{\varepsilon}{U_y} .$$

Передбачено, що навантаження для джерела живлення є активно-індуктивним опором  $R_H, L_H$ . Відповідно його постійна часу визначається рівнянням  $T_a = \frac{L_H}{R_H}$ , а його перехідна функція також є аперіодичною.

дичною ланкою. Виходячи із отриманої структурної схеми рис.5 та бажаної перехідної функції системи, яка налагоджена на модульний оптимум,  $W_{\text{баж}} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}$ , регулятор повинен мати пропорційно-інтегрально-диференціальну структуру (ПІД). При синтезі регулятора отримані рівняння для визначення коефіцієнтів передачі для всіх його складових:



**Рис.5. Структурна схема автоматичної системи джерела живлення.**

**БО** – блок обмеження сигналу; **ОБ** – об’єкт управління; **П** – пропорційна частина регулятора;  
**І** – інтегральна частина регулятора; **Д** – диференціальна частина регулятора

Пропорційна частина:

$$P = \frac{1}{2/R_n k_u k_{us}} + \frac{T_a}{2/R_n k_u k_{us} T_{\mu}};$$

Інтегральна частина:

$$I = \frac{1}{2/R_n k_u k_{us} T_{\mu} p};$$

Диференціальна частина:

$$D = \frac{T_a}{2/R_n k_u k_{us}} p.$$

Автоматична система керування зазвичай оперує напругою в 10 В. При цьому слід пам’ятати, що вихід регулятора може бути перевантажений сигналом корегування. Тому зазвичай його вихід обмежують на рівні  $\pm 10$  В за допомогою блоку обмеження.

Фактична реалізація регулятора при аналоговому відтворенні передбачає послідовне увімкнення П та ПІД ланок. При цифровій побудові достатньо введення в систему управління коефіцієнтів передачі, які наведені вище.

Розробляема система електропостачання не має високих вимог щодо швидкодії та точності підтримки стабілізованої координати так, як промислова мережа допускає зміну напруги в межах  $\pm 15$  % від номінальної напруги, а зміна навантаження процес не швидкий.

З комплексу проведених дослідів слід зробити наступні висновки:

- недоступність для пересічного споживача існуючих мобільних джерел живлення вимагає розробки систем електропостачання потужності близько 0,8 кВт вартості меншої за існуючі;
- запропоноване схемне рішення блоку підвищення первинної напруги до рівня промислової мережі забезпечує потужність 0,8 кВт, а зниження напруги на виході блока трансформації при зміні навантаження не виходить за межі встановлених стандартами;
- модель перетворювача напруги не відображає вплив частоти на елементи трансформації, як наслідок, зорієнтуватись щодо масо-габаритних показників та базової частоти реальної системи утруднено і цю задачу планується вирішити на подальших етапах розробки;

- при проектуванні розподільника імпульсів інвертора напруги встановлено, що для отримання раціонального значення на виході, співвідношення тривалості нульового і максимального значення вихідної величини повинно складати 1:3 забезпечуючи також уникнення умов КЗ джерела при перемиканні ключів силового блоку;
- для схеми рис.5 регулятор автоматичної системи стабілізації має ПІД структуру;
- вимоги до швидкодії та точності автоматичної системи стабілізації напруги джерела електропостачання не значні із-за не швидкої зміни навантаження та можливого обмеження перепаду напруги у межах  $\pm 15\%$  від номіналу.

#### Список використаних джерел

1. Бородай В.А. Моделирование систем импульсно-фазового управления преобразовательных устройств /В.А. Бородай, А.Р. Ковалев // Гірн. Електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2015 – Вип. 94. – С 64 – 69.
2. Бородай В.А. Широтно-импульсный регулятор с координатно-фазовым управлением скважности /В.А. Бородай, А.Р. Ковалев // Гірн. Електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2015 – Вип. 95. – С 54 – 58.

*Рекомендовано до друку: к-том техн. наук, доц. Галушко О.М.*

УДК 622.64:621.318.4

**В.М. Прокуда, канд. техн. наук.**

*(Україна, Дніпро, Державний ВНЗ "Національний гірничий університет")*

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШАХТНОГО КОНВЕЄРА З РЕЗИНОТРОСОВОЮ СТРІЧКОЮ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

**Анотація.** У статті запропоновано спосіб визначення завантаження конвеєрної стрічки за допомогою індукційного датчика, що може бути використано при впровадженні частотно-регульованого приводу, а також для отримання інформації щодо енергоефективності конвеєрних ліній. Розроблено аналітичну модель, котра дає можливість знаходити масу завантаженої або порожньої стрічки конвеєра за ЕРС індукції, що наводиться у котушці індуктивності, залежно від вимушених коливань тросу. Виконано моделювання процесу завантаження конвеєра та відповідних коливань тросу у середовищі MATLAB Simulink. Виконано аналіз спектру вимушених коливань тросу, та отримано що, за період завантаження конвеєра зростають коливання стрічки на нижчій частоті, а при сході з нього вантажу – на частоті більшій у два рази, що відповідає теоретичним міркуванням.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, енергоефективність, індукційний датчик, коливання тросу.

**Аннотация.** В статье предложен способ определения загрузки конвейерной ленты с помощью индукционного датчика, что может быть использовано при внедрении частотно-регулируемого привода, а также для получения информации об энергоэффективности конвейерных линий. Разработана аналитическая модель, которая дает возможность находить массу загруженной или пустой ленты конвейера по ЭДС индукции, которая наводится в катушке индуктивности, в зависимости от вынужденных колебаний троса. Выполнено моделирование процесса загрузки конвейера и соответствующих колебаний троса в среде MATLAB Simulink. Выполнен анализ спектра вынужденных колебаний троса, и получено, что за период загрузки конвейера растут колебания ленты на более низкой частоте, а при сходе с него груза - на частоте большей в два раза, что соответствует теоретическим рассуждениям.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, энергоэффективность, индукционный датчик, колебания троса.

**Abstract.** A method for determining the loading of a conveyor belt by means of an induction sensor is proposed. Its can be used for the introduction of a frequency-controlled drive, as well as for obtaining information on the energy efficiency of conveyor lines. An analytical model is developed, which makes it possible to find a lot of loaded or empty conveyor belt for EMF induction, given in inductor, depending forced oscillations rope. The simulation of the process of loading the conveyor and the corresponding oscillations of the conveyor cable in the MATLAB Simulink environment is performed. The analysis of the spectrum of the forced oscillations of the rope is made, but it is found that during the loading of the conveyor the fluctuations of