

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Іноземцев О. М., Шеремет О. І.

Система конвейерних ліній являється неотъемлемой частью в обеспечении бесперебойной работы современной доменной печи, где совершенно невозможны длительные простои, которые приводят к потере производства и соответственно к огромным затратам при выпуске готовой продукции. Высокая ответственность их работы и назначение определяют особую степень важности представленного типа механизмов в общем технологическом процессе. Нагрузка на современных высокопроизводительных ленточных конвейерах настолько велика, что создать необходимое тяговое усилие с помощью одного приводного барабана при допустимом натяжении ленты не всегда представляется возможным. Поэтому высокопроизводительные конвейеры имеют по два и более приводных барабана. В связи с этим возникает задача рационального распределения суммарного тягового усилия, тягового фактора и общей мощности на приводных барабанах, взаимодействующих через ленту. В статье проводится анализ технических требований к электроприводам многодвигательных конвейеров для транспортировки грузов в металлургическом производстве. Анализ технических требований к электроприводам конвейеров невозможно осуществлять без учета их сложной механической части. Механическая часть представляет собой сложную систему с распределенной по длине конвейера массой и упругостью тягового элемента. При расчете динамических свойств электропривода конвейера целесообразно находить упрощенную передаточную функцию продольно-упругого грузонесущего элемента с грузом, который является распределенным по поверхности в разных ее точках. Следует настраивать регуляторы векторной системы управления электроприводом конвейера таким образом, чтобы не возникало упругих колебаний вдоль тягового элемента, поскольку при их наличии процесс пуска будет колебательным.

Ключевые слова: многодвигательный привод, конвейер, распределенная нагрузка, векторное управление.

Система конвеєрних ліній є невід'ємною частиною в забезпеченні безперебійної роботи сучасної доменної печі, де виключно неможливими є тривалі простои, які призводять до втрати виробництва і відповідно до величезних витрат при випуску готової продукції. Висока відповідальність їх роботи і призначення визначає ступінь особливої важливості представленого типу механізмів в загальному технологічному процесі. Навантаження на сучасних високопродуктивних стрічкових конвеєрах настільки великі, що створити необхідне тягове зусилля за допомогою одного приводного барабана при допустимому натягу стрічки не завжди виявляється можливим. Тому високопродуктивні конвеєри мають по два і більше приводних барабанів. У зв'язку з цим виникає завдання раціонального розподілу сумарного тягового зусилля, тягового фактора і загальної потужності на приводних барабанах, що взаємодіють через стрічку. В статті здійснюється аналіз технічних вимог до електроприводів багатодвигунних конвеєрів для транспортування вантажів у металургійному виробництві. Аналіз технічних вимог до електроприводів конвеєрів неможливо здійснювати без урахування їх складної механічної частини. Механічна частина є складною системою з розподіленою по довжині конвеєра масою та пружністю тягового елемента. При розрахунку динамічних

властивостей електропривода конвеєра доцільно знаходити спрощену передатну функцію поздовжньо-пружного вантажонесучого елемента з вантажем, що є розподіленим по поверхні у різних її точках. Слід налаштувати регулятори векторної системи керування електроприводом конвеєра таким чином, щоб не виникало пружних коливань вздовж тягового елемента, оскільки при їх наявності процес пуску буде коливальним.

Ключові слова: багатодвигунний привод, конвеєр, розподілене навантаження, векторне керування.

The system of conveyor lines is an integral part in ensuring the uninterrupted operation of a modern blast furnace, where long downtime is absolutely impossible, which leads to a loss of production and correspondingly to huge costs in the production of finished products. The high responsibility of their work and designation determine the particular degree of importance of the type of mechanisms presented in the overall technological process. The load on modern high-performance belt conveyors is so large that it is not always possible to create the necessary tractive effort with a single drive drum at the permissible tension of the belt. Therefore, high-performance conveyors have two or more drive drums. In this connection, the task of rational distribution of the total traction effort, traction factor and total power on the drive drums interacting through the tape arises. The article analyzes the technical requirements for electric motors of multi-engine conveyors for transportation of cargoes in metallurgical production. Analysis of technical requirements for electric conveyors cannot be carried out without their complicated mechanical parts. The mechanical part is a complex system with a weight conveyor distributed along the length of the conveyor and the elasticity of the traction element. When calculating the dynamic properties of the electric drive of the conveyor it is expedient to find a simplified transfer function of a longitudinally elastic load carrying element with a load distributed across the surface at its various points. It is necessary to adjust the regulators of the vector control system of the electric drive of the conveyor in such a way that no elastic oscillations occur along the traction element, since, if they are present, the starting process will be oscillating.

Keywords: multiple-engined drive, conveyor, distributed load, vector control.

Иноземцев А. М.

магистр кафедры ЭСА ДГМА

Шеремет А. И.

д-р техн. наук, зав. каф. ЭСА ДГМА
sheremet-a@mail.ru

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 62-83

Іноземцев О. М., Шеремет О. І.

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Конвеєр – агрегат тривалої дії, що використовується для переміщення кускових, сипких матеріалів від перевантажувальних пристроїв до місця призначення. Транспортери по типу тягового органу розрізняють на стрічкові, ланцюгові і канатні. При цьому тип вантажонесучого органу визначається як стрічковий, пластинчастий, скребковий і ковшовий. Система конвеєрних ліній є невід’ємною частиною в забезпеченні безперебійної роботи сучасної доменної печі, де виключно неможливими є тривалі простої, які призводять до втрати виробництва і відповідно до величезних витрат при випуску готової продукції. Висока відповідальність їх роботи і призначення визначає ступінь особливої важливості представленого типу механізмів в загальному технологічному процесі.

Для стрічкових конвеєрів в більшості випадків використовуються стрічки з синтетичної або комбінованої тканини, покриті гумою, які отримали назву гумовотканинних, рідше використовуються гумовотросові стрічки – з включеними металевими елементами для підвищення міцності і стійкості до агресивних дій [1, 2]. Гумотросові стрічки мають величезний запас по міцності і встановлюються в найбільш несприятливих умовах.

Навантаження на сучасних високопродуктивних стрічкових конвеєрах настільки великі, що створити необхідне тягове зусилля за допомогою одного приводного барабана при допустимому натягу стрічки не завжди виявляється можливим. Тому високопродуктивні конвеєри мають по два і більше приводних барабанів. У зв’язку з цим виникає завдання раціонального розподілу сумарного тягового зусилля, тягового фактора і загальної потужності на приводних барабанах, що взаємодіють через стрічку.

Особливе значення має надійність виконавчих елементів як всього механізму, так і окремих його частин, при цьому слід врахувати, що конвеєрні лінії, як правило, відносяться до нерезервованих систем, оскільки установка резервної конвеєрної лінії підвищує капітальні витрати і виробництво стає менш рентабельним. Основною умовою, що визначає вплив негативних факторів на надійність функціонування конвеєрів, є можливість поздовжнього і поперечного пориву стрічки при виникненні пружних коливань, а також відмови в роботі електрообладнання і збої в системах керування і технологічних захистів [3].

Метою даної статті є аналіз технічних вимог до електроприводів конвеєрів для транспортування вантажів у металургійному виробництві та виявлення можливих напрямків їх модернізації.

У металургійному виробництві багато електроприводів стрічкових конвеєрів використовують нерегульований або регульований привод за допомогою багатоступінчастого редуктора. Для певних випадків це обумовлено винятковою необхідністю застосування компенсації негативних впливів, які виникають при прийомі сипучого матеріалу і доставці до завантажувального пристрою доменної печі. Структура керування групою конвеєрів або одним агрегатом для транспортування матеріалу повинна забезпечити плавний пуск транспортної стрічки і стабільний рух, а також взаємозв’язок між транспортними лініями.

Основні вимоги, що висуваються до електроприводів металургійних конвеєрів:

- забезпечення плавного пуску двигунів з обмеженими значеннями моментів і прискорень з метою безударного вибору зазорів в зубчастих передачах в початковий період руху;
- обмеження динамічних зусиль тягового органу;

- отримання надійного зчеплення стрічки з приводними барабанами;
- створення значних моментів при рушанні конвеєра на початку його пуску, оскільки опір тертя в спокої приблизно в рази перевищує опір тертя при русі [3];
- підтримання в сталому режимі заданої швидкості руху робочого органу.

Період усталеного руху займає основний час в конвеєрних установках, тому їх електроприводи характеризуються тривалим режимом роботи. Найчастіше в сталих режимах конвеєри працюють з однією швидкістю, проте в ряді випадків потрібне й регулювання швидкості.

Система керування повинна забезпечувати додаткову невелику швидкість для проведення огляду стрічки при її ревізії, ремонтних роботах. Крім того, у випадках зміни вантажопотоку конвеєрів стрічка значний час може працювати з недовантаженням. При цьому раціонально зменшити швидкість конвеєра, щоб стрічка працювала з повним навантаженням. У цих випадках в залежності від кількості вантажу, що надходить на конвеєр, доцільно забезпечити автоматичне регулювання швидкості стрічки з плавним переходом від одного рівня швидкості до іншого [4].

Необхідність рівномірного розподілу навантаження між двигунами в багатодвигуновому електроприводі конвеєрів зумовлена відмінностями жорсткості характеристик окремих двигунів. Експерименти показують, що для асинхронних електроприводів з номінальним ковзанням двигунів 4–6 % відхилення в навантаженнях різних двигунів досягають 15–30 % [1, 4]. Для вирівнювання навантажень в даний час використовується синхронізація швидкості асинхронних двигунів, з постійним включенням в коло ротора опорів.

Для забезпечення нормальної роботи транспортера в основному режимі і режимі налагодження використовуються два режими керування: дистанційне і місцеве. При дистанційному автоматизованому керуванні пуск головного транспортера і групи конвеєрів для живлення сипким матеріалом основного конвеєра проводиться короткочасним натисканням пускової кнопки і для виключення завалів стрічки здійснюється в певній послідовності, а саме, проти напрямку потоку вантажу. Планова зупинка конвеєрної лінії проводиться в зворотному порядку, тобто послідовно, у напрямку потоку.

Для монтажу, налагодження та поточного профілактичного ремонту забезпечують переведення всіх механізмів конвеєра на місцеве керування. У режимі місцевого керування передбачається керування з пульта, розташованого поблизу кожної приводної станції. В цьому режимі привод повинен забезпечувати знижену швидкість конвеєра, що забезпечується допоміжним приводом, встановленим для проведення ремонтних робіт.

Використання сучасних мікроконтролерів в автоматизованому електроприводі потрібно для узгодження систем частотно-керованого перетворювача з іншими елементами подачі і сортування шихти при транспортуванні до завантажувального пристрою доменної печі. Забезпечення сталості потоку на виході конвеєра здійснюється через регулювання швидкості електроприводу, причому це робиться при розвантаженні матеріалу і при наступній послідовності вивантаження в приймальний бункер.

При розрахунку необхідних діапазонів і роботи на зниженій швидкості потрібно враховувати специфіку об'єкту. Залежно від ходу доменних печей і необхідного циклу завантаження продуктивність може зменшуватися до 320 тонн на годину. Відповідно до цього робочий діапазон швидкостей становить від 10 до 100 % швидкості електродвигуна або з співвідношенням 10:1. При цьому повинна забезпечуватися можливість плавного регулювання швидкості, при переходах з одного рівня на інший для виключення просипу вантажу, утворення перевантажень, що впливають на роликоопори і механізми приводної станції.

Незважаючи на те, що стрічковий конвеєр характеризується безперервним режимом роботи, в його елементах все ж виникають динамічні навантаження, що характеризуються певною частотою. При збігу цієї частоти з частотою власних коливань опорної конструкції може виникнути небажане явище резонансу. При роботі стрічкового конвеєра мають місце такі динамічні процеси:

– в місці завантаження кусковим матеріалом, при падінні його, виникають удари з велими швидким наростанням зусилля ($T \approx 0,001$ с);

– при проходженні роликів опору стрічка зазнає поперечних коливань;

– в пускові періоди мають місце поздовжні коливання стрічки;

Ударні навантаження (при завантаженні, що має дуже високу частоту) можна зменшити практично до нуля при відповідній конструкції завантажувального лотка [3, 5].

Перехід на векторне управління електроприводами стрічкових конвеєрів забезпечує наступні переваги:

– плавне безступінчасте регулювання швидкості механізмів двохприводної станції конвеєра;

– підтримання сталості швидкості стрічки і моментів двигунів при змінному вантажопотоці (змінюється статичний момент), що забезпечує доставку без втрат цінного матеріалу, такого як кокс і руда до завантажувального пристрою доменних печей;

– плавний пуск двигунів, який призводить до суттєвого підвищення надійності механічного обладнання та збереження несучого елемента – стрічки конвеєра (вартість якої становить до 70% від загальної суми витрат на весь механізм);

– широкі можливості програмного налаштування параметрів регуляторів в системі керування, а також використання режимів адаптації без застосування високоточних датчиків;

– економію електроенергії, пов'язану з переходом на енергетично ефективне управління зі зниженням швидкості, в разі низького завантаження конвеєра, пов'язаного з технологічними режимами доменних печей;

– економію електроенергії при виключенні додаткових опорів з кола ротора в багато-двигунному приводі конвеєра і покращення ефективності пуску при сталості модуля вектора потокозчеплення ротора і мінімумі струму статора.

Функціональна схема системи векторного керування частотно-керованим асинхронним електроприводом подібна системі двохзонного керування швидкістю двигуна постійного струму [6]. Орієнтація магнітного потоку і моменту здійснюється керуючим перетворювачем. При цьому доцільно забезпечити керування амплітудою і фазою струму статора, оперуючи векторними величинами. Векторне керування в даний час використовується в асинхронному електроприводі на основі автономних інверторів струму (АІС) і на основі автономних інверторів напруги (АІН) [7, 8].

Можливий приклад структури асинхронного електроприводу з векторним керуванням з інвертором напруги представлений блок-схемою на рис. 1. Основні функціональні вузли системи, що становлять основу векторного керування:

– БР – блок регуляторів швидкості (РШ) струму (РС) і потокозчеплення (РП);

– БО – блок обчислення або перетворення з абсолютних величин в змінні d , q ;

– БВ – блок задаючих впливів на автономний інвертор напруги, який є при цьому і перетворювачем з однієї системи координат в іншу;

– ТГ – тахогенератор (датчик швидкості).

Вхідними параметрами для блоку регуляторів є завдання на швидкість двигуна і потоку при цьому тут же оцінюються сигнали зворотних зв'язків за струмом, потокозчепленню ротора, швидкості і знаходиться сигнал неузгодженості, який, в кінцевому рахунку, мінімізується при використанні регуляторів потоку, моменту і струму.

Надалі наступним блоком перетворюються змінні напруги з виходу регуляторів в трифазні сигнали для інвертора. Блок обчислення перетворює за допомогою датчиків миттєві значення напруг і струмів по кожній фазі живлення асинхронного двигуна, що надходять з виходу автономного інвертора. На схемі також наведено умовне позначення механізму, що має момент опору і здійснює вплив на швидкість двигуна.

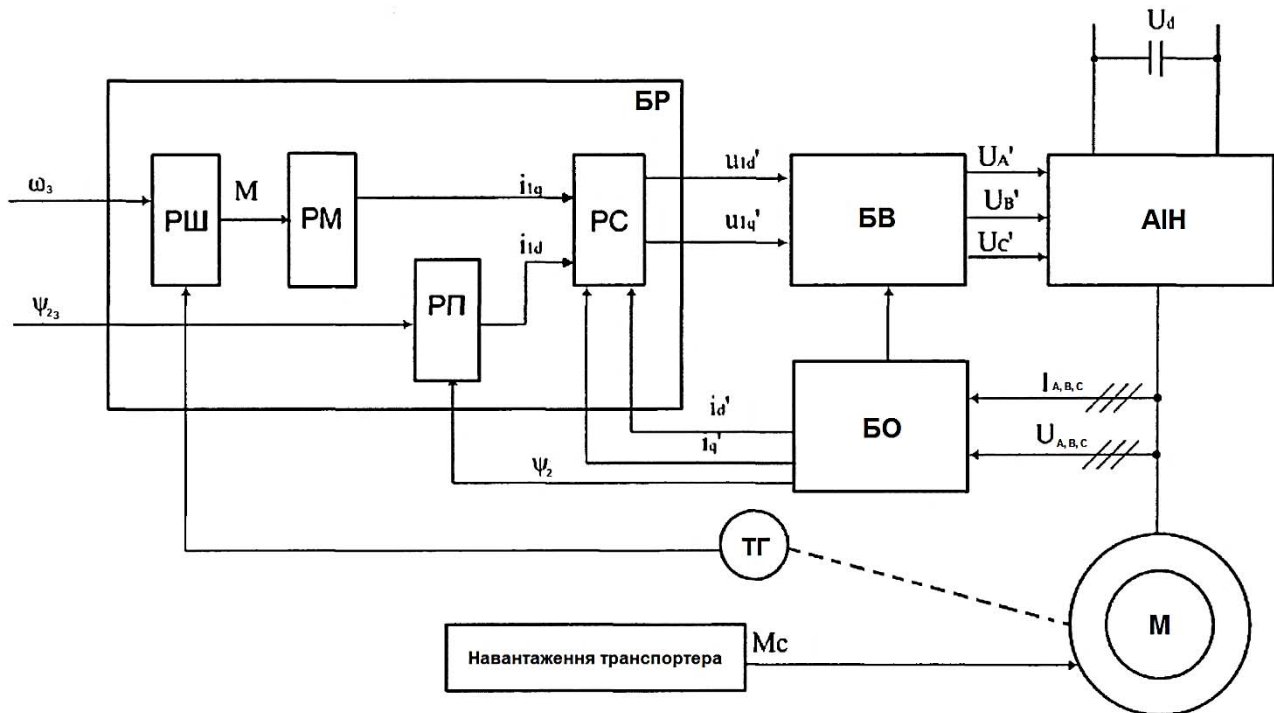


Рис. 1. Функціональна схема системи векторного керування транспортером

Для визначення динамічних і статичних навантажень, а також коефіцієнта динамічності при пуску з вибором зазорів, прийнемо допущення, що у всіх режимах двохдвигунний електропривод стрічкового конвеєра може бути замінений еквівалентним однодвигунним. Тоді рівняння руху для цієї схеми в операторній формі будуть мати такий вигляд, згідно [9, 10]:

$$\left. \begin{aligned} M_1 - M'_{12} - M_{c1} &= J_1 p \omega_1; \\ M'_{12} - M'_{c2} &= J_2 p \omega'_2; \\ M'_{12} &= C'_{12} (\varphi_1 - \varphi_2 \pm \Delta\varphi_3/2) \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| > \Delta\varphi_3/2; \\ M'_{12} &= 0 \text{ при } |\varphi_1 - \varphi_2| \leq \Delta\varphi_3/2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де M_1 – момент першого за ходом стрічки двигуна; $M_{c1} = 0$ – статичний момент на валу двигуна; M'_{c2} – приведений статичний момент на першому приводному барабані; M'_{12} – приведений момент пружної взаємодії; C'_{12} – приведена жорсткість пружного зв'язку; ω_1 – швидкість двигуна; ω'_2 – приведена кутова швидкість барабана; $\Delta\varphi_3$ – зазори в редукторі та пружній муфті; φ_1 – кутове переміщення двигуна; φ_2 – кутове переміщення приводного барабана; J_1 – момент інерції першого за ходом стрічки двигуна; J_2 – момент інерції рухомих частин, пов'язаних з переміщенням стрічки.

Структурна схема механічної частини, відповідна рівнянням (1), представлена на рис. 2. Значення динамічного коефіцієнта визначаються динамічними властивостями електроприводу, а сам коефіцієнт є важливою характеристикою умов роботи механічного устаткування [5]. Значення коефіцієнта динамічності для структурної схеми (рис. 2) записується таким чином [11]:

$$k_{дин} = 1 + \left(1 - \frac{M'_{c2}}{M'_{12\text{сер}}} \right) \sqrt{1 + \frac{\gamma J_1 C'_{12} \Delta \omega_{1\text{поч}}^2}{(\gamma - 1) (M_{ниск} - M'_{c2})^2}}. \quad (2)$$

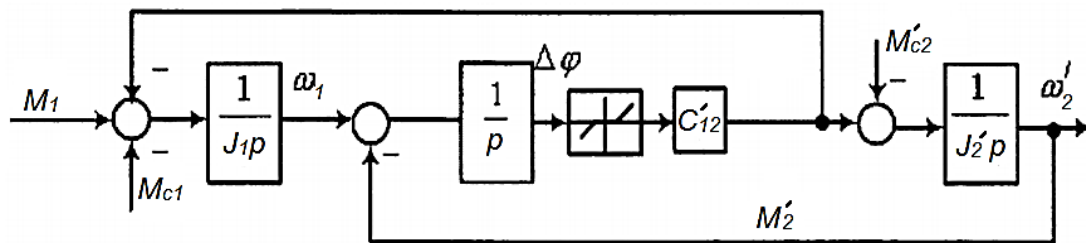


Рис. 2. Структурна схема для здійснення аналізу динамічних навантажень

Присутність в механічних зв'язках пружного елемента є чинником, що сприяє виникненню пружних коливань, які можуть мати затухаючий або незатухаючий характер. Для визначення цих властивостей слід досліджувати механічну частину стрічкового конвеєра без урахування дисипативних сил і, при визначенні необхідності врахування останніх, аналізувати систему з урахуванням природного демпфування. Для дослідження динамічних властивостей також зручно застосувати методи теорії автоматичного управління, тому часто використовується апарат частотних характеристик для вивчення особливостей електромеханічної системи стрічкового конвеєра [11].

ВИСНОВКИ

Аналіз технічних вимог до електроприводів конвеєрів неможливо здійснювати без урахування їх складної механічної частини. Як правило, механічна частина є складною системою з розподіленою по довжині конвеєра масою та пружністю тягового елемента. При розрахунку динамічних властивостей електропривода конвеєра доцільно знаходити спрощену передатну функцію поздовжньо-пружного вантажонесучого елемента з вантажем, що є розподіленим по поверхні у різних її точках. Слід налаштувати регулятори векторної системи керування електроприводом конвеєра таким чином, щоб не виникало пружних коливань вздовж тягового елемента, оскільки при їх наявності процес пуску буде коливальним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарасов Ю. Д. Промежуточные приводы ленточных конвейеров / Ю. Д. Тарасов, Д. А. Юнгмейстер. – М. : Недра, 1996. – 157 с.
2. Теличко Л. Я. Ограничение динамических нагрузок ленточных конвейеров для загрузочного устройства доменных печей / Л. Я. Теличко, А. С. Тарасов // Материалы научно-технической конференции. ЛГТУ – 2004. – С. 30–32.
3. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М. : Металлургия, 1987. – 394 с.
4. Сухарев И. А. Управление конвейерными линиями на базе асинхронного электропривода в рамках АСУТП : дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / И. А. Сухарев. – В. : ВГТУ, 2003. – 178 с.
5. Вайнсон А. А. Подъемно-транспортные машины : учебник для вузов / А. А. Вайнсон. – М. : Машиностроение, 1989. – 536 с.
6. Иванов Г. М. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока / Г. М. Иванов. – М. : Энергия, 1978. – 160 с.
7. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова и др. – М. : МЭИ, 2004. – 696 с.
8. Грузов Л. В. Сравнительный анализ алгоритмов управления автономными инверторами напряжения в асинхронных электроприводах / Л. В. Грузов, А. В. Машкин // Электротехника. – 2001 – № 12 – С. 34–39.
9. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб. : Энергоиздат, 1992 – 288 с.
10. Ключев В. И. Теория электропривода : уч. пос. для вузов / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
11. Тарасов А. С. Многодвигательный асинхронный электропривод ленточного конвейера с корректирующим устройством снижения динамических нагрузок / А. С. Тарасов // Информационные технологии моделирования и управления : Сб. трудов. – Воронеж : Научная книга, 2007. – № 4(38) – С. 499–504.