

## ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9.048

А. В. РОМАНЧЕНКО

### ВЫБОР СИСТЕМЫ синхронизации электропривода длинномерных вибрати- онных станков

В статье проанализированы функциональные и конструктивные особенности систем синхронизации вибрационных станков предназначенных для обработки деталей длинномерного типа. На основе анализа информационных источников установлено, что целесообразно применение систем синхронизации без механической связи между электроприводами. Выбрана система синхронизации электроприводов по схеме электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами одного длинномерного или нескольких контейнеров вибрационно-го станка. Характеристики выбранной системы аналогичны характеристикам механической системы синхронизации.

**Ключевые слова:** электропривод, вибрационный станок, контейнер, система синхронизации, электрический вал, деталь, вибровозбудитель, асинхронные машины, ротор, статор.

**Введение.** По сравнению со «сложными» металлообрабатывающими станками, вибрационные станки являются устройствами с кажущейся простотой. На рис. 1 представлены схемы наиболее распространенных вибрационных станков с U-образными контейнерами, основные узлы станков – каркас, электромеханический привод, электродвигатель, вибровозбудитель, контейнер, пружинная подвеска [Ошибка! Источник ссылки не найден., 0].

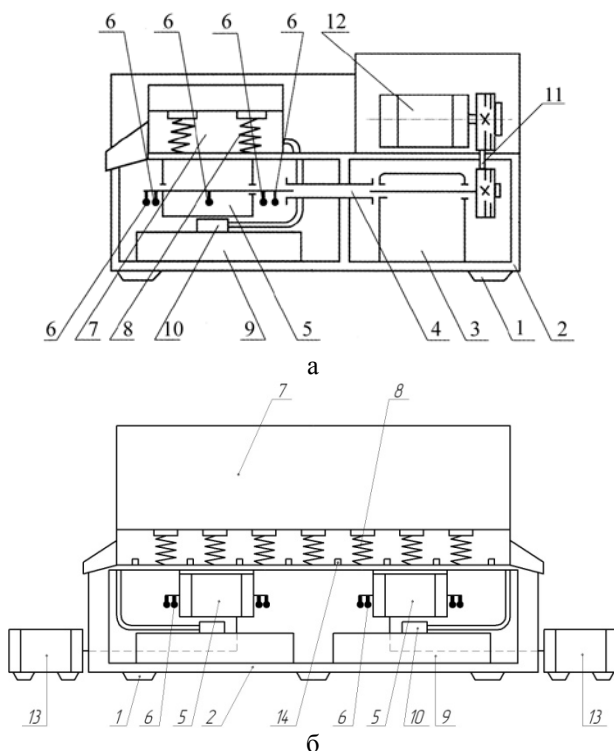


Рис. 1 – Принципиальные схемы вибрационных станков: а – с одним вибровозбудителем, б – с синхронизированными вибровозбудителями: 1 – амортизаторы; 2 – каркас; 3 – электромеханический привод; 4 – гибкая муфта; 5 – вибровозбудитель; 6 – дебалансные грузы; 7 – контейнер; 8 – пружинная подвеска; 9 – отстойник; 10 – электромагнитный клапан; 11 – клиноременная передача; 12 – электродвигатель; 13 – вспомогательная асинхронная машина; 14 – магнитомодуляционный датчик

Длительное время, пока не стояла проблема обработки длинномерных деталей, не стояла и задача синтеза оптимальных вибрационных станков с выбором приводного двигателя и расчета его необходимой мощности. Появление необходимости обработки длинномерных деталей также поставило перед виброобработчиками задачу обеспечения жесткости длинномерных контейнеров.

Под длинномерной деталью понимается деталь, один линейный размер которой значительно превышает поперечные размеры. К таким деталям относятся трубы, прутки, стержни и т.п. [0]. Вибрирующий контейнер для обработки длинномерных деталей, как правило, должен превышать длину 2 м или обладать несколькими контейнерами проходного типа, что создает проблему рационального способа создания вибрационного движения контейнера.

Вибрации контейнера возникают под действием инерционного вибровозбудителя с электроприводом. При длинномерном контейнере возникает проблема рационального размещения вибровозбудителей по длине контейнера и установления их числа.

Одним вибровозбудителем достаточно сложно сообщить контейнеру колебательные движения требуемой амплитуды, т.к. требуется вибровозбудитель большой мощности, соответственно рационально применять несколько синхронизированных вибровозбудителей.

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** Вибрационная обработка длинномерных деталей возможна при длине контейнера соответствующей длине деталей, например, труб. При этом соотношение площади сечения контейнера и квадрата его длины оценивается коэффициентом удлинения (1), который находится в пределах

$$k_d = \frac{l^2}{S^2} = 4...16 \quad (1)$$

Практикой установлено, что при  $k_d > 4$  требуется увеличение жесткости контейнера, а, следовательно, и увеличение его массы, если в качестве электромеханического привода использовать один электродвигатель. Причем мощность электродвигателя возрастает прямо пропорционально коэффициенту  $k_d$ .

В настоящее время представлены работы посвященные выбору электрического привода вибрацион

ного станка [0] и определению количества электроприводов необходимых для обеспечения требуемой амплитуды колебаний по всей длине контейнера [0].

Для равномерной обработки деталей на длинномерных вибрационных станках с несколькими вибро-возбудителями необходимо обеспечить их синхронную работу. Использовать несколько дебалансных механизмов по длине контейнера на одном валу крайне нежелательно, т.к. при передаче значительных вращающихся моментов и большей длине вала может возникнуть недопустимое скручивание вала. Поэтому взамен громоздкой механической передачи предлагается использовать систему, состоящую из нескольких электродвигателей с отдельными дебалансными механизмами, работающими синхронно, которую для простоты называют электрическим валом [0].

Помимо упрощения кинематической схемы механизма электрический вал дает возможность увеличить угловую скорость, т.к. снимаются ограничения, обусловленные механическим резонансом, кроме того, упрощается управление механизмом.

**Цель и задачи исследования.** Целью данной статьи является выбор системы синхронизации электроприводов вибрационного станка на основе анализа известных систем синхронизации без механической связи.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- провести анализ систем синхронизации электроприводов без механической связи;
- на основе проведенного анализа выявить достоинства и недостатки рассматриваемых систем синхронизации;
- выбрать систему синхронизации.

**Материалы и методы исследования по выбору системы синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков.** Системы синхронного вращения электрических двигателей принято [0] разделять на две основные группы:

1. Системы без вспомогательных машин.

2. Системы со вспомогательными машинами.

Системы первой группы делятся на два вида:

а) асинхронные двигатели с общим реостатом;

б) асинхронные двигатели с преобразователями частоты.

Системы второй группы представлены двумя видами:

а) системы с вспомогательными синхронными машинами;

б) системы с вспомогательными асинхронными машинами.

Рассмотрим системы синхронного вращения с позиции их пригодности для синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков:

1. Система синхронного вращения асинхронных двигателей с общим реостатом. Нормальная работа электрического вала требует соблюдения следующих условий:

– сумма всех действующих в каждом элементе системы моментов должна быть равна нулю (2), т.е.

$$M_{o1} - M_{c1} + M_{e1m1} = 0, \quad (2)$$

где  $M_{o1}$  – момент, развиваемый рабочим двигателем;  $M_{c1}$  – статический момент на валу рабочего двигателя;  $M_{e1m1}$  – уравнивающий момент.

– система должна быть статически устойчивой, т.е. при небольшом нарушении равновесия вращающиеся моменты после устранения возмущения должны вызвать замедление или ускорение привода, направленное к установлению равновесия;

– система должна быть динамически устойчива, т.е. отвечать известным критериям устойчивости [0], удовлетворять необходимым требованиям качества переходного процесса.

Система с реостатом, представленная на рис. 2., состоит из двух асинхронных электродвигателей. Статорные цепи двигателей присоединяются к общей сети переменного тока, а роторные включены параллельно на общий реостат.

Если угол  $\theta = 0$ , то токи, протекающие в роторах каждого двигателя, одинаковы.

При различных нагрузках на валах двигателей в роторной части, кроме рабочих токов, текущих из роторов в реостат, возникает уравнивающий ток, протекающий в роторной цепи, помимо реостата.

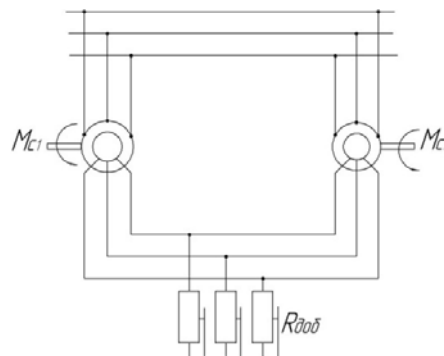


Рис. 2 – Принципиальная схема рабочего электрического вала с регулируемым реостатом

В соответствии с этим можно рассматривать момент, развиваемый каждым двигателем, как сумму рабочего и уравнивающего моментов.

С увеличением угла рассогласования в известных пределах момент, развиваемый одним двигателем, становится больше развиваемого другим двигателем. При этом, чем больше скольжение в определенных пределах, тем больше моменты, развиваемые двигателями, и больше уравнивающий момент [0]:

$$M_{op} = M_2 - M_1 = M_k \frac{S'_k / S_k - S_k / S'_k}{S_k / S'_k + S'_k / S_k}, \quad (3)$$

где  $M_k$ ,  $S_k$  – критический момент и критическое скольжение асинхронного двигателя в нормальном режиме;

$$S'_k = S_k \frac{R_2 - 2R_p}{R_2}, \quad (4)$$

где  $R_p$  – сопротивление фазы реостата;  $R_2$  – сопротивление ротора.

В обычных условиях, когда оба двигателя преодолевают реактивный момент при одинаковых нагрузках, потоки энергии направлены от ротора каждого двигателя к общему реостату.

В случае различных нагрузок энергия, идущая от ротора более нагруженного двигателя, направится к менее нагруженному. При этом, естественно, часть энергии выделится в реостате, а другая ее часть поступит в ротор менее нагруженного двигателя.

Эту систему называют рабочим электрическим валом потому, что в ней одна и та же машина выполняет рабочую и синхронизирующую функции [0].

При  $R_{доб}=0$  электрический вал превращается в обычные независимо работающие асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Если  $R_{доб} = \infty$ , электрические машины работают в режиме сельсинной передачи угла.

Недостатки этого метода таковы:

- уравнильный момент в данной схеме зависит от величины напряжения, поэтому реостат в роторной цепи должен обеспечить большое скольжение роторов, примерно 25-30%, что приводит к большим потерям энергии в реостате;

- схема работает устойчиво при скоростях не выше 2/5 от синхронной, т.к. синхронизирующий момент в этой схеме резко падает при скоростях выше указанной.

Все это делает нерациональным применение этой схемы для привода вибрационного станка.

2. Система синхронного вращения асинхронных двигателей с преобразователем частоты. В схеме, приведенной на рис. 3, роторные цепи преобразователя и приводных двигателей 2Д-3Д электрически связаны. Т.к. статорные обмотки указанных машин присоединены к одной и той же электрической цепи, то ЭДС роторов одинаковы и частота тока в роторных цепях также одинакова. Следовательно, все двигатели вращаются с одинаковой скоростью.

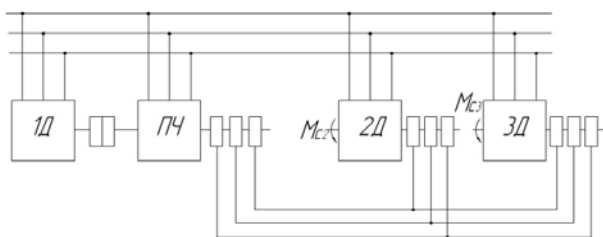


Рис. 3 - Схема синхронного вращения асинхронных двигателей 2Д, 3Д с преобразователем частоты

Работа системы возможна при вращении ротора преобразователя частоты ПЧ по полю или против поля статора.

При вращении ротора преобразователя частоты по полю уравнильные моменты, развиваемые двигателями, невелики. Поэтому рекомендуется применять вращение ротора преобразователя частоты ПЧ против поля.

Мощность, потребляемая из сети преобразователем частоты ПЧ, за вычетом потерь, равна суммарной мощности всех двигателей, кроме главного 1Д. Мощ-

ность главного двигателя равна общей мощности, развиваемой всеми двигателями системы.

К недостаткам этой системы следует отнести следующее:

- наличие мощного дорогостоящего преобразователя частоты (преобразователь частоты может быть статический);

- наличие мощного дорогостоящего вспомогательного фазного асинхронного двигателя.

Эти факторы делают применение рассматриваемой системы синхронизации в вибрационных станках не рациональными.

3. Система синхронного вращения со вспомогательными синхронными машинами. На рис. 4. показана функциональная схема синхронизации, которая имеет две вспомогательные синхронные машины 1С и 2С, каждая из которых установлена на одном валу с главными приводными двигателями 1Д и 2Д и предназначена для синхронизации вращения валов 1 и 2.

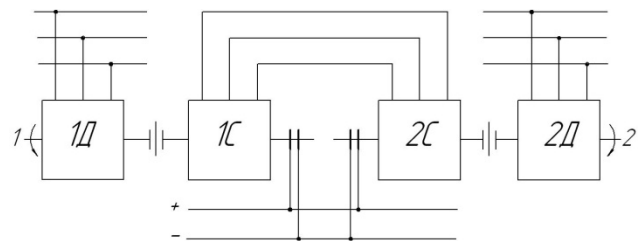


Рис. 4 - Схема синхронизации валов 1, 2 со вспомогательными синхронными машинами

Роторные обмотки 1С и 2С получают питание от сети постоянного тока, статорные обмотки соединены между собой. При нагрузке рабочей машины 1Д большей, чем нагрузка машины 2Д, ротор первой машины начнет отставать от ротора второй машины на угол  $\theta$ . Вследствие возникновения угла рассогласования  $\theta$  между ЭДС статорных обмоток 1С и 2С появится уравнильный ток  $I$ , который в машине 2С создает генераторный момент, а в машине 1С – двигательный момент.

Момент, создаваемый вспомогательными машинами, определяется следующим выражением [0]:

$$M_{\text{син}} = 9,81 \frac{m U_c E_c}{\omega_c x_c} \sin \theta, \quad (5)$$

где  $m$  – количество фаз;  $U_c$  – линейное напряжение;  $E_c$  – э.д.с. вспомогательного двигателя;  $\omega_c$  – угловая скорость ротора;  $x_c$  – реактивное сопротивление обмоток статора.

Недостатки системы синхронизации таковы:

- для питания обмоток синхронных машин требуется источник постоянного напряжения;

- при низких скоростях мал синхронизирующий момент, развиваемый вспомогательными машинами;

- данные системы в силу специфики работы синхронных двигателей ведут себя неустойчиво при переменных нагрузках.

Таким образом, рассмотренная система не может быть применена в качестве привода вибрационных станков.

4. Система синхронного вращения двигателей со вспомогательными асинхронными машинами. Особенности этой системы, как наиболее приемлемой для синхронизации работы двигателей вибрационного станка, рассматриваются более подробно.

Система, функциональная схема которой показана на рис. 5, может состоять из двух или нескольких блоков, каждый из которых, в свою очередь, состоит из главного или рабочего асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (1Д или 2 Д) и жестко связанной с ним вспомогательной машины 1ВМ или 2 ВМ с фазным ротором [12].

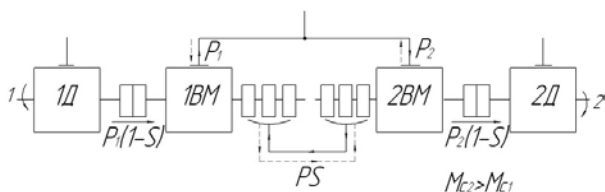


Рис. 5 - Схема синхронного вращения двигателей со вспомогательными асинхронными машинами

Вспомогательные машины могут при помощи главных двигателей вращаться по или против направленного магнитного поля статора. Условием нормальной работы установки является наличие равенства вторичных э.д.с. вспомогательных машин.

При вращении роторов обеих вспомогательных машин по полю и одинаковом расположении осей роторных обмоток в отношении осей поля статора, ток в роторной цепи 1ВМ и 2ВМ протекать не будет, т.к. роторные обмотки включены встречно.

В случае увеличения нагрузки, например, на валу второго двигателя 2Д в сравнении с нагрузкой на валу первого двигателя 1Д, ротор машины 2ВМ начнет отставать от ротора машины 1ВМ. В этом случае э.д.с. роторов, имеющие одинаковые абсолютные значения напряжений, сдвинутся по фазе, причем для отстающей машины э.д.с. ротора окажется опережающей.

Угол рассогласования между э.д.с. роторов равен  $\theta$  и результирующая э.д.с.  $\Delta E_2 \neq 0$ , поэтому в роторной цепи потечет уравнивающий ток, который отстает на угол  $\theta$  от результирующей э.д.с. Моменты вспомогательных машин не равны, причем момент второй машины всегда положительный, тогда как момент первой машины – отрицательный.

Вспомогательная машина 2ВМ, развивая положительный момент, потребляет мощность от сети  $P_1$ , часть из которой (пренебрегая потерями)  $P_2 = P_1(1-S)$  отдается второму валу, а другая часть в виде мощности скольжения передается первой вспомогательной машине.

Если мощность скольжения в роторе машины 1ВМ равна  $P_1S$ , то к валу ее подводится мощность  $P_1(1-S)$ . Т. о. эта машина, работая в генераторном режиме, отдает в сеть мощность  $P_1$ . Следовательно, машина 1ВМ подгружает рабочий двигатель 1Д, а машина 2ВМ наоборот разгружает двигатель 2Д.

Тем самым вспомогательные машины создают уравнивающее действие и оба блока системы работают с одинаковой скоростью (вращаются синхронно), будучи нагружены приводом вибрационного станка

по-разному. Полная мощность, вносимая вспомогательными машинами в систему, равна нулю.

Моменты, развиваемые вспомогательными машинами при данном угле рассогласования, тем больше, чем выше рабочее скольжение. Поэтому для обеспечения надежной синхронизации хода практически прибегают к вращению роторов вспомогательных машин против поля ( $S > 1$ ).

Для рассмотренного выше распределения нагрузок на валах элементов системы и вращения вспомогательных машин против поля э.д.с. 1ВМ будет опережать э.д.с. 2ВМ.

Моменты, развиваемые вспомогательными машинами, определяются аналогично. Однако, в данном случае уже машина 1ВМ развивает положительный момент, работая в режиме противовключения, она, потребляя мощность из сети и с вала, отдает ее в роторную цепь. Т. о. менее нагруженный двигатель 1Д по-прежнему подгружается.

Мощность скольжения поступает в ротор машины 2ВМ, затем передается валу 2Д и в сеть. Двигатель 2Д, получив с вала 2М дополнительную мощность, разгружается. Направление потоков мощности при работе вспомогательных машин против поля показано стрелками на рис. 5.

Уравнивающее действие системы определяется разностью моментов и называется уравнивающим моментом.

Уравнивающий момент при данном угле рассогласования тем больше, чем выше скольжение. Наибольшее значение уравнивающий момент имеет при  $\theta = 90^\circ$ . Т. к. практически угол рассогласования в установившемся режиме не превышает  $\theta = 25-30^\circ$ , то для получения достаточно большого уравнивающего момента необходимо обеспечить работу уравнивающих машин при значительном скольжении [0].

Т. к. уравнивающий ток, а, следовательно, и момент зависят не только от угла рассогласования осей роторов, но и от величин роторного напряжения, необходимо, чтобы при всех условиях работы привода это напряжение было достаточно велико. Для этого необходимо применять вращение против поля, т.е. статорные обмотки вспомогательных двигателей надо включить так, чтобы направление вращения магнитного поля вспомогательных (синхронизирующих) двигателей стало обратным по отношению к направлению вращения ротора. Система вращения против поля достаточно устойчива при изменении нагрузки, которое возможно при работе вибрационного станка.

Система электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее надежной, простой, практически удовлетворяющей требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

**Результаты исследования систем синхронизации электроприводов длинномерных вибрационных станков.** Проведенные исследования систем синхронизации показали, что в сравнении с другими, система синхронизации по принципу электрического

вала обладает рядом неоспоримых достоинств. Система электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее надежной, простой, практически удовлетворяющей требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

**Обсуждение результатов исследования систем синхронизации электроприводов длинномерных вибрационных станков.** В результате исследований установлено, что применение системы синхронизации приводов вибрационного станка по схеме электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее рациональным. Выбранная схема синхронизации обладает высокой надежностью, является простой, практически удовлетворяет требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

**Выводы.** В работе выполнен анализ систем синхронизации приводов вибрационного станка. Выбрана система синхронизации двигателей по схеме электрического вала с применением в качестве главных двигателей асинхронных с короткозамкнутых ротором и в качестве вспомогательных двигателей – с фазным ротором

**Список литературы:** 1. Бабичев, А. П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей [Текст] / А. П. Бабичев, Л. К. Зеленцов, Ю. М. Самодумский. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1981. – 160 с. 2. Денисов, П. Д. Анализ конструкций вибрационных машин непрерывного действия [Текст] / П. Д. Денисов // Вибрации в технике и технологиях. – 1995. – No 1(2). – С. 3–7. 3. Романченко, А. В. Расширение технологических возможностей вибрационного оборудования за счет создания условий обработки длинномерных деталей [Текст]: дис... канд. тех. наук / А. В. Романченко. – Чернигов, 2011. – 203 с. 4. Калмыков, М. А. К вопросу выбора

приводного двигателя вибростанов [Текст] / М. А. Калмыков, А. В. Романченко, В. В. Яковенко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2010. – 5/7(47). – С. 45–51. 5. Калмыков, М. А. Определение функциональной зависимости между амплитудой контейнера и его длиной [Текст] / М. А. Калмыков, А. В. Романченко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/7(51). – С. 19–23. 6. Калмыков, М. А. К вопросу синхронизации приводных двигателей вибростанов для обработки длинномерных деталей [Текст] / М. А. Калмыков, Б. Н. Локотш, А. В. Романченко, В. В. Яковенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 6/9 (48). – С. 57–61. 7. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины [Текст] / А. В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1986. – 928 с. 8. Санджр, А. С. Динамика каскадных асинхронных электроприводов [Текст] / А. С. Санджр, Л. М. Тарасенко. – М.: Энергия, 1987. – 200 с. 9. Мецгеряков, В. Н. Синхронизированный асинхронный электропривод с частотным управлением [Текст] / В. Н. Мецгеряков, А. А. Соломатин // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2006. – No 2. – С. 11–18. 10. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода [Текст] / М. Г. Чиликин, А. С. Санджр – М.: Энергия, 1987. – 576 с. 11. Голубев, М. И. Тиристорные электроприводы [Текст] / М. И. Голубев. – К.: ИЗМН, 1999. – 412 с. 12. Филиппов, Б. А. Основы электропривода [Текст] / Б. А. Филиппов, Н. Ф. Ильинский. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 304 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Babichev, A. P., Zelencov, L. K., Samodumskij, Ju. M. (1981). Konstruirovaniye i jekspluatatsiya vibratsionnyh stankov dlja obrabotki detalej. Izd-vo Rostovskogo universiteta, 160. 2. Denisov, P. D. (1995). Analiz konstrukcij vibratsionnyh mashin nepreryvnogo dejstvija. Vibratsii v tehnike i tehnologijah, 1(2), 3–7. 3. Romanchenko, A. V. (2011). Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostej vibratsionnogo oborudovaniya za schet sozdaniya uslovij obrabotki dlinnomernyh detalej [Текст]: дис... канд. тех. наук. Chernigov, 203. 4. Kalmykov, M. A., Romanchenko, A. V., Jakovenko, V. V. (2010). K voprosu vybora privodnogo dvigatelja vibromashin. Vostochnoevropejskij zhurnalпередовых технологий, 5/7(47), 45–51. 5. Kalmykov, M. A., Romanchenko, A. V. (2011). Opredelenie funkcion-al'noj zavisimosti mezhdu amplitudoj kontejnera i ego dlinoj. Vostochnoevropejskij zhurnal передовых технологий, 3/7(51), 19–23. 6. Kalmykov, M. A., Lokotosh, B. N., Romanenko, A. V., Jakovenko, V. V. (2010). K voprosu sinhronizatsii privodnyh dvigatelej vibromashin dlja obrabotki dlinnomernyh detalej. Vostochno-Evropejskij zhurnal передовых технологий, 6/9 (48), 57–61. 7. Ivanov-Smolenskij, A. V. (1986). Jelektricheskie mashiny. Jenergija, 928. 8. Sandzhr, A. S., Tarasenko, L. M. (1987). Dinamika kaskadnyh asinhronnyh jelektrorprivodov. Jenergija, 200. 9. Meshherjakov, V. N., Solomatin, A. A. (2006). Sinhronizirovannyj asinhronnyj jelektrorprivod s chastotnym upravleniem. Jelektrrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija, 2, 11–18. 10. Chilikin, M. G., Sandzhr, A. S. (1987). Obshhij kurs jelektrorprivoda. Jenergija, 576. 11. Golubjev, M. I. (1999). Tyristorni elektropriyvody. IZMN, 412. 12. Filippov, B. A., Il'inskij, N. F. (1997). Osnovy jelektrorprivoda. Izd-vo MJEI, 304.

Поступила (received) 07. 12.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Романченко Олексій Володимирович** – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, доцент кафедри машинобудування, верстатів та інструментів, пр. Радянський, 59-а, м. Сєвєродонецьк, Україна, 93400; тел.: 099-038-24-79, e-mail: [romanchenkoav@mail.ru](mailto:romanchenkoav@mail.ru).

**Романченко Алексей Владимирович** – кандидат технических наук, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, доцент кафедры машиностроения, станков и инструментов, пр. Советский, 59-а, г. Северодонецк, Украина, 93400; тел.: 099-038-24-79, e-mail: [romanchenkoav@mail.ru](mailto:romanchenkoav@mail.ru).

**Romanchenko Oleksij Vladimirovich** – candidate of technical sciences, Eastukrainian National University of Volodymyr Dahl, assistant professor of department of Machine building, machine tools and instruments, pr. Sovtysky, 59, Severodonetsk, Ukraine, 93400; tel.: 099-038-24-79, e-mail: [romanchenkoav@mail.ru](mailto:romanchenkoav@mail.ru).